

Title	海氷中の気泡量測定
Author(s)	楠, 宏
Citation	低温科學. 物理篇, 17, 123-134
Issue Date	1958-12-10
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/17949
Туре	bulletin (article)
File Information	17_p123-134.pdf



Kou KUSUNOKI 1958 Measurement of Gas Bubbles Content in Sea Ice. I. Low Temperature Science, Ser. A, 17. (With English résumé p. 134)

海氷中の気泡量測定」*

楠 宏 (低温科学研究所 海洋学部門) (昭和 33 年 7 月受理)

I. はしがき

海氷は通常固体である純氷の結晶, ブライン (濃縮された海水の塩類溶液), 気体の3相で 構成されていることはよく知られている。このほかに岩石の破片や砂泥のような鉱物質, プラ ンクトン, バクテリヤのような微生物, さらに大きな海藻が含まれていることもある。海氷中 もつとも主要な物質は純氷であることはいうまでもない。 温度が -54°C 以下になれば液相は 固化するが多くはブラインと気体が海氷の構造, 変態, 物理的化学的性質に密接な関係をもつ ている。海氷中の気体は主として空気であるが, これが小さな気泡や外気と通ずる小さな孔 (以下気孔と称する)をみたしている。もちろん純氷自体とかブラインの中にも溶けこんでいる 気体が存在するが, これらの量はごく少ないことが知られている。従来海氷の特異な物理的性 質はそれに含まれるブラインによつて説明されてきた。現在多くの教科書に採用されている Malmgren¹⁾の測定した海氷の物理常数にしても, 海氷はブラインを含むのみとして取扱われ ている。しかし海氷の熱的・力学的性質に気泡 (bubble) や気孔 (open-pore) のもつ役割は決 して無視することができないであろう。この点について多少の研究がなされたとはいえまだ不 明の点が多い。

海氷中の気泡や気孔の研究は Zubov² によつて紹介されている。すなわちその形状, 含有 量, 成分, 密度やブライン量との関係などが取扱われてきた。また北大西洋の氷山についての 研究もある。(Barnes³), Scholander⁴ *et al.*)。氷河や大陸氷に含まれる気泡は, 氷の構造, 変 態, 流動, 氷の年代決定などの諸問題と関連してさいきん注目されている。海氷中の気泡の研 究もこれらと関係するところが多い。一方わが国の北方海域の海氷については, かつて福富・ 楠・田畑⁵ がかんたんな観察を行つたが, 筆者の知る限りでは定量的な測定がなされていない ようである。海氷の構造, 変態, 物理的性質などとの関連を今後の課題として, まず氷中に閉 じ込められている気泡の全量を測定することを試みた。このような空隙部分の測定は, 積雪や. 土壌などで行われる。porosity(間隙率, 多孔度) や void ratio(間隙比) などの測定に相当する もので, 海氷の基本量として重要な意味をもつものである。すでに V. I. Arnol'd-Alyab'yev⁵) や V. V. Shuleykin⁷ によつて気泡の全量を測定する装置が考案されている。これらと同様の

* 北海道大学低温科学研究所業績 第453号

低温科学物理篇 第17 輯 昭和 33 年

ものを作成し1958年2月上旬に北海道オホーツク海岸の紋別(もんべつ)市において実測を試 みた。その結果沿岸の定着氷や種々の坐氷の気泡量は氷の全体積の1~10%程度であることが わかつた。現地での滞在期間には制限があり、観測施設も不備な点が多くほんの予備測定に終 つたわけであるが、ここに測定結果をしめし、多少の考察を試みることにする。

