



Title	アラスカの雪氷調査
Author(s)	若浜, 五郎; WAKAHAMA, Gorow; 高橋, 劭 他
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 195-212
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18112
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p195-212.pdf



アラスカの雪氷調査*

(北極水圏学術調査隊雪氷班報告)

若 浜 五 郎

(低温科学研究所)

高 橋 劭

(名古屋大学理学部 水質研究施設)

(昭和 44 年 8 月受理)

I. ま え が き

北極海を中心とする北極圏は、冬季、陸地は雪、海洋は海氷で完全に蔽われる。これら雪、氷は夏になってもとけ切ることがなく、氷に蔽われている部分がかかなり多く存在する。このような北極圏の雪氷の状態は、全世界の気候にも影響を与えるが、特に日本を含む北半球全般の気候に直接、密接な関係をもっている。それで、北極圏における雪氷の調査研究が古くから、米国、カナダ、ソ連などによって広汎に行なわれてきた¹⁾。これらの研究は主に、地理学、地質学、海洋学などの立場で行なわれ、北極圏に存在する氷河、氷冠、海氷の状態が明らかにされてきた。近年、雪氷学が急速に進歩するに伴い、物理的な方法で北極圏の雪氷を研究する傾向も目立つようになってきた²⁾。しかし、水の循環という立場から北極圏の雪氷をとらえようとする試みは、従来まだその例をみないようである。

水は、水蒸気、水、氷と三つの相をとりつつ、大気中、地上、海洋を循環する。北極圏では、降雪が堆積して積雪となり、氷化して氷河氷となり、ついには氷河末端でとけて海に戻り、再び水蒸気となって雪の結晶の形成に与る。

そこで、われわれは、将来数回に亘って、水の循環という立場から北極圏の雪氷を調査研究することを企画し、北極水圏学術調査隊を組織した。調査隊は A 班 (名古屋大学水質研究施設樋口敬二 (隊長)、渡辺興亜、牛木久雄) と B 班 (若浜五郎、高橋劭) の二班で編成された。A 班は主に、氷晶核および永久凍土の調査に当り、著者らの B 班 (雪氷班) は主に、積雪状態、冬季における氷河の状態を調査した。

今回の調査は、将来の本格的な研究にそなえて、予備的な調査を行ない、とくに、従来ほとんど行なわれたことがない冬季の野外調査をすることを目的とした。

昭和 43 年 (1968 年) 2 月中旬から 3 月中旬に至る約 30 日間、アラスカを中心とする北極圏およびその周辺の各地に赴いて積雪および氷河の調査を行なった。以下は、その観測結果の報告である。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 995 号

II. 積雪調査を行なった場所

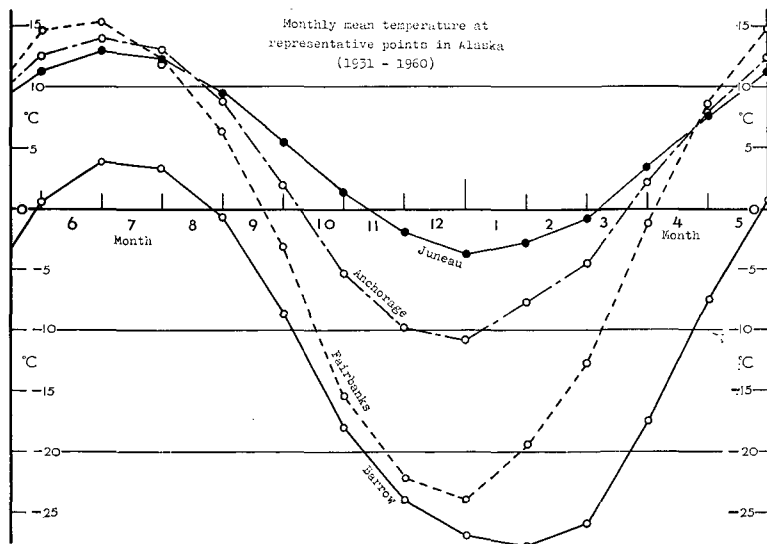
北極圏のうち、とくにアラスカを選んだのは、筆者らが、以前、北海道大学アラスカ氷河調査隊³⁾に参加して、夏期のアラスカの状態を知っていること、および、調査行動に非常に便利だからである。しかし、ひと口にアラスカといっても、日本の約5倍の面積をもつ広大な土地なので、調査に当って、いくつかの代表点を選んだ。

地理的あるいは気候的にいって、アラスカを、北極海に面した北部平原地方、北と南をブルックス山脈、アラスカ山脈で分けられた中部大平原地方、および、南部から南東アラスカに至る太平洋沿岸地方の三つに区分することができよう。これら各地方の代表点として、それぞれ、バロー、フェアバンクス、アンカレジとジュノーを選んだ。第1図に、これら代表点の地理的位置を略図で示した。また、各代表点の位置と気象要素のいくつかを第1表にまとめ、第2図に月平均気温の変化を示した。

真冬には、バローが位する北極海沿岸地帯は、日射が全くなく、寡雪、酷寒、



第1図 アラスカの略図。雪氷調査のための代表点の位置を示した。南東アラスカ、ジュノーの近くに M と印したのは、メンデンホール氷河の位置を示す



第2図 各代表点の月平均気温。1931~1960年の統計 (理科年表、昭和43年版による)

第1表 各代表点の主要気象要素。比較のため稚内の値も記入した。
1931～1960年の統計、理科年表による

	バ ロ ー Barrow	フェアバンクス Fairbanks	アンカレジ Anchorage	ジュノー Juneau	稚 内 Wakkanai
緯 度	71°18'N	64°49'N	61°10'N	58°22'N	45°25'N
経 度	156°47'W	147°52'W	149°59'W	134°35'W	141°41'E
海 抜	4 m	138 m	40 m	7 m	3 m
年 平 均 気 温	-12.4°C	-3.4°C	+1.8°C	+4.5°C	+6.2°C
最高月平均気温	+ 3.9°C(7月)	+15.4°C(7月)	+13.9°C(7月)	+12.9°C(7月)	+19.6°C(8月)
最低月平均気温	-27.9°C(1月)	-23.9°C(1月)	-10.9°C(1月)	- 3.8°C(1月)	- 5.9°C(1月)
年積算温度(+)	+ 241°C·day	+1754°C·day	+1829°C·day	+1940°C·day	+2791°C·day
年積算寒度(-)	-4768 "	-2977 "	-1173 "	- 290 "	- 487 "
年 積 算 温 度	-4527 "	-1223 "	+ 656 "	+1650 "	+2304 "
年 降 水 量	110 mm	287 mm	374 mm	1387 mm	1161 mm

強風である。バローでは積算寒度が約 $-4800^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ で土が地表下約 300 m も凍結した永久凍土地帯である。フェアバンクスが位する中部大平原では、日射は1日に高々数十 cal/cm^2 で、寡雪、酷寒(但し、気温の日変化はバローよりも大)、無風である。フェアバンクスの積算寒度は約 $-3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 、永久凍土は部分的にしかなく、永久凍土地帯の南限といわれている。

これに反し、アンカレジからジュノーにかけての太平洋に面した南部の海岸地方は、温暖多雪で、アラスカの代表的な氷河地帯である。ジュノーの1月の平均気温 -3.8°C は、北海道の北端、稚内の値 -5.9°C よりも高い。アンカレジの積算寒度は約 $-1200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 、ジュノーではわずか $-290^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ である。日射量も、ジュノーでは、 $100 \text{ cal}/\text{cm}^2\cdot\text{day}$ のていどとなる。

このように、積雪の変態に多大の影響を及ぼす気温、降雪量、風、日射などがそれぞれの地方でことなるため、各地域での積雪も、それぞれ特徴のあるものとなろう。そこで、これら代表点において積雪の調査を行ない、それらを比較した。次節以下にその結果についてのべる。

