



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷上の積雪の特性とゆき氷の形成
Author(s)	滝沢, 隆俊; TAKIZAWA, Takatoshi
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 157-162
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18491
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p157-162.pdf



海水上の積雪の特性とゆき氷の形成*

滝沢 隆俊

(低温科学研究所)

(昭和58年10月受理)

I. ま え が き

薄い海水の表面には高塩分の表面ブラインが存在しその表面は常にぬれている。ここに降雪があると雪は毛細管力によりブラインを吸収する。さらに、海水は多孔質でありその透水性はかなり良い¹⁾のに加えて海水と氷の密度差は小さいので、積雪の荷重により下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。こうして積雪下部はブラインを十分に含んだ高塩分のぬれ雪となり、特に水分の供給が非常に多い時には泥水状のスラッシュ(雪泥)となる。やがてぬれ雪またはスラッシュは氷化して上積氷であるゆき氷に変る。この積雪の特性やその氷化は海水の構造や塩分量分布に影響を与えるであろう。しかし実際の観測は少なく、Martin²⁾や滝沢・若土³⁾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だけである。

昨年、北海道サロマ湖において新しく成長した海水とその上に積った雪の特性について調べた³⁾。しかし昨年は降雪が非常に少なく十分な資料を得ることができなかったため、今年の2月にサロマ湖において昨年と同様の観測を行い、積雪の特性とその氷化について調べたのでその結果を報告する。

II. 観 測 方 法

サロマ湖は塩湖でありそ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水が形成される。

観測地点は岸から約180 m 沖合いで、その付近の水深は約1.5 m、氷厚は約24 cmでその上に約10 cmの積雪があった。そこに氷を切り取り実験プール(大きさ2 m×2 m)を造り、新しく海水を成長させて海水とその上に積った雪の特性を調べた。プールの水の塩分量は30.68%であった。また、比較のためにプール付近の定着氷とその上の積雪の特性も同時に調べた。

雪試料の採取は雪面に面積219 cm²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2~9面積を雪べらによりすくい取った。その際、乾き雪とぬれ雪に分けて採取した。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た。一部の非常に低塩分の試料は塩素イオン計により塩素量を測定し、それを塩分量に換算した。氷試料は、ゆき氷部分と海水部分に分けて

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2597号

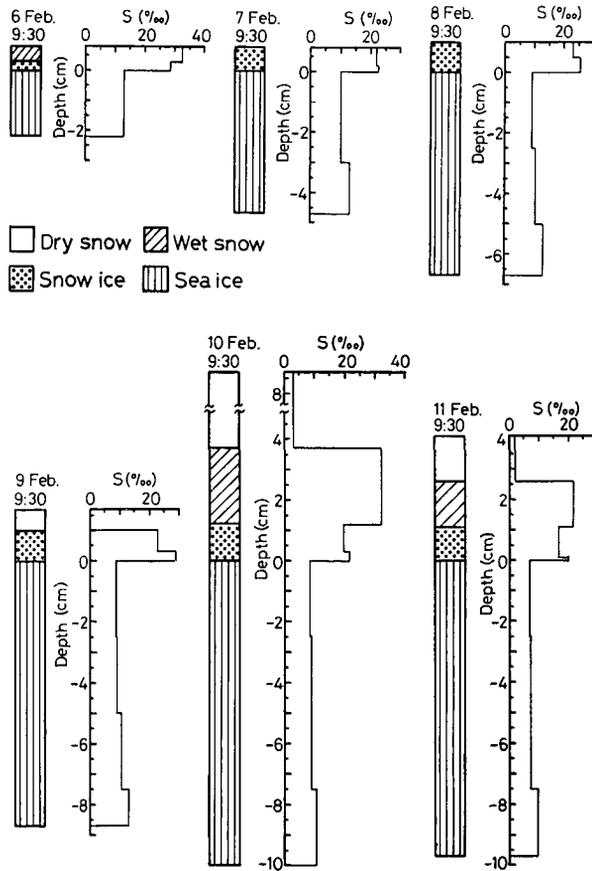
採取した。さらに両者とも厚さに応じて2~5層に分けた試料も同時に採取しそれらの塩分量を求めた。