II. 測定方法

海氷中の気相部分は外界に連絡している気孔と氷中に閉じ込められている気泡からなるも のと考えられる。北海道オホツク海岸の定着氷はその厚さが50 cm に達することは稀である。 したがつて海水面はほとんど氷の表面近くに達している, 気温も -20℃以下になることは珍 らしく,積雪がかなりあり,このため表面近くを除けば気孔の部分にはブラインや海水が浸入 しているものと思われる。 したがつて表層の浸潤性氷 (infiltrated ice)を除けば気孔の部分は 現場 (*in situ*) ではあまり多くないようである。 ここで測定しようとするのは氷中に個々に閉 じ込められた気泡の全量である。それには氷を,それと混合しない油などのなかで融かして逃 げ出してくる気泡をビュレツトなどに捉えて体積を測定すればよい。 前述の V.I. Arnol'd-



A A型(アルノリドーアリャビエフによる)

B S型(シュレイキンによる)

Alyab'yev の考案した気泡量の測定装置が知られており、 それとすこし型式のことなる V. V. Shuleykin の装置も知られている。 これらと同様のものを前者の型について3箇(A型とよん でおく),後者については1箇(S型)作成した。 両者の模式的な形状を第1図A, Bにしめし ておく。

第1図のA型では下部の氷を入れる部分(市販の試薬瓶の底を抜いて用いた)の容量が約500 cc のものを2箇,容量250 cc のものを1箇作成した。前者にあつては上部のビユレット容量は25 cc,後者では15 cc,ともに0.1 cc 目盛である。S型は直径5 cm,高さ10 cmの氷溜と容量25 cc のビユレットからできている。

実測にあたつてはまず装置全体を冷して氷の融解温度以下にしておく必要がある。現地の 測定を行つた所は採暖設備のない部屋で測定期間中つねに気温は氷点下であつた。氷を融かす 際に用いる油としては市販の灯油を用いた。テレビン油や3塩化エチレンを用いてもよい。油 を注ぎ込み氷中の気孔を油が浸み込んだのち装置全体を暖めて氷を融し、それにつれて氷から 気泡が出るからこれを上部のビユレットに貯え、 さいごに全量を目測で0.01 cc まで読取れば よい。

ビュレットに溜つた気泡の全体積 (v_a)は、その圧力はもとより、測定時の気圧 (B)、ビュ レット内の液面と下の油溜の液面との差 (h)による圧力、気泡の温度 (t) (ビュレットの周りの 温度に等しいものとする) によつて支配される。気体法則から温度 t_o° C, 1気圧における気泡 の全体積 v_a はつぎの式で与えられる。

$$v_{0} = \frac{B - \frac{\rho_{k}}{\rho} h}{760 - \frac{\rho_{k0}}{\rho_{0}} h_{0}} \frac{273.2 + t_{0}}{273.2 + t} v_{a}$$
(1)

ここで気圧 B は mm Hg, h は mm を単位とし、 ρ_k は灯油の密度、 ρ は水銀の密度で添字 0 は 温度 t_a に対応する。S 型の装置では h=0 にできるから (1) 式はつぎのように書改められる。

$$v_{0} = \frac{B}{760} \frac{273.2 + t_{0}}{273.2 + t} v_{a} \tag{2}$$

ここで気泡量は標準状態 (0°C, 1 atm) について考えるのが便利であり、 その時には (1), (2) 式 で $t_0=0$ とすればよい。 Bは 0.1 mm Hg, hは 1 mm, tは 0.1°C の精度で測り v_0 を 0.01 cc ま で求めることができる。

III. 測定結果

測定は1958年2月6日から14日まで行つた。用いた試料は紋別市の北浜町の波打際にあった厚さ1.3mの坐氷,そのそばの平坦な厚さ約15cmの坐氷(これはこの附近に張つたものがくだけて波のため打よせられたものと思われる),外港の防波提にしけの時打上げられた坐氷,さらに港内の3箇所の定着氷である。港内の定着氷は厚さが15cm程度であつた。これら

の氷から鋸やコアドリルで大きな試料をとり,さらに 60~340gを気泡量測定に用いた。測定 に先立つて体積と質量を測つて密度を求めておいた。また試料の一部は後日実験室内での塩素 量測定に供した。

