



| | |
|------------------|---|
| Title | 海水中の気泡量測定 I |
| Author(s) | 楠, 宏; KUSUNOKI, Kou |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 17, 123-134 |
| Issue Date | 1958-12-10 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/17949 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 17_p123-134.pdf |



海水中の気泡量測定 I*

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

海水は通常固体である純水の結晶，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，バクテリアのような微生物，さらに大きな海藻が含まれていることもある。海水中もつとも主要な物質は純水であることはいまでもない。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水の構造，変態，物理的・化学的性質に密接な関係をもっている。海水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）をみだしている。もちろん純水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。従来海水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⁾ の測定した海水の物理常数にしても，海水はブラインを含むのみとして取扱われている。しかし海水の熱的・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。

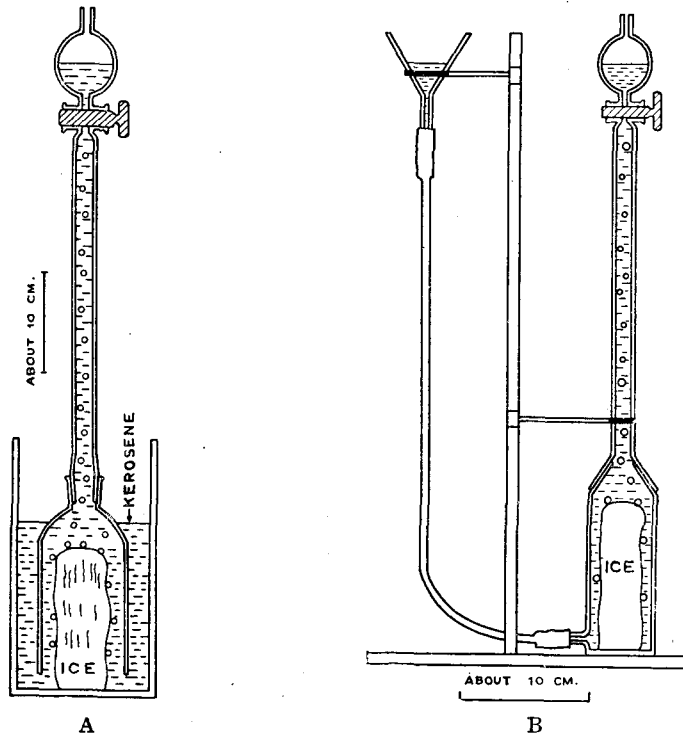
海水中の気泡や気孔の研究は Zubov²⁾ によつて紹介されている。すなわちその形状，含有量，成分，密度やブライン量との関係などが取扱われてきた。また北大西洋の氷山についての研究もある。(Barnes³⁾, Scholander⁴⁾ *et al.*)。氷河や大陸氷に含まれる気泡は，氷の構造，変態，流動，氷の年代決定などの諸問題と関連してさいきん注目されている。海水中の気泡の研究もこれらと関係するところが多い。一方わが国の北方海域の海水については，かつて福富・楠・田畑⁵⁾ がかんたんな観察を行つたが，筆者の知る限りでは定量的な測定がなされていないようである。海水の構造，変態，物理的性質などとの関連を今後の課題として，まず水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 (空隙率，多孔度) や void ratio (空隙比) などの測定に相当するもので，海水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'yev⁶⁾ 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

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った。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わったわけであるが、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

海水中の気相部分は外界に連絡している気孔と水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。北海道オホー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。したがっ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°C 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。したがって表層の浸潤性氷 (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水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ットなどに捉えて体積を測定すればよい。前述の V. I. Arnol'd-



第 1 図 海水中の気泡量測定装置

- A A 型 (アルノリドーアリュビエフによる)
 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ュレット容量は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のビュレットからできている。

実測にあ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。テレピン油や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ュレットに貯え、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 $t_0^{\circ}\text{C}$ 、1気圧における気泡の全体積 v_0 はつぎの式で与えられる。

$$v_0 = \frac{B - \frac{\rho_k}{\rho} h}{760 - \frac{\rho_{k0}}{\rho_0} h_0} \frac{273.2 + t_0}{273.2 + t} v_a \quad (1)$$

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_0 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。

$$v_0 = \frac{B}{760} \frac{273.2 + t_0}{273.2 + t} v_a \quad (2)$$

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つた厚さ1.3 mの坐氷、そのそばの平坦な厚さ約15 cm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)、外港の防波堤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15 cm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 60~340 g 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 $-2^{\circ}\sim-7^{\circ}\text{C}$ 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ュレットの部分）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ぬ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 $0.789(15^{\circ}\text{C})$ であつた。かくして 1 回の測定には 3~4 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、 v_a 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

$$p = 1 - \frac{\rho}{\rho_0}$$

ここで ρ_0 は実質部分の密度（氷であれば純氷部分）、 ρ は全体の見かけの密度である。

第 1 表にしめた気泡量はこのような意味で体積の百分率でしめておいた。実際の気泡量は 2~20 cc の範囲にあつた（試料の質量は 60~340 g）。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 表にしめてある。第 1 表の説明を行いつつ以下に考察をすすめる。