III. 観測結果および考察

1. プールに成長した水の上の積雪

プールは2月5日の夕方に結氷開始し観測が終了した11日朝には氷厚10.8cmに達した。この間、毎日のように降雪があり氷層の上部には上積氷である雪が氷化したゆき氷が発達した。今後は氷層全体のうちでゆき氷の下の海水が凍結した部分を海水と呼ぶことにする。

第1図には毎日の午前9時30分の成層状態と塩分量分布を示した。6日には前夜の降雪のために氷層上部はゆき氷であり、その上にスラッシュ状の積雪が載っていた。ゆき氷と積雪の塩分量は非常に高く海水の2倍以上になっている。特に、積雪の塩分量は32.5‰であり母海水の塩分量30.68‰を上まわっており高塩分のブラインがしみ上っているのがよくわかる。7日には前日の積雪は氷化してゆき氷に変わっていた。ゆき氷の塩分量は約22‰であり前日の雪の塩分量に比べると約10‰も減少しており、氷化過程でかなりのブラインが落下したことがわかる。また、前日からのゆき氷部分の塩分量も減少している。7日の日中に若干の降雪が



第1図 プールの氷と積雪の成層状態と塩分量分布

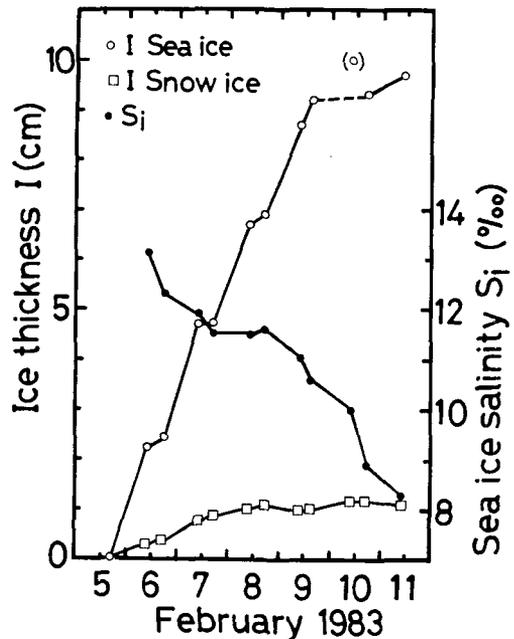
あったが8日の朝には、それがゆき氷になってゆき氷の厚さが増すとともにその塩分量も多少増えている。9日夜から10日朝にかけてかなりの降雪がありプールでの積雪深は7.5 cmであった。積雪下部のぬれ雪部分は32.2‰の塩分量を示しており、6日の朝と同様に大量のブラインがしみ上ったことを示している。なお、海氷の厚さは10 cmあり翌日の11日より厚くなっているが、これは試料の採取場所がプールの縁に近かったため縁の影響で成長が大きくなったものと思われる。11日の朝にはぬれ雪およびゆき氷の塩分量の減少が見られる。特に、ぬれ雪は前日より約10%も減少しており6日から7日への変化と同じであり、雪の氷化が起らなくともブラインの落下が生じることを示している。したがって、もし降雪がある程度以上あると積雪荷重のため下から大量のブラインがしみ上り積雪層の下部を高塩化するが、その後はブラインを吸収した雪が氷化してもしなくても約一日でかなりのブラインが落下することがわかる。このブラインの上昇と下降の影響は、ゆき氷や海氷の塩分量分布には現われない。

第2図は海氷とゆき氷の厚さの変化と海氷部分の平均塩分量の変化を示したものである。前に述べたように10日の朝の海氷の水厚はプールの代表値には不適當であり、9日夜から10日にかけての大量の降雪のためにその間ほとんど成長しなかったとするのが妥当であろう。

第1表には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、さらに特にぬれ雪については雪を採取する際に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。ぬれ雪の密度はいずれも0.8以上であり、これからも雪は大量の水分(ブライン)を含んでいることがわかる。そして、密度の6日9時30分から16時30分への変化および10日9時30分から11日9時30分への変化は、塩分量の減少にともなって密度の減少が起っておりブラインの流下が生じたことを裏づけている。