氷を灯油中で融かすために装置全体を暖かな部屋へ持込むか,氷点下の気温のもとで赤外 線ランプで加熱するかした。後者の方法を多く用いたが、測定中の気温は -2° ~ -7° C であつ たので氷を融かしきつたあとで装置全体(とくに気泡量に変化を与えるビユレットの部分)の 温度が低下し,油や融解水の温度は 20° C 近くに達したので装置の各部の温度が等しくならな いという難点があつた。しかし30分~数時間上記の温度の下で放置したので,気泡は気温に 等しいものとしてあまり支障はないであろう。気泡中の気体(主として空気と考えられる)の 一部は融けた水や灯油に溶け込むことが考えられる(空気の吸収係数は 0° C で体積について 2.9%),しかし油は 20° C 近くまで暖められていたので空気などの溶解する量は少ないと考えら れる。融けた水は油より密度が大きいので下へ溜るが、これも次第に加熱されるから空気の吸 収係数は小さくなる。また気泡は氷の表面を流下しているごく薄い水の層と接触するだけであ るから気体が水へ溶けこむ量は極めて僅かであろう。今回は気圧計を持参しなかつたが、すぐ 近くの紋別海上保安署の自記気圧計の値を用いた。また灯油の密度 ρ_k は0.789(15° C)であつ た。かくして1回の測定には $3\sim4$ 時間を要した。以上の気泡量に影響する諸量がわかるので (1)式または(2)式によつて標準状態における気泡量を求め、さらに氷の試料に対する体積百分 率で表わし第1表にしめした。

今回測定したのは気泡量と試料の密度である。一般に多孔質物質では(Vを全体積, vaを 間隙の体積として)間隙率 p はつぎの式で与えられる。

$$p = \frac{v_a}{V} \times 100 \ (\%)$$

または

$$p=1{-}\frac{\rho}{\rho_{\rm o}}$$

ここで 0。は実質部分の密度(氷であれば純氷部分), 0は全体の見かけの密度である。

第1表にしめした気泡量はこのような意味で体積の百分率でしめしておいた。実際の気泡 量は2~20ccの範囲にあつた(試料の質量は60~340g)。 あとで述べるように海氷の見かけの 密度は純氷, ブライン量, 気泡量, 気孔量によつてきまるものであるから, 気相以外の相につ いて測定をすることが必要である。これらの点について考察をすすめた結果も第1表にしめし てある。第1表の説明を行いつつ以下に考察をすすめる。

海氷中の気泡量測定 Ι

第1表 海氷中の気泡量測定結果 (1958年2月 紋 別)