III. アラスカ各地における積雪観測結果

われわれは、次の日程に従って、上記のアラスカ各地、および北極海を漂流する氷の島 T-3 において雪氷調査を行なった。

1968年2月17～18日；バロー、北極研究所付近、陸上および海氷上の積雪調査

2月19日；氷島 T-3 ($81^{\circ}40'N$, $157^{\circ}39'W$)、積雪調査。

2月22～23日；フェアバンクス近郊アラスカ大学構内、積雪調査。

2月26～27日；アンカレジ郊外ガードウッド、アリエスカ・スキー場、海拔 720 m 地点、積雪調査。

2月29～3月13日；ジュノー近郊メンデンホール氷河。氷河調査。

1967～68年の冬は、アラスカ南部は異常暖冬といわれ、アンカレジやジュノー附近の平地部には、2月下旬でも雪がほとんどみられなかった。それで、アンカレジでは近郊のスキー場の海拔 720 m 地点まで登って積雪を求めたわけである。ジュノーでは氷河の中流部以上に登ら

ない限り雪がなかったので、主に、メンデンホール氷河の冬の状況を調べることにした。以下に、これらの地点で行なった積雪観測の結果を、順次のべる。

1) 氷島 T-3 の雪

北極海には氷島とよばれるいくつかの氷の島が、潮流と風のまにまに、北極海を時計回りに回遊していることが知られている⁴⁾。これらの氷島の多くは、もともとカナダ北方のエルズメア島に存在する氷河の末端が割れて、海に流れ込んだものと考えられている。そのうちのひとつに T-3 と名付けられた氷島がある。バローに滞在中、われわれは、この氷島 T-3 行きの補給機に便乗し、T-3 に着陸する機会を得た。2月19日、われわれが着陸したときの T-3 の位置は 81°40'N, 156°39'W であった。

氷島に滞在を許された時間は、僅かに15分間だったので、氷島上の雪や氷の状態を詳しく調べる余猶は全くなかった。それで、氷島表面の硬い雪を30cm角くらい切りだしてバローに持ち帰り、それについて密度、硬度、粒度および顕微鏡組織を調べにとどまった。第3図に表面を0cmとしたときの成層構造と、密度その他の物理量を示した。図版 I-2 に、表面下1~3cmの顕微鏡組織を掲げた。写真に印した矢の方向が鉛直上方である(以下の顕微鏡写真の矢印もこれと同じ)。

この雪の密度は 0.41~0.44 g/cm³、木下硬度が表面で 13 kg/cm²、表面下3~15 cm では 8~9 kg/cm² で、組織の緻密な雪である。このような硬い雪は、一般に風成クラストといわれているが、まだその形成機構の詳細は明らかではない。しかし、密度も硬度も、われわれが札幌市郊外手稲山で行なった雪ふみ試験⁵⁾で得たふみ固め雪や、大雪山アイスバーンの硬雪⁶⁾の値とほぼ一致しているのは興味深い。

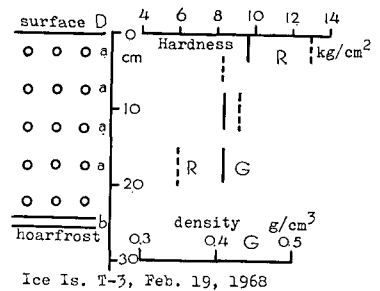
なお、バローから氷島 T-3 に向う途中、北極海の冬の状態を観察できた。図版 I-1 は、バロー北方約100 km の状況である。海水が割れ、その間の開水面から水蒸気が湯気となって上昇するのがみられる。

2) バローの陸上の雪

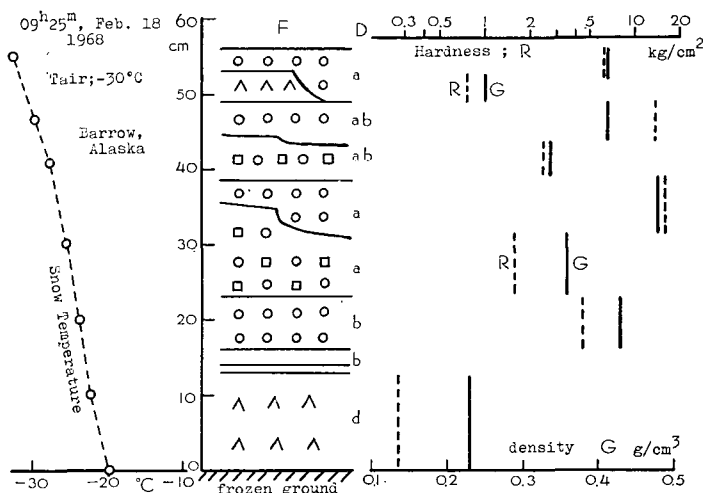
バローは冬期風が強く吹くことが多い(冬期11~2月の平均風速は6~7 m/s)。そのため積雪表面に凹凸が生じ、陸上、海氷上をとわず、観測の代表点を選ぶことが難しい。図版 I-3 に海氷上につもった積雪表面の凹凸の模様を示した。

北極研究所構内でなるべく平らな積雪をさがし、断面観測を行なった。図版 I-4 に、色水で染めた断面の写真を示す。この付近一帯は、地表面の凹凸がはげしいため、積雪表面が平らでも、積雪の厚さは場所によってまちまちである。この写真でも、右手の方で地面がもり上がっているため、積雪が極度に薄くなっているのがわかる。成層境界が乱れ、不連続的に折れ曲ったり、ある層が消滅したりするのが目立つ。

第4図に断面観測結果をまとめた。密度 G および木下硬度 R の分布をみて、硬軟の層が交互に積み重なっていることがわかる。硬い雪は、密度の大きい微細な組織をもつ風成硬化雪



第3図 氷島 T-3 の積雪表面層の断面観測結果



第4図 バロアの陸上積雪の断面観測結果

で、一方、軟かい雪はしもぎらめ、あるいは霜ざらめ化しつつある雪である。

この硬化雪の硬度 15 kg/cm^2 は、大雪山旭岳西尾根で調べた硬化雪（アイスバーン）の 10.5 kg/cm^2 よりも大きい⁶⁾。

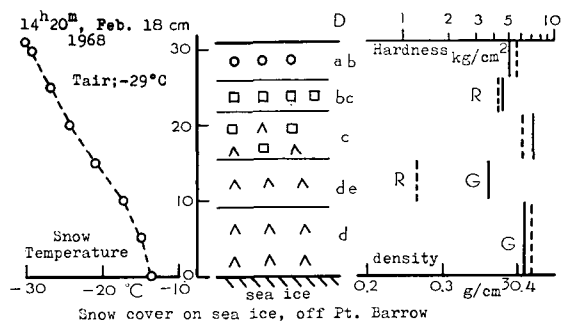
図版 I-5 は、地上 32 cm の硬軟 2 層を分ける境界付近から切り出した鉛直薄片の顕微鏡写真である。中央に明瞭な層境界がみられる。その上方は密度 0.48 g/cm^3 、硬度 16 kg/cm^2 の緻密な組織をもつ硬い雪、下方は密度 0.36 g/cm^3 、硬度 1.5 kg/cm^2 のこしもぎらめゆきである。

真冬のバローは日射が事実上ないことと、天気安定しているために、一日中、気温に大きな変化がない。われわれが当地に滞在した 2 月 16~20 日は、一日中、ほぼ -30°C であった。この寒さと積雪深が小さいことが相俟って積雪内に大きな温度勾配を生じ、霜ざらめ層が形成される。われわれが観測をした時点での温度勾配は平均 -0.24°C/cm であった。

それ以前は積雪が薄く、また、地表面温度ももっと高かったにちがいない。従って、温度勾配はもっと急で、霜ざらめの発達盛だったにちがいない。図版 II-6 に地表面近くのしもぎらめ層から切りだした顕微鏡薄片を示す。