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 | 水の種類 | 採取した深さ | 見かけの 密度 ρ (g/cm ³) | 気泡量 v_a (%) | 真の密度 ρ' (g/cm ³) | 気孔量 v (%) | 全空隙量 (v_a+v) |
|------|---------------|---|-------------------|---|-------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------|
| 6 | 1958年2月 8日 | 坐氷 (北浜町) 氷厚 1.3 2月6日採取 (以下同じ) | 表 層 | 0.87 ₄ | 7.4 ₇ | 0.92 ₂ | 0 | 7.4 ₇ |
| 9 | 10 | | " | 0.80 ₂ | 6.9 ₈ | 0.92 ₁ | 5.9 | 12.9 |
| 4 | 7 | | " | 0.78 ₀ | 2.8 ₀ | 0.92 ₁ | 12.5 | 15.3 |
| 7 | 9 | | (下 層 ?) | 0.89 ₂ | 1.6 ₄ | 0.92 ₇ | 2.2 | 3.8 |
| 5 | 8 | 坐氷 (防波堤 上) (氷厚 1.5 m) | 表面より 60 cm | 0.89 ₇ | 3.6 ₅ | 0.92 ₁ | 0 | 3.6 ₅ |
| 10 | 10 | | " | 0.84 ₆ | 3.9 ₅ | 0.92 ₁ | 4.1 | 8.1 |
| 8 | 10 | 平坦坐氷, 氷厚 15 cm (北浜町) | 底 層 4 cm | 0.71 ₇ | 2.2 ₇ | 0.92 ₄ | 20.1 | 22.4 |
| 12 | 10 | 船入瀬の平坦 な定着氷 (氷厚約 15 cm) | 表 層 部 (6~7 cm) | 0.86 ₆ | 3.1 ₁ | 0.92 ₄ | 3.2 | 6.3 |
| 13 | 11 | | | 0.87 ₁ | 1.7 ₇ | 0.92 ₃ | 3.8 | 5.6 |
| 15 | 11 | | 底 層 部 (約 7 cm) | 0.83 ₈ | 2.1 ₇ | 0.92 ₃ | 7.0 | 9.2 |
| 11 | 10 | | | 0.85 ₈ | 1.2 ₀ | 0.92 ₄ | 5.9 | 7.1 |
| 14 | 11 | | | 0.85 ₇ | 1.4 ₉ | 0.92 ₃ | 5.7 | 7.2 |
| 16 | 11 | 全 層 (約 15 cm) | 0.84 ₁ | 2.0 ₆ | 0.92 ₃ | 6.8 | 8.9 | |
| 17 | 12 | | 0.87 ₇ | 1.9 ₂ | 0.92 ₃ | 3.1 | 5.0 | |
| 30 | 14 | 第 2 船入瀬の 平坦氷 (氷厚 約 17 cm) | 表層 (0~8 cm) | 0.83 ₅ | 2.5 ₇ | 0.92 ₀ | 6.6 | 9.2 |
| 29 | 14 | | 底層 (8~16 cm) | 0.83 ₇ | 3.7 ₃ | 0.92 ₀ | 5.3 | 9.0 |
| 18 | 12 | | 全 層 | 0.85 ₄ | 4.9 ₃ | 0.92 ₃ | 2.6 | 7.5 |
| 19 | 13 | | | 0.78 ₉ | 3.3 ₉ | 0.92 ₃ | 11.1 | 14.5 |
| 20 | 13 | | | 0.80 ₃ | 4.6 ₁ | 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 | >6.2 ₂ | 0.92 ₀ | 12.5 | 18.7 |
| 25 | 14 | | 4~ 8 cm | 0.81 ₃ | 3.1 ₆ | 0.92 ₀ | 8.4 | 11.6 |
| 26 | 14 | | 8~12 cm | 0.81 ₃ | 1.9 ₉ | 0.92 ₀ | 9.6 | 11.6 |
| 27 | 14 | | 12~16 cm | 0.72 ₄ | >2.2 ₆ | 0.92 ₂ | 19.2 | 21.5 |
| 21 | 13 | | 全 層 | 0.74 ₉ | 2.7 ₇ | 0.92 ₃ | 16.1 | 18.9 |
| 22 | 13 | | | 0.80 ₂ | 4.0 ₆ | 0.92 ₃ | 9.0 | 13.1 |
| 23 | 13 | | | 0.80 ₈ | 11.0 ₈ | 0.92 ₃ | 1.4 | 12.5 |
| 28 | 14 | | | 0.85 ₄ | 1.5 ₂ | 0.92 ₁ | 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