測定番号	測定月日	氷の種類	採取した深さ	見かけの 密度 $\rho(g/cm^3)$	気泡量 214(%)	真の密度 0′ (g/cm ³)	気孔量 v(%)	.全空隙量 (va+v)
	1958 2月			()	010(70)			·
6	8日	坐氷(北浜町) 氷厚 1.3 2月6日採取 (以下同じ)	表層	0.874	7.47	0.922	0	7.47
9	10		"	0.802	6.98	0.921	5.9	12.9
4	7		"	0.780	2.80	0.921	12.5	15.3
7	9		(下 層?)	0.892	1.64	0.927	2.2	3.8
5	8	坐氷(防波堤	表面より 60 cm	0.897	3.65	0.921	0	3.65
10	10) (氷厚 1.5 m) 平坦坐氷,氷厚 15 ^{-m} (北浜町)	"	0 . 84 ₆	3.9₅	0.921	4.1	8.1
8	10		底 層 4 cm	0.717	2.27	0.924	20.1	2 2.4
12	10	船入潤の平坦 な定着水 (氷厚約 15 cm)) -	0.866	3.11	0.924	3.2	6.3
13	11		【表層部 ((6~7 cm)	0.871	1.77	0.923	3.8	5.6
15	11)	0.83 ₈	2.17	0.92 ₃	7.0	9.2
11	10		底層部	0.858	1.20	0.924	5.9	7.1
14	11		} (約7cm)	0.857	1.49	0.92 ₃	5.7	7.2
16	11) ふ 層	0.841	2.06	. 0. 92 ₃	6.8	8.9 [.]
17	12)) 「(約 15 cm)」	0.877	1.92	0.92 ₃	3.1	5.0
30	14	第2船入澗の 平坦氷 (氷厚 約17 cm)	表層 (0~8 cm)	0.835	2.57	0.920	6.6	9.2
29	14		底層 (8~16 cm)	0.837	3.73	0.92 ₀	5.3	9.0
18	12)	0.854	4.9 ₃	0.92 ₃	2.6	7.5
19	13		金層	0.78,	3.3 ₉	0.923	11.1	14.5
20	13		J	0.803	4.61	0.92 ₃	8.4	13.0
24	14	外港の平坦な 定着氷 (氷厚約16 cm) 2月12日採取	0∼ 4 cm	0.74 ₈	>6.22	0.92₀	12.5	18.7
25	14		4∼ 8 cm	0.813	3.16	0.92₀	8.4	11.6
26	14		8~12 cm	0.813	1.9,	0.920	9.6	11.6
27	14		12~16 cm	0.724	>2.26	0.922	19.2	21.5
21	13		}	0.749	2.77	0.923	16.1	18.9
22	13			0.802	4.06	0.923	9.0	13.1
23	• 13		≥ ☆ 層	0.808	11.08	0.923	1.4	12.5
28	14))	0.854	1.52	0.921	5.8	7.3

IV. 考 察

測定された気泡量を v_a ,気孔の体積をv,純氷の体積を v_i ,ブラインの体積を v_b とすれば 試料の体積Vは

$$V = v_i + v_b + (v_a + v)$$
(3)

であり、質量を M とすれば気体部分の質量は無視できるので同様の添字を用いて

$$M = m_i + m_b \tag{4}$$

となり、海氷試料の見かけの密度のはつぎのように表わされる。

$$\rho = \frac{m_i + m_b}{v_i + v_b + (v_a + v)}$$

ここで測定された気泡量 va と密度 P との関係をしめしたのが第2 図である。



第2図には第1表にしめしたような坐氷,船入澗,第2船入澗,外港と4種にわけて点を 記入しておいた。さらに定着氷について不充分ではあるが,気泡量の垂直分布が測定されてい るので第3図にしめしておいた。

まず第2図をみて気付くことは海氷の密度と気泡量とにはつきりした関係がみられないこ とである。気泡量が多いほど密度は小さいという予想に反して、むしろ気泡量は $1\sim5\%$ のも のが多いという結果が示されている。さらに採取場所や坐氷と浮氷との差異もはつきりしな い。ただ船入澗の氷は比較的まとまつた値をしめしている。坐氷のように長時間空中に露出し ブラインが流れ出してしまつたと考えられる氷に密度の小さなもの ($\rho=0.72$) がみられる。 逆 に密度の大きな ($\rho=0.90$) ものは、恐らく日射や気温の影響で氷が (表面近く) 融け、生じた水 海氷中の気泡量測定 Ι



が再び気孔に浸入して凍つたものと推定される。したがつて海氷の密度 θ は外気に通ずる気孔 の体積にかなり支配されていることが推定される。この点については再び考察をすることにす る。したがつて図中に引かれてある Φ = 0.922 と書き入れてある破線の意味もその時明らかに されるであろう。そして定着氷に関する第3 図の説明をする。