以上のように、バローの陸上の積雪には、硬度 15 kg/cm^2 ていどの組織の緻密な硬雪と、硬度 $1\sim 2 \text{ kg/cm}^2$ のしもぎらめ化した組織の粗い軟雪とが交互に成層していた。また、成層境界の不規則な乱れが目立ったが、それはつねに、硬雪と軟雪が上下に重なった境界に見出された。軟硬の雪が互層をなすことと、それらの境界に不規則な乱れを生ずる原因は、次のように考えられる。

藤岡ら⁷⁾は、北海道北部の山地積雪において、上のような軟硬の互層を観測した。秋田



第5図 バロー沖合、海氷上積雪の断面観測結果

谷⁸⁾⁻¹⁰⁾の観測および実験によると、雪が積った時点での雪の密度と結晶形が、その後の密度や硬度の変化に密接な関係をもつ。たとえば、風成硬化雪のように、もともと組織が緻密な雪は、無風時に静かに積った雪に比して熱伝導率が大きく、その雪層で温度勾配が小さい。従って、しもざらめ化し難いばかりでなく、焼結がすすみ、時間と共に密度、硬度が増大する^{7),8)}。これに対し、風の弱い時に積った雪は、元来、密度、硬度ともに比較的小さい。雪が積った直後にきびしい寒気がつづくとき、その雪層内での温度勾配が大となり、しもざらめ化が進む。このような変態過程をへてできた雪は、その後の密度、硬度の増加速度が組織の緻密なしまりゆきに比べて非常におそい^{7),8)}。しもざらめ化が進んだ雪では、密度はほとんど一定に保たれ、硬度は時間と共に減少する。このような弱い雪が積雪表面にあったときに強風が吹くと、この弱い雪は風でえぐられ、表面に凹凸を生ずる。地ふぶきが表面を吹送し、その上に硬い風成雪層が形成される。これが、第4図の地上32~38 cm, 44~49 cm および表面にみられた硬化雪である。それらの層と、すぐ下の軟い雪との層境界が乱れているのも、上のようにして説明される。

3) パローの海水上の雪

2月18日午後、パロー沖合約200 mの海水上で積雪調査を行なった。図版 I-3 は、調査現場から陸地を向いてとった写真である。海水上の積雪断面を色水で染めたところを図版 II-7 に示した。これを図版 I-4 の陸上積雪の断面と比べると、成層状態にかなり相違のあることがわかる。海水上の積雪は、地上15 cmの顕著な境界を境に、上下2つの層に大別できる。陸上積雪でのような多数の明瞭な層境界や軟硬の雪の互層はみられなかった。この顕著な境界から下の層は雪が明らかにしめっていた。これは、すぐ下の海水のブラインが毛管作用で雪にしみ上ったためである。境界から上の層では、雪はしめっていなかった。図版 II-8 は、表面の風成硬化雪の薄片を示す。

海水上の積雪について得た断面観測結果を第5図に示した。

海水上は陸上よりも積雪が少ない上、海水面の温度が地面よりも高いため、積雪内の温度勾配が陸上積雪でよりも大きかった。われわれの観測した時点での海水積雪の平均温度勾配は $-0.55^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ で、陸上積雪での2倍以上であった。これは北海道の山地でふつうに観測される値 $-0.05\sim-0.1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ⁷⁾よりはるかに大きい。このため、海水面からの豊富な水蒸気の補給と相まって、表面層を除く全層にしもざらめが発達していた。とくに海氷面上10~15 cmの層には、直径3~5 mmの大きい骸晶がみられた。

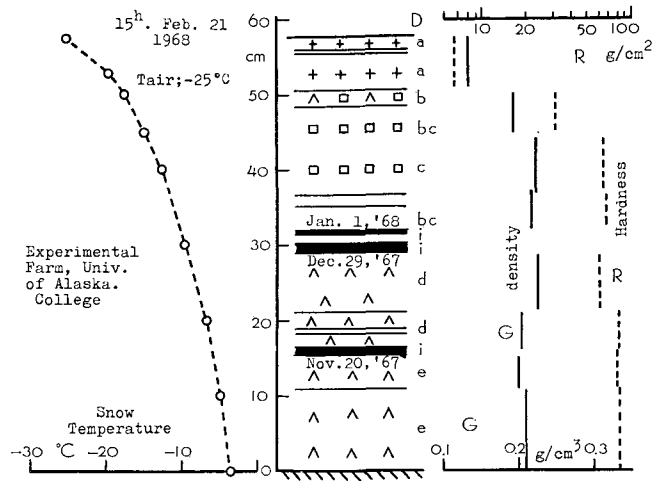
この層の硬度 $1.2\text{ kg}/\text{cm}^2$ を除き、他のしもざらめ層はいずれも硬度が $4\sim7\text{ kg}/\text{cm}^2$ で、陸上のしもざらめの $0.3\sim2\text{ kg}/\text{cm}^2$ よりかなり大きな値を示した。とくに海氷面上15~22 cmの層および海水面直上のしもざらめは、硬度 $6\sim7\text{ kg}/\text{cm}^2$ で、ふつう北海道の山地でみられるしもざらめの硬度約 $0.5\text{ kg}/\text{cm}^2$ ⁷⁾の10倍以上も硬い。図版 II-9, 10に、海氷面上17 cm, および7 cmから切りだした顕微鏡薄片を示す。図版 II-9の薄片には、上下につらなる大きな骸晶と、それらの間に分布する微細粒子とがみられる。このような組織は、秋田谷⁹⁾が大きな温度勾配下で、しまりゆきから作ったしもざらめの組織に酷似している(文献8の写真6-C)。

しもざらめゆきは一般に弱い脆い雪と考えられている。しかし秋田谷は、大きな温度勾配をしまりゆきに与えると、それがしもざらめに変態するとき、硬度が増大することを実験的に

見出した。たとえば、密度 0.36 g/cm^3 、硬度 2.3 kg/cm^2 のしまりゆきに -0.89°C/cm の温度勾配を10日間かけて作ったしもざらめの硬度が、はじめの3倍の 6.9 kg/cm^2 に増えていた。秋田谷の一連の実験結果⁸⁾⁻¹⁰⁾にてらせば、バローの海上上のしもざらめが大きな温度勾配の下で形成されたことは疑いない。

4) フェアバンクス

2月21日、フェアバンクス近郊アラスカ大学構内実験農場で積雪観測を行なった。図版



第6図 フェアバンクス郊外アラスカ大学構内
実験農場で行なった断面観測結果

III-11に、断面を色水でそめたところを示す。厚さ58cmの積雪断面の下方、地上16cmにみえる境界および断面中ほど、地上30cm附近に水平に走る2本の黒い帯状の部分は、それぞれ、1967年11月20日、12月29日および1968年1月1日の雨氷でできた氷板である。表面のしんせつ層を除き、1月1日の氷板の上はこしもざらめ、12月29日の氷板から下は、すべてしもざらめでできていた。断面観測結果を第6図に示した。

全層が、雪の密度 0.2 g/cm^3 、硬度 $50\sim 80 \text{ g/cm}^2$ の非常に弱い雪でできていた。しもざらめは、下層ほど骸晶が発達し、粒径も上層の1mmから、中層の2~3mm、下層の4~5mmと、下ほど大きくなる。地上20cmまでのしもざらめ層を、自然状態のまま、鉛直に薄く(厚さ約1cm)切ったときの写真を、図版III-12に示す。写真上方に水平に、11月20日の氷板がみえる。骸晶の1個1個が、しまりゆきの組織の網目構造状につながっているのではない。十個ないし数十個の骸晶からなる群が上下につながっている。このような骸晶群をこわさないように注意してとり出したところを図版III-13に示す。写真上方の3個がそれぞれひとつの群、下の大きなものは、十個でいどの群が集まったものである。