2. 定着氷上の積雪およびスラッシュ

プールのやや沖合いの定着氷上において積雪の状態の異なっている地点を2カ所選んで、すなわち泥水状のスラッシュ層がある地点と無い地点で積雪・スラッシュおよび氷を採取して密度・塩分量を測定した(第2表, 第3図)。スラッシュ層の無い地点では積雪下部のぬれ雪は22.7‰と高塩分を示していた。その下の氷層の塩分量は5.3~8.3‰であり、特に上部のゆき氷



第2図 海氷とゆき氷の厚さの変化と海氷の平均塩分量の変化

第1表 プール上の積雪の特性

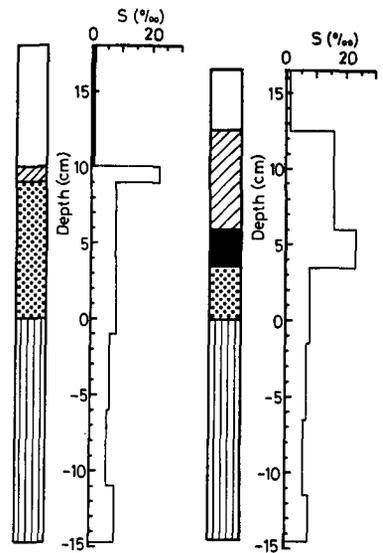
日 時	氷 厚 (cm)	積雪深 (cm)	乾 き 雪 (積雪上層)			ぬ れ 雪 (積雪下層)		
			厚 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)	塩 分 量 (%)	厚 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)	塩 分 量 (%)
6日 09:30	2.5	0.5				0.5	1.0	32.5
	16:30	2.8	0.5			0.5	0.9	28.0
7日 09:30	5.5	0						
	16:30	5.6	0.2	0.2				
8日 09:30	7.7	0						
	16:30	8.0	0					
9日 09:30	9.7	0.7	0.7					
	14:30	10.2	0.7			0.7		
10日 09:30	(11.2)	7.5	5.0	0.05	3.2	2.5	1.0	32.2
	16:30	10.5	4.0	2.5	0.05	4.7	1.5	0.8
11日 09:30	10.8	3.0	1.5	0.09	2.3	1.5	0.8	21.6

第2表 定着氷上の積雪の特性

氷 厚 (cm)	積雪深 (cm)	乾 き 雪 (積雪上層)			ぬ れ 雪 (積雪下層)			ス ラ ッ シ ュ	
		厚 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)	塩 分 量 (%)	厚 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)	塩 分 量 (%)	厚 さ (cm)	塩 分 量 (%)
23.7	9	8	0.08	0.8	1	0.49	22.7		
18	13	4	0.10	0.9	6.5	0.80	16.0	2.5	23.3

部分の塩分量が8.1~8.3‰と海水部分よりやや高くなっている。スラッシュ層のある地点では、ぬれ雪の塩分量は16.0‰とスラッシュ層のない地点に比べて小さい値を示している。しかし、代ってスラッシュの塩分量が23.3‰とスラッシュ層のない地点のぬれ雪とほぼ同じ高い値を示している。この地点のもう一つの特色は、ゆき氷部分が少ないことである。これはスラッシュには多量の高塩分なブラインが含まれているので氷化しづらいことと、さらにその上部には断熱材としての積雪層があったためにゆき氷の発達を抑えられたのであろう。一方、氷層の塩分量はスラッシュの無い地点と大差なく6~8‰の値をとり、ゆき氷は高い塩分量8‰を示している。

この定着氷の塩分量とその上の積雪の特性をプールの氷と積雪に比べると次のようにいえる。降雪の直後にはプールの上のぬれ雪は30‰を越える塩分量を示すが(6日32.5‰, 10日32.2‰) その後は時間とともに減少し一日後には20‰程度まで減少する(11日21.6‰)。この