紋別港には陸岸近くの船入澗(内港)があり、その外は防波提が長く突き出していて外海と 広く通じている外港となつている、またその東部の陸岸埋立地のさきに第2船入澗が造築中で ある。これら3地点から採取した氷の全層(15~17 cm)の測定(破線)とそれを2分、または 4分して各層(実線)の測定がなされ、それらの結果が第3図に示されている。内港よりも外港 の方がいくらか気泡量が多いように見えるが、一地点から採取した試料(50 cm×100 cm 程度 の大きさ)から60~340gの測定用試料をとり出して今回の測定がなされているので、海氷の 局所的な差がかなり大きいことをしめしていることになる。このことはArnol'd-Alyab'yev⁸ がフィンランド湾の氷について厚さ10 cmの間で8~14 cm³ kgの不均一な分布を見出してい ることからもうなずける。 定着氷の測定で付け加えておくことは測定日と採取日に1~3 日の 間隔があつたことである。

第3図に示された定着氷のうち, 船入澗(内港)では陸岸からの汚水, 船からの投棄物な どで底土はかなり多量の有機物が含まれている。したがつてメタンのような気体が発生して気 泡や気孔を作る可能性が大きい。空気とこのような有機ガスとで気泡の量や形状にどの程度の 差異を与えるかはまだ調べていないが, すくなくとも外港や第2船入澗の氷ではまず空気によ る気泡と考えてもよいと思われる。これらの定着氷に共通した肉眼による構造の観察はつぎの 如くであつた。表面には 2~3 cm の積雪があり,浸潤性の粒状氷がその下に続いている。その 厚さは 2~8 cm, さらに透明な硬い層が 5~8 cm, 底層は海氷特有のモザイク構造が 3~4 cm 発達していた。なかには 6~7 cm の所もあつた。したがつて表層は雪と海水やブラインが凍つ てできた気泡の比較的多い層であり,底層は少なくなつている。第2 船入澗ではこの傾向が見 られず,反対に底層に気泡が多い。しかし測定が1回だけであるから,その全層の値と比較し ても,内港と外港での状態から類推しても,表層に気が多いという一般的な傾向からあまり外 れることはないものと思われる。外港の氷の垂直分布の値で 8~12 cm の層が最小となつてい るが,これは肉眼で観察したときもつとも透明に見えた層に相当していた。測定に際して表面 層は粒状のごく軟かな部分を1 cm ぐらい削り落した(試料を正確な円柱や直方体にするため) ことが多かつた。この削り落した分の厚さいかんによつて表面層の気泡量に差が生じているこ とに注意したい。

さきにも述べたが、坐氷のようなブラインの脱落が終了しきつたような氷では問題がない が、海水に浮んでいる定着氷では外界へ通ずる気孔の多くはブラインや海水でみたされている ものと考えられる。このため試料を採取するときにある程度海水やブラインの脱落することは 避けられない (Kusunoki and Tabata)⁹。 今回のように 50×100 cm くらいの大きさの試料を 鋸できり出している場合も同様の事情にある。定着氷の温度が高く、塩分量が多いのでコアド リルを用いても現場の状態の試料をとることは困難である。このことは第2図の気泡量が少な い (1~5%) にもかかわらず密度が小さくなつていることは、採取してから測定されるまでの 間に脱落したブラインの跡が気孔となつているものと考えると説明がつく。先にもふれたよう に今回の測定では採取後 1~3日 (大吹雪のため氷上の積雪と浸水がはなはだしく試料の採取が できなくなり、3日前のものを用いねばならなかつた) 経過してから測定されている。

海氷中の気泡量、気孔と密度とについて以下で少し考察を試みる。

海氷 1gの比体積を a とすれば、氷の塩分量を S_i 、ブライン自身の塩分量を S_i (温度 t に おける値)、ブラインの密度 ρ_{st} から、海氷 1g 中のブラインの質量は $\frac{S_i}{S_i}$ (g) であり、 残りの $\left(1-\frac{S_i}{S_i}\right)$ (g) は純氷となる。したがつて比体積 a は

$$a = \frac{S_i}{S_t} \frac{1}{\rho_{st}} + \left(1 - \frac{S_i}{S_t}\right) \frac{1}{\rho_{ot}}$$
(6)