地上10cm付近から切りだしたしもざらめの薄片の顕微鏡写真を図版III-14に示す。粒径3mmの大きな骸晶がみられる。

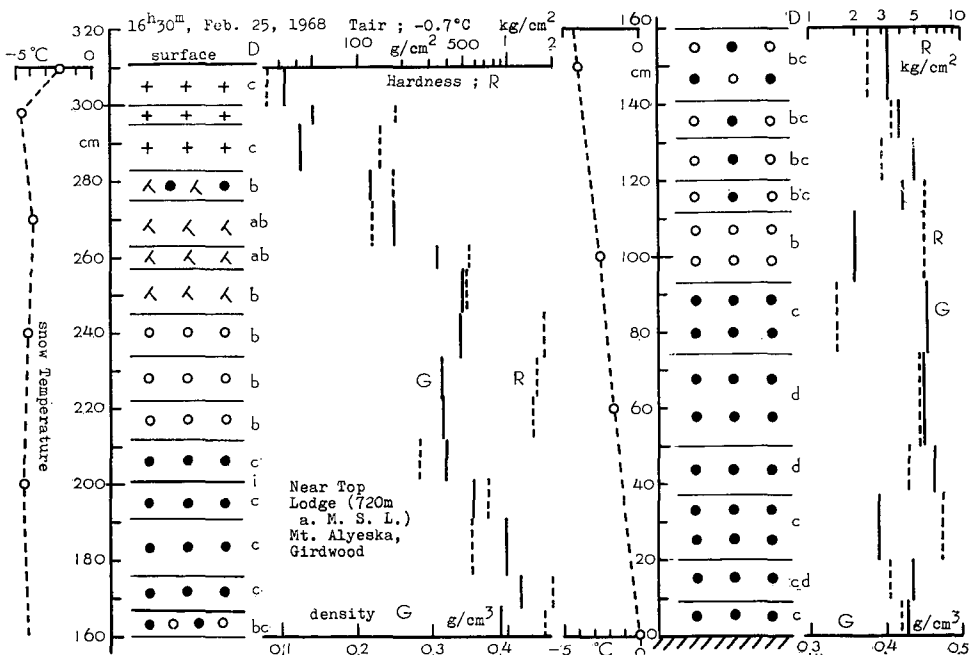
断面観測を行なったときの雪内部の温度勾配は、平均 -0.38°C/cm であった。これは、北海道山地でふつうに観測される温度勾配 -0.1°C/cm よりずっと大きく、バローの陸上積雪での値にほぼひとしい。しかし、フェアバンクスのしもざらめの硬度が、バローのしもざらめの値よりはるかに小さい。これは、バローの項でのべたように、雪が降ったときの条件のちがいによる。バローのしもざらめは、強風下でできた密度の大きい風成硬化雪が変態してできたものであった。これに対しフェアバンクスのは、無風下で静かに積ったしんせつがしもざらめ化したものである(アラスカ大学、カール・ベンソン博士の話による。フェアバンクスの冬期間の平均風速は約1.7 m/s)。秋田谷の研究によれば、このようなばあい、できたしもざらめは密度

が小さく、硬度も小さくなる。フェアバンクスのもざらめが非常に弱いのは、風が弱いためにおこったことである。

5) アンカレジ近郊アリエスカの雪

2月25日、アンカレジ近郊ガードウッド (Girdwood), アリエスカ (Alyeska) で積雪観測を行なった。観測をしたのは、アリエスカ国際スキー場の上端の尾根筋、海拔720 m地点で、この奥にある小氷河末端から約1 kmの地点である。この辺一帯には、ポータージ氷河など大小無数の氷河がみられる。観測地点は南東アラスカ大氷河地帯の北端近くに当る。

厚さ310 cmの雪に断面をつくり、色水で染めたところを図版III-15に、また観測結果を第7図に示した。第7図の右半分が地上から160 cmまで、左半分が160~310 cmの分である。ここの雪は、わが国北陸地方の豪雪地帯にみられる積雪と、雪質、密度、硬度等、すべての点でよく似ていた。表面から下に向って、しんせつ、こしまりゆき、しまりゆき、かたしまりゆき、ざらめゆきの順に成層し、地上210 cm以下の全層は、以前水を含んでほぼざらめ化していた。観測の時点では、雪温は全層でマイナスで、0~-5°Cであった。この付近は気温が比較的高く、雪が厚いため、地面は凍結せず、積雪内にしもざらめがみられなかった。密度、硬度は、わが国でふつうに観測される値と同程度で、しまりゆきで密度0.3~0.35 g/cm³, 硬度1.5~2 kg/cm², ざらめゆきではそれぞれ0.35~0.45 g/cm³, 1~5 kg/cm²であった。図版III-16, 17にそれぞれ、地上130 cmのかたしまりゆきおよび60 cm付近のざらめゆきから切りだした薄片を示す。



第7図 アンカレジ近郊アリエスカスキー場上端、海拔720 m地点で行なった断面観測結果

IV. メンデンホール氷河の調査

1960年5~8月, 1964年6~8月, 北海道大学アラスカ氷河調査隊(隊長, 北大工学部東晃教授)は, アラスカ南東部ジュノー近郊メンデンホール氷河の雪氷学的調査を行なった。筆者らはこの調査隊に参加したので, 夏期の氷河の状態は, かなり詳しく知っている。しかし, 冬期間この氷河がどのような状態なのかはよくはわかっていない。たとえば, 氷河がどのくらい積雪に蔽われているか明らかでない。それで, 今回のアラスカ雪氷調査の一環として, (1) アラスカ南東部の代表点ジュノーにおける積雪調査, (2) ジュノー近郊メンデンホール氷河の冬期間における一般的状态の調査, (3) 氷河氷の電気的性質の研究を企画した。

このうち(1)の積雪調査は, 1968年2月のアラスカ南部沿岸一帯の異常暖気で, 海拔1000 m以下の低い土地の積雪がほとんど消えていたため, 実施しなかった。これに対し, (2)冬期における氷河の一般調査, および, (3)氷河氷の電気的性質の研究は, 氷河が雪で蔽われていなかったため, 容易に実施できた。もし氷河がわずか数 cmの雪に蔽われていたなら, これらの調査, 研究はほとんど不可能だったにちがいない。事実, われわれが氷河から徹取する前日, 5 cmほどの雪が積ったが, そのときはも早, 氷河表面の観察その他の測定はほとんど不可能であった。

観測は1968年2月29日から3月13日にかけてなされた。得られた結果のうち, ここでは項目(2)だけについてのべる。(3)の電気的性質については, 他の機会に発表する。

1) 冬期における氷河の一般的状态

すでにのべたように, 1968年の冬, 南東アラスカは異常暖気で, 積雪が例年よりひと月も早くとけたといわれる。メンデンホール氷河でも, 積雪は, 中流以下の部分で, 2月上旬にはすでに消失していたと報告されている。筆者らが氷河の観測をはじめた2月29日には, 氷河上はもちろん, 兩岸の斜面にも雪はほとんどなかった。一般的な情況は, 筆者らが1964年6月中旬に, 同氷河を見たときとほぼ同様であった。図版IV-19は2月29日, 左岸前方, ビジターセンター(氷河を観察するための米国林野庁の建物)から眺めた氷河末端の写真である。また, 図版IV-18は3月4日, 右岸前方, 氷河末端湖(メンデンホール湖)の湖岸, 通称ライフルレンジからみたところである。氷河末端の中央, 通称川中島(図版IV-18, 19にNと印した岩盤)から左岸寄り(図版IV-19にみえる範囲)は, 直接氷河末端湖におち込んでいる。日に1回位の割で末端の氷塊が崩壊し, 冬でもこの部分で氷河の流動が活動的なことを示していた。これに対し, 川中島から右岸寄りの末端(図版IV-18, 川中島Nから左の部分)は, すっかり陸上に上ってしまっている。川中島から右岸寄りの部分は, 1960年夏には直接氷河湖におち込み, 1964年夏には, ほとんど陸上に上っていた。氷河末端の後退については, 後の第4)項で詳しくのべる。