第3図 定着氷とその上の積雪の成層状態と塩分量分布

□ Dry snow ▨ Wet snow ■ Slush
 ▩ Snow ice ▤ Sea ice

21.6‰ という値は定着氷上のぬれ雪やスラッシュの塩分量とはほぼ同じ値である。したがって、プール上のぬれ雪は今後氷化せずまた大量の降雪がないとすると 20‰ 程度の値を保つと思われる。滝沢・若土³⁾の観測によると、プール上のぬれ雪の塩分量は 20‰ を多少越えた値に落ち着く傾向を示している。さらに彼らの測定によると、定着氷上のぬれ雪の塩分量は 23.5‰, 26.6‰, 36.9‰ であった。よってこれらを合わせて考えてみると、海氷上のブラインを十分に吸収したぬれ雪およびスラッシュの塩分量は多くの場合 20‰ を若干上まわる値を示すが、時には 30‰ 以上にも達することがあると結論できる。一方、ゆき氷の塩分量は定着氷においては約 8‰ であったが、形成直後のプールでのゆき氷は 20‰ 前後の値を持っている。したがって、当初は高塩分であったゆき氷も時間とともに塩の脱落が起りその塩分量を減少させていき、最終的には 8‰ 程度の値に落ち着くと考えてよいであろう。

IV. ま と め

1983 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プールに新しく海氷を成長させた。薄い海氷上にある程度の量の降雪があると、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の水分を十分に含んだぬれ雪となり、その塩分量は母海水の値を越えた 32‰ 以上の値を示した。降雪が止んで一日後には、積雪深が小さい時にはぬれ雪は氷化してゆき氷に変わった。ゆき氷の塩分量は約 20‰ であり、氷化の際にかなりの量のブラインが落下したことを示している。積雪が多い場合にはぬれ雪の氷化は起らないが氷化の際と同様にブラインの落下が生じ、一日後にはぬれ雪の塩分量はゆき氷と同様の約 20‰ であった。

プールでの実験と同時に定着氷とその上の積雪を採取して塩分量を測定した。積雪下部のぬれ雪またはスラッシュの塩分量は 20‰ 以上を示しプールのぬれ雪の塩分量とはほぼ同じであった。一方、ゆき氷の塩分量は約 8‰ でプールのゆき氷に比べてはるかに小さかった。したがって、プールのゆき氷は時間とともに塩の脱落が起って塩分量が減少し、やがては定着氷のゆき氷と同じ値に近づくと考えられる。

観測を行うにあたり、低温科学研究所の若土正暁講師、石川信敬助手および流氷研究施設の河村俊行助手、大井正行・福士博樹の両技官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、本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) 齋藤 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.
- 2) Martin, S. 1979 A field study of brine drainage and oil entrainment in first-year sea ice. *J. Glaciol.*, **22**, 88, 473-502.

- 3) 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.

Summary

Field experiments were carried out to investigate the characteristics of the snow cover on sea ice and the snow ice formation process at Lake Saroma in Hokkaido in February 1983. A test pool was made by removing ice blocks from the fast ice sheet with a thickness of about 24 cm.

A thin snow cover on the newly formed sea ice in the pool was flooded with the brine which was pushed out to the ice surface; then the snow became wet and slush-like. The wet snow had a salinity of 32.5‰, which was higher than that of sea water. On the day after it stopped snowing, the wet snow was refrozen into a snow ice, which had a salinity of about 20‰. This decrease in salinity indicates that a fair amount of brine was excluded from the snow while the snow ice was formed. When the snow fell to a depth of 7.5 cm on ice about 10 cm thick, only the lower layer of the snow cover was flooded. The wet snow salinity was also as high as 32.2‰. On the day subsequent to the day of snowing, the wet snow did not refreeze, but its salinity was found to have decreased to 21.6‰. This shows that the brine exclusion from the wet snow took place whether the snow ice was formed or not.

Snow samples were collected at two stations on the fast ice sheet. The lower layers of the snow cover were made of wet snow or slush, and their salinities were 22.7‰ and 23.3‰ respectively. These values were similar to that of wet snow on the pool ice. The snow ice of fast ice had salinities of about 8‰. These facts suggest that the wet snow in the pool keeps the salinity of about 20‰ and that, on the other hand, the salinity of snow ice in the pool decreases eventually to about 8‰.