ここで ρ_{ot} は温度tにおける純氷の密度。この海氷は純氷とブラインのみで構成されていて気 泡その他を含んでいないものとする。あるいは、逆にふつうの海氷の気相以外の実質部分の比 体積(または真の密度)ということになる。 このような海氷の密度を ρ' とすれば、 ρ' は比体積 aの逆数であるから、(5)式と同じ記号で

$$\rho' = \frac{1}{a} = \frac{m_i + m_b}{v_i + v_b}$$
(7)

となる。測定に用いた試料の塩分量は1~4%(実測したのは坐氷と船入澗の氷につき1箇づつ

の試料で Cl=2.2%, 1.1% の値をえた。このほか海氷の粘弾性に関する測定が田畑と小野^{10,11} によつて行われ同様の試料を用いているのでそれらの塩素量測定結果も用いた。平均して坐氷 の塩素量は 1%, 船入溜 1%, 第2船入潤 1%, 外港 1.3%)となつているので平均 2% を採用 する。 氷の温度は測定前の気温(測定室内の気温の変化はあまり激しくなく, -2℃ 前後が多 い)の平均から -2℃を用い(6), (7)式で気相を含まぬ海氷の密度(ここで真の密度と称する) ℓ'は 0.922 となる。

いま真の密度 P'=0.922 の海氷に気泡量のみが加わつて見かけの密度を小さくするものと すれば、そのときの密度 P は

$$\rho = \rho' \left(1 - v_a \right) = 0.922 \left(1 - v_a \right)$$

で表わされる。第2図にしめした破線に $\ell'=0.922$ とあり,第1表の真の密度 ℓ' とあるのは以上の意味をもつものである。気泡量が0 であれば当然,図中の破線は縦軸と $\rho=\ell'=0.922$ の点で交わる。第2図には坐氷のなかで破線の上に示される点が2 つある。海氷の見かけの密度 ℓ は質量 Mと体積 Vの測定で求められているので、よく知られているように長さの誤差(氷の 試料の表面は小さな凹凸がある,淡水氷と異なり海氷はあらい構造のため平坦面を作ることが むずかしい)に基づく体積の誤差が大きい。 このため密度 ℓ にも 0.1程度の誤差が入るものと思われる。気泡量については気温の測定による誤差がきいている。 ただ第2図の $\ell'=0.922$ の破線は $S_i=2\%$, $t=-2^{\circ}$ C に対応するもので、第1表に示されているように ℓ' は 0.920~0.927の範囲にあることに注意しなければならない。海氷中のブライン量が多く、温度が高いほど ℓ' は大きくなる。今回の測定で温度は -2° C 前後であり、今破線の上方に出ている坐氷では塩 分量が少ないことから測定の誤差(主として密度による)と考えた方がよいように思われる。これらの2点を通る ℓ' は 0.94 くらいになる。

海氷の真の密度(純氷とブラインのみの部分) P'は(6),(7)式で求められる。 さらに(5)式 と(7)式から

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{v_i + v_b}{v_i + v_b + (v_a + v)}$$

すなわち、 *θ*, *v*_aは実測された量であり、 *d* も温度と塩分量で計算されているから、 海氷の実 質部分の体積 (*v*_i+*v*_b) および気孔量 *v* が求められる。このようにして求めた*v*を第1表にしめ しておいた。 気泡量と同様に体積の百分率でしめしてある。 ここで気泡量 *v*_a と気孔量 *v* との 関係を第4図にしめす。

第4図には実測した密度(たとえば $\rho=0.80$)の小数点以下の数字を記入してある。第2図 でしめしたように、気泡量が少なく密度の小さな海氷は気孔が多いことが予想され、このこと は第4図から窺うことができる。第4図には海氷の密度 ρ を0.70から0.90まで変えて実線で しめしておいた。ただし真の密度 ρ' は第2図と同様に0.922ととつた。つまり純氷とブライン のみによる実質部分の密度0.922の氷に気泡量と気孔が加わつて見かけの密度 ρ を小さくして いるわけである。とくにブラインの脱落の多かつた定着氷の試料について考えると、 ρ は現場