2) 氷河表面の観察, 気泡の状態

3月2日, 氷河下流部の表面状態を探索した。氷河上の積雪は, すでにほとんど消失し, クレバス内や大きな凹部に, ごく局所的に残存するだけであった。図版IV-20, 21にその例を示す。IV-20で, 写真中央付近には, 凹所にたまった水が凍結し, 水位の低下とともに割れた

のがみられる。雪はこのような凹所にだけ散見された。日中の気温が最高 $+7\sim+8^{\circ}\text{C}$ 、夜間でも 0°C 以上だったため、氷河表面はとけ、とけ水が川をなして流れていた。飛行機からの観測によれば、氷河下流部だけでなく、高度 1000 m 付近の中流部でも雪がほとんどみられず、クレバス内に水のたまった三日月状の池が多数望見された (図版 V-25)。メンデンホール氷河の源流、ジュノー氷原から流れ出る他の氷河、ハーバート、イーグル、アントラー、ギルキー、タク、ノリス等の氷河も、3月7日に空中から偵察した限りでは、一般的な情況は、メンデンホール氷河と同じであった。一例として、イーグル氷河の全景を図版 V-26 に示した。

氷河氷内部に含まれる気泡の状態、分布などは、夏期に比べ、非常に明瞭に観察できた。図版 IV-21 に、氷河内の気泡が数 m の幅の帯状に連なっている様子を示した。冬は日射が非常に弱いため、内部融解によるチンダル像が発達せず、また、結晶粒界もあまりとけていないために、気泡がよく見えるのである。

図版 IV-21 は、氷河上、氷の峯の側面にみられた気泡の分布、IV-22 は、その一部の大写真である。IV-22 で白く見えるのは気泡、ほぼ水平に氷内部を走るすじは、氷の内部破断面である。気泡は、ほぼ球形のものもみられたが、大部分のものは、IV-23 にみられるように、木の枝状あるいは海草状の複雑な形状をしていた。また、この写真が示すように、気泡を大量に含む部分と、全く含まない部分とが隣接して互に平行に帯状につらなっているのが屢々観察された。この写真下方にみえる白い帯状部分は、氷体内部の破断面である。

氷河表面には、葉状構造 (foliation) その他、断層構造などが随所にみられたが (図版 V-24)、今回は、これについての組織的調査はなされなかった。

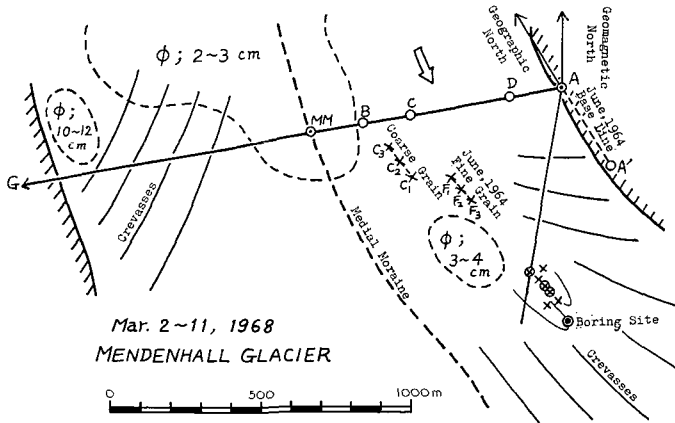
3) 結晶粒の大きさ

メンデンホール氷河では、従来しばしば、直径 20~30 cm もある巨大単結晶氷が大量にみついている。筆者らも参加した前 2 回 (1960, 1964 年) の北大アラスカ氷河調査隊でも、粒径 15~25 cm の単結晶氷を、氷河末端湖にくずれおち込んだ冰山から、計約 2 トン採取した。このような巨大単結晶が氷河のどこで、いつ、どのようにして成長するかを知るために、従来にひきつづき、今回も氷河表面を踏査して粒径を調べた。

3月2日、氷河末端から上流 1.5~2.5 km、氷河左岸から右岸までの範囲内で、表面にみられる結晶粒の大きさを測定した。氷河表面に雪がなく、また、氷河表面が融解していて、結晶粒界が容易に識別できた。

一般的に、1964 年の夏に比べて結晶粒が小さく、踏査した限りで観察した粒径は大部分が 2~3 cm、大きいもので 5 cm のていどであった。得られた結果を第 8 図に記入した。この図で、左右に斜線をほどこした部分が氷河両岸で、氷河は、図の上から下に向かって流れている。破線で囲った領域は、結晶粒径をかなり綿密に調べた部分で、その領域内の一般的な粒径が示されている。この辺の部分でも、他の測定作業を行なった際などに、粒径にも注意して歩いたが、大部分は 2~3 cm であった。1964 年 6 月には、図の C₁, C₂, C₃ 点を結ぶ線上、上下流約 1 km にわたって直径 10~15 cm の単結晶氷の水脈がみられた³⁾。今回はそれに相当するものはみつからず、この付近の平均粒径は 3 cm のていどであった。

比較的大きな単結晶は、氷河右岸近くの一部で 10~12 cm のもの、ボーリングを行なった



第8図 メンデンホール氷河、末端から約1.5 km 附近の略図。この附近で観察、測量を行なった。氷河は、図の上から下に向かって流れている。左岸のA, A' 点は、1964年アラスカ氷河調査隊の設定した測量基準点。太い実線AG上MM, B, C, D 点に流速測定用の旗竿を立てた。破線で囲った部分で、粒径を綿密に調査した。C₁, …, F₁, … と印した×印は、1964年6~7月に氷河の歪測定を行なった場所。1968年3月8日、そこから600~700m 下流に、1964年の遺物が発見された。⊗印は旗竿、×印はアルミ箔のみつかった位置を示す

地点付近 (図の Boring site) で5~10 cm のものがみつかったにすぎない。ボーリング地点から100~200 m 上流側に、1964年6~7月に氷河表面の歪測定に用いた旗竿などが計8個散在するのを発見した。図の⊗印は旗竿、×印はアルミ箔をみつかった場所である。1964年にこれら旗竿等を使用したのは、図のC₁, C₂, C₃ およびF₁, F₂, F₃ においてである。今回 (1968年) 発見された旗竿などが、1964年のC₁, …, F₁, … のうちのどの点に対応するかは確認できなかった。しかし、これら遺物の分布情況から判断して、氷河左岸よりに分布していたものは1964年のF₁, F₂, F₃ 点 (F群)、氷河中央寄り、ボーリング地点に近いところみつかったものがC₁, C₂, C₃ 点 (C群) に対応するとみてよからう。図版V-27はC群の最下流側から、V-28はF群の最上流側地点から採取した単結晶を示す。C群での粒径は5~8 cm で、F群での3~4 cm よりかなり大きい。C群のさらに下流側には、粒径10 cm 程度の氷脈がつづいているのがみられたが、大クレバスにはばまれて追跡できなかった。この氷脈は、1964年C₁, C₂, C₃ を結ぶ線上にみられた大単結晶氷脈に対応するものと思われる。

後にのべる氷河末端の調査でも、粒径は2~3 cm, まれに5~10 cm のものがみられたにすぎなかった。

4) 氷河末端の情況

冬期における氷河末端の情況を調べた。その主眼は、(1) 末端での氷河の活動状態、(2) 末端の氷河底面の観察、(3) 氷河の前進あるいは後退速度の測定、(4) 末端氷の粒径の大きさ、(5) 左岸末端に堆積している死氷の調査、などにおいた。

3月6日に、左岸末端と死氷の調査、3月10日に右岸寄りの末端前面の偵察を行なった。はじめに、右岸寄りの末端の情況をのべる。本節第1項でのべたように、この氷河は現在、年々後退している。1964年7月7日、第2次アラスカ氷河調査隊が当時の氷河末端の位置を印したべ

ソキの標識³⁾を、末端近くの岩盤上3個所で発見した。これらの標識から1968年3月10日現在の氷河末端までの距離、つまり、この間3年7カ月間の後退量を測定した。右岸の端近く、図版IV-18に白い矢を印したところに滝がみえるが、その付近で48mであった。また、川中島の西端近くで27m、それらのほぼ中央で44mであった。従って、1964年7月から1968年3月までの年平均後退速度は約12m/yrである。図版V-29に、44mの後退量を観測した地点の状況を示す。

この付近の末端では、氷河水の底面が観察できた。図版V-30に示すように、氷河の底面は土砂でよごれ、また、流れの方向に平行な数条の「すじ」が見られた。これは、氷河末端が流動、前進する際に、下の岩盤によってけずられた跡である。この「すじ」の長さは約5mであった。この「すじ」は、前年の冬のはじめから調査時点までの間にできたものにちがいない。もし、前年の夏あるいはそれ以前からのものであれば、前年の夏には、すっかりとけて消えている筈である。それゆえ、この「すじ」の長さは、67年11月中旬、平均気温が0°C以下になったときから、調査した68年3月10日までの冬期120日間における氷河末端の前進量にほぼ等しいと考えられる。これから、冬の間の氷河の前進速度として、約4cm/dayと求まる。

川中島から右岸に至る氷河末端で、結晶粒径を調べた。局部的に5cmていどのものもみられたが、ほとんどの場所で2~3cmであった。

つぎに、3月6日に行なった氷河左岸末端における調査を記す。この氷河の川中島から左岸寄りには、氷が直接末端湖におち込み、高さ20~30mの氷塊が冬でも崩壊している(図版IV-19)。このため、末端の左岸寄りの活動部分では、右岸寄りでと同様な調査はできなかった。それで、右岸近くの末端、土砂(モレーン)をかぶり、活動を全く停止している死氷(dead ice)の調査を行なった。図版V-31に、この死氷の全景を示す。高さは約20mである。現地の人話では、この死氷は、20年以上も以前からここにあるとのことであった。大量のモレーンに蔽われていたので、他に比べて融解がおくれたのであろう。死氷の急斜面は土砂をかぶらずに露出していたので、粒径、気泡の状態などが観察できた。粒径はほぼ10cmのていどで、結晶粒界は、氷河上でみられるのと同様かなり不規則に曲っていた。図版VI-32にその例を示す。写真に写っている物指しの長さが約55cmである。気泡は、前の第1項でのべたと同様、木の枝状の複雑なものが多くみられた。この死氷は、氷河から独立して以来、20年以上の間経過しているもので、その間、焼鈍(anneal)されていたと考えてよい。それにも拘らず、直径20~30cmもあるような巨大単結晶が見つからなかったばかりか、結晶粒界も不安定な曲面状であった。

この死氷の近くに、ごくわずか残っていた今冬(1967~68年の冬)の雪をみつけた。図版VI-35にその鉛直薄片を示す。部分的にほぼ氷化した、硬いざらめゆき(硬度3.5kg/cm²)である。

死氷と現在の氷河末端との間には、粗い砂状のモレーンが厚く堆積していた。このモレーン層を掘ると、表面下約70cmのところ、雪と氷の層がでてきた。図版VI-33にその状況を示す。厚さ20cmのぬれざらめゆきの下に、柱状の気泡を含む氷の厚い層がみられた。図版VI-34に氷の層から切りだした厚さ約1cmの薄板を示す。右の白い矢が鉛直上方に当る。気泡の形状から、この氷はもともと氷河水ではなく、凍結水のように思われる。図版36, 37はそ

れぞれ、ざらめゆき、および、氷の薄片の写真である。これらの雪と氷が、いつどのようにしてモレーン内部に形成されたかは不明である。しかし、上にかぶっているモレーンの厚さから考えて、上にのべた死氷が氷河から独立する以前に形成されたものにちがいない。

5) 冬期における氷河の流動

今回、メンデンホール氷河を調査した目的のひとつは、冬期における氷河の流動状況を調べることであった。すでにのべたように、氷河は、末端中央の川中島から左岸寄りでは冬期でもかなり活発に活動しているのがみられた。一方、右岸寄りの部分も、1967年11月から68年3月までの冬期4カ月間に約5m、1日平均4cmていど流動したことがわかった。このような観測と同時に、筆者らは、氷河下流部で、通常の旗竿法によって、氷河表面の流速を測定した。

第8図、氷河左岸A点、A'点は、1964年に行なった測定の基準点で、 $\overline{AA'}$ の長さは306mである。筆者らはA点に遺留した旗竿を発見したので、今回の流速測定の基点に再びこのA点を用いた。氷河右岸の稜線上の岩をもう一方の基準点に選び、Aからその岩を見通す線 \overline{AG} 上のD、C、B、MM点に旗竿を立てた。MM点は、氷河の中央モレーン帯の、上面が平らな四角い岩(2×2m、高さ1m)の上に定めた。3月5日に旗竿の変位を測定で求めた。変位が流れの方向に平行と仮定して求めた6日間の変位は、MM点で150±50cm、B点で130±40cm、C点で135±30cm、D点で35±10cmであった。すなわち、岸から500m以上はなれた氷河中流域の冬期における表面の平均流速は(20~25)±(5~10)cmなことがわかった。B、C点付近で1964年6~7月に測定した流速は約90cm/dayであったから、ほぼ同じ場所における冬期の流速は、夏の約1/4なことがわかった。

次に、前の第(3)項でのべた1964年の遺物(旗竿とアルミ箔)の位置を測定で求め、1964~68年の間の平均流速を求めた。アルミ箔は、風でとばされた可能性があるので、旗竿だけに注目する。これら旗竿は、第3項で述べたように、図のC₁、C₂、C₃における氷河水の歪の測定に用いたものである。そこで、粗い計算であるが、年平均流速を求めると、170m/yrがえられる。

今回、流速測定に用いたMM、B、C、D各点および、1964年の遺物の旗竿のうち最上流側にあった点にそれぞれ30cm角ていどの平らな石をおき、ペンキで標識をつけておいた。今後再び同氷河を訪れる機会があったときに、これらの石の変位から正確な流速が求められるであらう。

6) ボーリングで得たコア試料

第8図にBoring siteと印した点で、深さ7mまでのボーリングを行ない、コア試料を得ると共に、ボーリングでできた孔を利用して氷河内部の温度の測定を行なった。氷河内の温度は深さ7mまで全層0°Cであった。孔の周囲からは水がにじみ出し、孔の中にたまって水位が上昇した。これは氷河内部にかなり多量の水が存在していることを示す。水は主に結晶粒同士の界面に薄膜になって存在していたものと思われる。この水の水位上昇に関しては、別の機会ですくのべる予定である。

得られたコア試料について、氷の組織、粒径などを調べ、各深さの氷の電気伝導度を測定した。電気伝導度については、別の機会にのべることとし、ここでは、単に、氷の組織についてふれることにする。

図版 VII に、コア試料から切りだした薄片の偏光写真を示す。各写真の左上隅に付けた数字は、薄片を切りだした深さを cm 単位で示したものである。一般に、表面近い方で粒径が大きい。表面下 4.5 m までは粒径が 5~6 cm、それより下の層では 2~3 cm のものが目立つ。しかし、このように大きな単結晶粒だけばかりでない。たとえば、95 cm, 500 cm, 510 cm, 555 cm, 600 cm の深さに、粒径 1 ないし数 mm の微結晶がみられる。これら微結晶は、氷河内の葉状構造に伴うものではない。微結晶粒は結晶粒界のところで発生し、その部分の氷が再結晶しつつあることを示している。