宏



における値をしめすものでないことに注意すべきである。実際にはかなり大きいものと当然考 えられる。 第4図の $\rho'=0.922$ として引いた密度 ρ の線は測定値と比較的よく合つていること が認められる。 第2図の破線上の2点は当然 v=0 であり、この2点は密度 ρ の線から外れて いる。しかし $\rho'=0.94$ にとれば、前にのべたように測定値とよく合うことになる。

さいごにブラインの体積(または質量)について考えてみる。(3)式からわかるように,氷 の全体積 V のうち気泡量 v_a ,気孔量 v を求めた。残りのブラインの体積 v_b は(6)式の右辺第 1項,したがつて純氷量 v_i も求められるわけである。今回の測定では各試料について塩素量の 測定を行つていないので気孔量 v はもとより,ブライン量 v_b と純氷量 v_i もかなりの誤差が入 つてくる。したがつて測定試料の各々についてブラインの体積 v_b (または質量 m_b)を求めるこ とは差し控えて,しばしば述べてきた塩分量 2%,温度 -2° C の氷について考えてみる。温度 -2° C に対するブラインの濃度は 37% であるからブライン量の体積百分率は $\frac{2}{37} \times \frac{1}{1.03} = 5.2$ % (ここでブラインの濃度は 1.03 とする)となる。これは $\nu = 0.922$ に対応するものである。 ブライン量は温度が高く、海氷の塩分量が大きいほど多くなる。 $t = -2^{\circ}$ C, $S_i = 4\%$ で約 11% のブラインを含むことになる。今回の測定範囲(温度 $t = -2^{\circ} - 7^{\circ}$ C,氷の塩分量 $S_i = 1 - 4\%$) ではブラインの体積百分率は 1 - 10% である。したがつて純氷の体積 v_i は今回の試料では 70 ~95% の範囲をしめしていたことになる。

V. む す び

オホツク海岸の定着氷と坐氷について気泡量の測定を試み体積百分率で1~10%という値 をえた。測定に用いた装置はほぼ満足すべきものであつたが、海氷の温度、塩分量の測定に難 点があり、海氷の固相、液相、気相の定量的な関係についてくわしく論ずることは今後の問題 といたしたい。海水は決して一様な構造をもつているものではないから, 試料の体積 2000 cm³ くらいのものが入る大きな容量の装置も必要であると思われた。現にソビエトの北極漂流ステ ーションではこの程度のものを用いているようである (ただし A 型)。測定装置としては S 型 のものが油面の差による補正の必要がない点で好都合であろう。しかし, ガラスの氷溜めの磨 り合せ部分が多くなるため油の漏れる恐れがある。A 型, S 型ともにガラス製であるため破損 の恐れがある (今回の測定が終り現地より札幌までの輸送中に1台破損した)。この点でビユレ ット以外の部分は金属製のものが望ましい (すでに Shumskiy¹³⁾の書物に紹介されている)。今 回は実行しなかつたが氷を融かしたあと油溜の底には融解水がたまるから, この水を塩素量測 定用の試水とすればよい。できうればその体積も正確に測定できれば都合がよい。この点で Bader¹⁵⁾が氷河氷中の気泡量測定に試みた pycnometric な方法との組合せも考慮されるところ である。海氷の構造,変態といつた問題には個々の気泡の体積, 圧力, 成分などの測定が必要 であり, Scholander¹⁴⁾等のマイクロメーター付の注射器型ビユレットで測る方法は大いに興味 が持たれる。

今回の測定結果は第1表に示されたごとくであるが, 気泡量 va は標準状態における値で あり,気孔量 v や真の比重 ℓ は測定時の温度の値であるため,これらの結果は同一温度での値 となつていない。幸い温度は -2℃ 附近で測定されているのでこれによる誤差は少ないと考え られるが,低温度や高塩分量の氷についても当然拡張して考えるべきであるから,将来は氷の 密度の測定も空気中のみならず,油などのなかで行つて各種の密度を求め,さらに海氷構成物 質の固相,液相,気相の定量的測定を行いたいと考えている。