一方、氷体内の気泡や空隙は、ほとんどすべての深さで結晶粒界にみられる。再結晶や歪粒界移動がおこると、もともと粒界に沿って存在していた気泡や空隙は粒内にとりのこされる¹¹⁾。深さ 350~400 cm の部分では、数本の管状の気泡が単結晶粒内をよぎっている。これは過去に、この部分で再結晶あるいは歪粒界移動がおこり、気泡や空隙が粒内にとり残されたと考えられる。このようなことを繰り返しつつ結晶粒は成長しつづけ、ついには直径 20 cm もある巨大単結晶氷になるのであろう。

V. ま と め

筆者らは、1968 年 2 月中旬から 3 月中旬にかけ、第一次北極水圏学術調査隊に参加し、アラスカの雪氷調査を行なった。これは、北極圏において、水が、気相 (水蒸気)、液相 (水)、固相 (氷) の形をとりつつ、どのように循環しているかを追究する研究の一環をなすものである。それで、先ず、冬期におけるアラスカの雪氷の実体を知るために、アラスカ各地の積雪、氷河の状態を調査した。積雪調査は、北極海を漂流する氷島 T3、アラスカ最北端のバロー、中部アラスカ大平原のフェアバンクス、南部太平洋沿岸のアンカレジで行なった。また、氷河調査は、南東アラスカ、ジュノー近郊メンデンホール氷河で実施した。

積雪観測結果は、第 III 節にのべたが、各地の積雪の顕著な特徴をまとめると次のようになる。

(1) 北極海沿岸のバローにおける陸上積雪では、硬度 10~15 kg/cm² の硬い風成硬化雪、および硬度 1~4 kg/cm² の比較的弱いしもざらめ雪がそれぞれ 4 層、互層をなしていた。

(2) バロー沖合の海上上の積雪では、厚さ 30 cm の層の大部分がしもざらめ雪でできていた。このしもざらめは典型的な骸晶でできているにも拘わらず、硬度が 5 kg/cm² もあり、北海道などでふつうにみられる同種の雪の 10 倍以上も硬かった。

(3) フェアバンクスの雪は、全層約 60 cm の大部分がしもざらめであったが、バローのしもざらめに比べると桁違いに弱く、硬度が 0.1 kg/cm² にもみたなかった。また、フェアバンクスのしもざらめでは、10 個ていどの骸晶が集って、ひとつの集合単位をつくり、それが蜂の巣状に、上下に連らなっていた。

(4) アンカレジ近郊の山の雪は、厚さ 3 m 以上の全層にわたり、北海道や北陸地方の積雪とほぼ同じ性質のものであった。

以上のうち、バロー、フェアバンクスの特性については、北海道における積雪観測結果、しもざらめに関する室内実験結果等を参照しつつ、その成因を論じた。しかし、この種の雪の

成因や形成過程については、今後の長期にわたる調査、研究が俟たれる。

氷河調査の結果は、第IV章にのべた。メンデンホール氷河の冬期における一般的な情況、たとえば氷河の表面状態、気泡、粒径分布、氷河の流動状態、活動の程度などである。

得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 氷河表面の観察は、夏よりもむしろ冬の方がよい。とくに、気泡の形態、分布等、内部構造の観察には適している。これは、冬期日射が弱く、氷体内にチンダル像が形成されないこと、結晶粒界が極度にはとけないことによる。気泡は、球形のものよりは、ある点を中心にして細長い曲管状の気泡が灌木の枝状に氷体内にのびているものが多かった。これらの気泡は、氷河内部を10~20 cmの幅で帯状に分布していた。気泡帯のすぐ隣には、気泡を全く含まない透明氷の層が並行して走り、気泡帯とはっきり区別された。

(2) 下流部の氷河表面にみられる結晶粒の大きさを踏査した。1964年夏に比べ、粒径は一般的に小さく、2~3 cmであった。氷河末端の粒径もこれと同様2~3 cmであった。

(3) 1964年7月7日から1968年3月10日までの、氷河右岸寄りの末端の後退速度を求めた。平均12 m/年であった。

(4) 氷河末端右岸寄りの冬期間における平均流速を推算したところ、約4 cm/dayがえられた。

(5) 氷河下流部の表面で、冬期における流速を、通常の旗竿法で測定した。氷河中央部で平均流速が $(20\sim 25)\pm(5\sim 10)$ cmと求まった。

(6) 1964年夏以来、氷河上に放置されていた旗竿等の位置を測量することにより、氷河下流部の年平均流速を求めた。170 m/年であった。

(7) 氷河末端から約1 kmの地点でボーリングが行なわれ、深さ7 mまでのコア試料が得られた。薄片を作って、氷河氷の組織を調べた結果、氷河内の再結晶、歪粒界移動などがこりつつあることを認めた。

われわれが調査を行なった1968年2~3月は、異常暖気のため氷河上の積雪がほとんど消失していた。このため、冬期における氷河の一般的な状態を調査することができた。しかし、上にのべた諸現象の成因、機構、過程の解明には、今後の長期にわたる研究が必要である。

この調査を行なうに当って、北極水圏学術調査隊長、名古屋大学水質研究施設樋口敬二教授から種々有益な助言をいただいた。観測、設営等については、各地で次の方々にお世話になった。

バロー；アラスカ大学北極研究所長マックス・ブリューワー博士、ほか所員の方々。

フェアバンクス；アラスカ大学地理物理学研究所長キース・メーサー博士、同所員カール・ベンソン博士、大竹武博士、鈴木義男博士、ほか所員の方々、アラスカ大学北極環境工学研究施設ハロルド・ペイトン博士ほかの方々。

アンカレジ；合衆国林野庁チュガチ国有林監督官ジョン・クルッパー氏、同監守官チャルス・オレイリー氏、ジョージ木村氏、ハーバート寺前氏、アリエスカスキー場クリス・フォン・イムホフ氏。

ジュノー；合衆国林野庁トンガス国有林監督官リル・ジャック氏，同 K. メトキャフ氏，同 イワン・サンダース氏。アル・アンダーソン氏，ケン・バゼル氏，ウィリアム・ノートン氏，フレデリック・コッシュマン氏，アーロー・リビングストン氏，伏見碩治氏。

メンデンホール氷河で採取した氷の試料は，アラスカパルプ株式会社の御好意で名古屋大学に輸送された。

本報告を書くに当って，本研究所吉田順五教授の有益なる助言をいただいた。

以上の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

なお，この調査に用いた大部分の費用は，文部省海外学術研究費（北極水圏学術調査，1968 代表者，名古屋大学樋口敬二教授）から支出された。

文 献

- 1) 例えば，Tarr, R. S. and Martin, L. 1914 Alaskan Glacier Studies. National Geographic Society, Washington. 498 pp.
- 2) 例えば，Benson, Carl C. 1969 Seasonal snow cover of Arctic Alaska. *Arctic Institute of North America, Res. Paper*, No. 51, 1-47.
- 3) Higashi, A. 1967 Ice crystal growth in a temperate glacier in Alaska. *In Physics of Snow and Ice, Part 1* (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci. Sapporo. 409-430.
- 4) Nakaya U., Muguruma J. and Higuchi, K. 1962 Glaciological studies on Fletcher's Ice Island (T-3). *Arctic Institute of North America, Res. Rept.* No. 21, 1-60.
- 5) 黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫 1969 手稲山における雪ふみ試験. 低温科学, 物理篇, 27, 213-228.
- 6) 黒岩大助・他 1968 下藤野リュージュコース, 北の峯アルペン競技コース及び大雪山アイスバーンの雪質調査. 低温科学, 物理篇, 26, 249-267.
- 7) 藤岡敏夫・他 1968 雪崩観測所実験室実験斜面積雪の特質. 低温科学, 物理篇, 26, 169-185.
- 8) 秋田谷英次 1968 しもざらめ雪の形成. 雪氷, 30, No. 5, 25-31.
- 9) 秋田谷英次 1965 しもざらめ雪の研究, I. 低温科学, 物理篇, 23, 67-74.
- 10) 秋田谷英次 1967 しもざらめ雪の研究, II. 低温科学, 物理篇, 25, 37-47.
- 11) 木下誠一 1962 塑性圧縮による積雪の氷への転化. 低温科学, 物理篇, 20, 131-157.

Summary

Members of the 1968 Arctic Hydrosphere Expedition conducted glaciological studies of snow and ice in Alaska from February 12th to March 15th, 1968. The main purpose of the Expedition was to clarify the characteristics of snow in the Arctic regions and also the general state of glaciers in the winter season in Alaska. The observations of the snow covers were carried out at the three representative points in Alaska: Barrow (71°18'N, 156°47'W) facing the Arctic Ocean, Fairbanks (64°49'N, 147°52'W) in the greater central plains, and Anchorage (61°10'N, 149°59'W) facing the Pacific Ocean (Fig. 1). The differences in meteorological conditions among these sites (Fig. 2) may give rise to remarkable differences in the characteristics of the snow covers at these sites.

The characteristics of the snow observed at these sites can be summarized as follows:

- (1) The snow cover at Barrow was composed of several alternate layers of very hard, fine grained wind packed snow (Plate I-2, hardness; 10~15 kg/cm²) and rather soft, coarse grained depth hoar (Plate II-6, hardness; 1~4 kg/cm²).

(2) The majority of layers of the snow cover on sea ice, 200 m off Barrow, consisted of coarse-grained depth hoar. The hardness of the depth hoar was $6\sim 7\text{ kg/cm}^2$, which is 10 times harder than that commonly found in Hokkaido. Such a hard depth hoar might be produced from wind packed snow under a large temperature gradient (0.5°C/cm) in the snow cover.

(3) The majority of layers of the snow cover at Fairbanks were composed of coarse-grained ($2\sim 5\text{ mm}$) depth hoar, which was very soft (hardness; less than 0.1 kg/cm^2) and fragile compared with those found at Barrow (Fig. 6). More than ten hoar crystals were found as a honeycomb-like aggregate as illustrated in Plate III-13.

(4) The snow in the Alyeska ski area near Anchorage was quite similar to that commonly found in the northern part of Japan (Fig. 7, Plate III-15, 16, 17).

A general survey, including observations on grain size distribution, air bubbles and internal structures were carried out on the surface and at the terminus of the Mendenhall Glacier near Juneau, southeast Alaska, from February 29th to March 13th, 1968. The mean grain size observed on the glacier was $2\sim 3\text{ cm}$ in diameter, which was smaller than that found in the summer of 1964.

The flow speed in winter was measured on the surface of the lower part of the glacier. The average surface speed was $(20\sim 25)\pm(5\sim 10)\text{ cm/day}$ near the medial moraines. Several flag stakes left behind on the glacier by members of 1964 Hokkaido University Alaskan Glacier Expedition party were found. The measurement of the displacement of these stakes from 1964 to 1968 gave the mean annual flow speed of 170 m/yr .

A 7 m ice core obtained with a hand auger was used for the microscopic examinations of the glacier ice. It was found under polarized light that recrystallization and strain induced grain boundary migration are in progress within the glacier ice.

図版説明

- I-1; 1968年2月19日, バロー北方約100 kmの北極海の情況。海水が割れ, 開水面から湯気が立っている
- I-2; 2月19日, 氷島 T-3の表面, 風成硬化雪から切りだした顕微鏡薄片。矢の方向が鉛直上方。密度 0.41 g/cm^3 , 硬度 13 kg/cm^2
- I-3; バロー沖合約200 mの海氷上から, 北極研究所を向いてとった写真。海氷上の積雪表面の凹凸を示す
- I-4; バローの陸上の積雪。断面を色水で染めたところ。地面の凹凸, 積雪成層境界の乱れがみられる (2月18日)
- I-5; バロー陸上積雪, 地上32 cm, 硬軟2層を分ける層境界附近から切りだした鉛直薄片。写真上半部の雪の密度 0.48 g/cm^3 , 硬度 16 kg/cm^2 , 下半部の雪の密度 0.36 g/cm^3 , 硬度 1.5 kg/cm^2
- II-6; バロー, 地表面近くのしもざらめ層から切りだした鉛直薄片。密度 0.23 g/cm^3 , 硬度 0.28 kg/cm^2
- II-7; バロー海氷上積雪の断面。色水で染めたところ (2月18日)
- II-8; バロー, 海氷上積雪の表面層から切りだした風成硬化雪の鉛直薄片。密度 0.39 g/cm^3 , 硬度 5.6 kg/cm^2

- II-9; バロー, 海氷面上 17 cm の硬いしもぎらめの薄片。密度 0.42 g/cm³, 硬度 6.0 kg/cm²
- II-10; 同上, 海氷面上 7 cm の硬いしもぎらめの薄片。密度 0.41 g/cm³, 硬度 7.0 kg/cm²
- III-11; 2月21日, アラスカ大学実験農場の積雪断面
- III-12; 地上 20 cm までのしもぎらめ層を自然状態のまま, 厚さ 1 cm に切ったところ。写真上方, 水平に, 1967年11月20日の雨水でできた氷板, その下にしもぎらめの結晶がみられる
- III-13; しもぎらめの骸晶群
- III-14; 地上 10 cm 附近のしもぎらめの薄片
- III-15; アリエスカスキー場上部の積雪断面
- III-16, 17; それぞれ地上 130 cm のしまりゆき, 地上 60 cm のぎらめゆきの鉛直薄片
- IV-18, 19; メンデンホール氷河末端。それぞれ, 3月4日, 右岸前方ライフルレンジ, 2月29日, 左岸前方ビジターセンターから撮影
- IV-20, 21; メンデンホール氷河下流域の情況。21は, 氷の峯にみられた気泡の帯
- IV-22; 氷河氷内の気泡の分布を示す
- IV-23; 気泡の大写し
- V-24; 氷河表面にみられる葉状構造
- V-25; メンデンホール中流域にみられた三日月湖 (3月7日)
- V-26; 3月7日, イーグル氷河の全景
- V-27, 28; 3月8日, メンデンホール氷河下流部で発見された1964年夏の調査隊の遺物の近くでの単結晶氷。27; C群, 28; F群
- V-29; 氷河右岸よりの末端の後退を示す。手前に1967年7月7日の氷河末端の位置を印した標識がみられる
- V-30; 右岸寄り末端の氷河底面。土砂でよごれ, 岩盤上をはい上ったときの傷跡(条痕)がみられる (3月10日)
- V-31; 左岸近くの末端にみられた死氷。多量のモーレンにほぼ覆われている (3月6日)
- VI-32; V-31に示した死氷の氷壁。結晶粒界がとけて黒いすじにみえる。写っている物尺しの長さは約 55 cm
- VI-33; 死氷と, 氷河の現在の末端 (写真後方にみえる) との間の厚いモーレン層の中に埋もれていた雪と氷を掘りだしたところ。物指しの長さ 50 cm
- VI-34; VI-33に示したモーレン内部から掘りだした氷の鉛直薄片。写真右上に印した白い矢が, 掘り出した時の鉛直上方。下方の物指しに印した白いすじの間が 1 cm
- VI-35; 死氷の近くで採取した今冬 (1967~68年の冬) の雪の鉛直薄片 (偏光)。スケールは, 次の写真 37 に同じ
- VI-36, 37; VI-33に示したモーレン内から掘りだした雪 (写真 36) と氷 (写真 37) の鉛直薄片 (偏光), 37の左上端の白い矢が鉛直上方
- VII; 3月8日, 第8図 Boring Site と印したところで採取したコア試料の薄片。いずれも写真の左が鉛直上方に当る。各写真左上隅の数字は, その薄片を切りだしたコアの表面からの深さである