終りに現地観測において諸設備をお借りした紋別漁業協同組合をはじめ、市内の各官公署 に厚く感謝の意を表する。

本研究の費用の一部は文部省特殊研究費(海氷の研究)および科学研究費(沿岸海氷の物理 的性質に関する研究)によつた。

文 献

- Malmgren, Finn 1927 On the Properties of Sea-Ice. The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-1925, Scientific Results, 1, No. 5.
- 2) Zubov, N. N. 1945 L'dy Arktiki (北氷洋の氷). Izdatel'stvo Glavsevmorputi, Moskva. (とくに 第5章, § 66. 密度と間隙率との関係).
- 3) Barnes, H. T. 1928 Ice Engineering. Renouf Pub., Montreal.
- 4) Scholander, P. F., J. W. Kanwisher and D. C. Nutt 1956 Gases in icebergs. Science. 123, 104.
- 5) 福富孝治・楠 宏・田畑忠司 1954 海氷の研究 (第 21 報). 北海道オホツク海沿岸の海氷調査. 低温 科学,物理篇, 13,59.
- 6) Arnol'd-Alyab'yev, V. I. 1925 O nekotorykh osobennoctyakh ledyanogo pokroba Finskogo zaliva po dannym nablyudeniy s ledokolov. (砕氷船の観測によるフィンランド湾の氷の 2, 3 の特異性について). Zapiski po gidrograf., 56 (原著はまだ見ていないが, K. K. Deryugin and

楠

D. B. Karelin の "Ledovyye nablyudeniya na moryakh (海氷観測法)". Gidrometeoizdat, Leningrad, 1954. に測定装置が紹介されている).

痃

7) Shuleykin, V. V. 1953 Fizika morya (海の物理学). Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, Moskva.

- 8) 2)に同じ. 第5章, §66. 129 頁参照.
- 9) Kusunoki, K. and T. Tabata 1956 Some remarks on the method of sampling of sea ice.
 Publ. 39 de l'Association Internationale d'Hydrologie (Assemblée générale de Rome, 1954, Tome IV), 166.
- 10) 田畑忠司・小野延雄 1958 海氷の力学的性質の研究 (I). 海氷の静的粘弾性について. 低温科学, 物理 篇, 17, 135.
- 11) 田畑忠司 1958 同上 (II). 振動法による弾性率の測定. 同上, 147.
- 12) Shumskiy, P. A. 1955 Osnovy strukturnogo ledovedeniya (氷の構造学原論). Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, Moskva.
- 13) Bader, H. 1950 The significance of air bubbles in glacier ice. J. Glaciol., 1, 443.
- 14) Scholander, P. F., L. van Dam, C. L. Claff and J. W. Kanwisher 1955 Micro gasometric determination of dissolved oxygen and nitrogen. Biol. Bull. 109, 328.

Résumé

Sea ice is composed of pure ice, condensed salt solution (brine), gases and other minor inclusions. Gas bubbles have an important role in the physical properties and metamorphoses of sea ice. A tentative measurement of gas bubbles content in sea ice of the Okhotsk Sea coast of Hokkaido was carried out in February 1958. Apparatus similar to that employed by V. I. Arnol'd-Alyab'yev and V. V. Shuleykin was applied to the present measurement. Between 60 g and 340 g of ice samples were taken from stranded ice and from fast ice of the thickness of about 15 cm. Those samples were melted in kerosene contained in the apparatus and escaped gas bubbles were totalized in burette. No measurement was made on the composition of the gases. It was found that the gas content expressed in porosity of sea ice having an average chrolinity of 1% varied within the range of 1–10% under the standard conditions. A brief discussion on the technique of measurement and obtained outcome, especially in relation to the density of ice, is presented in this paper.