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

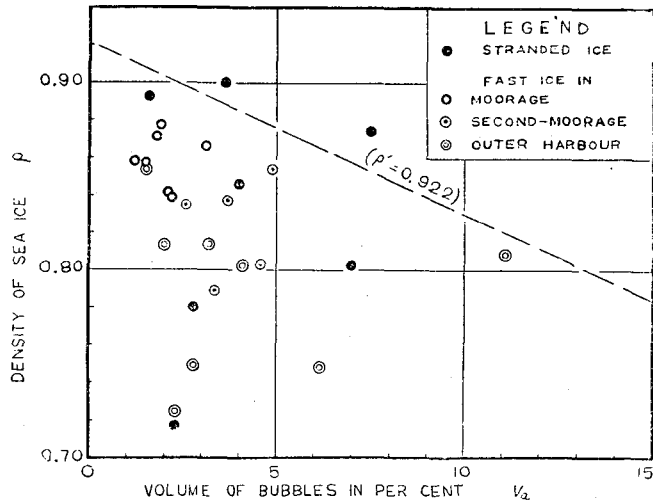
であり、質量を M とすれば気体部分の質量は無視できるので同様の添字を用いて

$$M = m_i + m_b \quad (4)$$

となり、海水試料の見かけの密度 ρ はつぎのように表わされる。

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

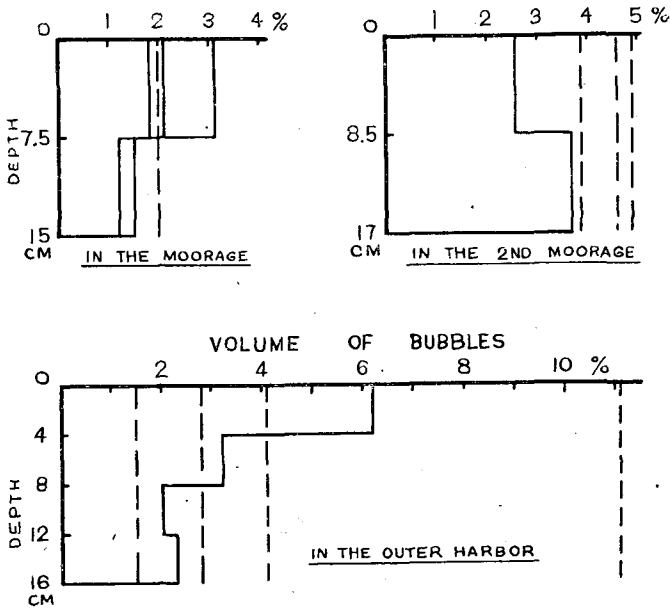
ここで測定された気泡量 v_a と密度 ρ との関係をしめしたのが第2図である。



第2図 海水中の気泡量 (v_a %) と密度 (ρ g/cm³) との関係

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十分ではあるが、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1~5%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っ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っ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



第3図 定着氷中の気泡量の垂直分布

が再び気孔に浸入して凍つたものと推定される。したがって海水の密度 ρ 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。したがって図中に引かれてある $\rho = 0.922$ 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、その外は防波堤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60~340 g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、海水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水について厚さ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。したがっ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船入澗の水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, 底層は海水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くらい削り落した(試料を正確な円柱や直方体にするため)が多かつた。この削り落した分の厚さいか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まされていものと考えられる。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たと説明がつく。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。

海水中の気泡量、気孔と密度とについて以下で少し考察を試みる。

海水1 g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_l (温度 t における値), ブラインの密度 ρ_{sl} から、海水1 g中のブラインの質量は $\frac{S_i}{S_l}$ (g)であり、残りの $(1 - \frac{S_i}{S_l})$ (g)は純氷となる。したがつて比体積 a は

$$a = \frac{S_i}{S_l} \frac{1}{\rho_{sl}} + \left(1 - \frac{S_i}{S_l}\right) \frac{1}{\rho_{ol}} \quad (6)$$

ここで ρ_{ol} は温度 t における純氷の密度。この海水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、逆にふつうの海水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。このような海水の密度を 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

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

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水につき1箇づつ

の試料で $Cl=2.2\%$, 1.1% の値をえた。このほか海水の粘弾性に関する測定が田畑¹⁰⁾、小野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% , 船入潤 1% , 第2船入潤 1% , 外港 1.3% となつていたので平均 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, $-2^{\circ}C$ 前後が多い) の平均から $-2^{\circ}C$ を用い (6), (7) 式で気相を含まぬ海水の密度 (ここで真の密度と称する) ρ' は 0.922 となる。

いま真の密度 $\rho'=0.922$ の海水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 ρ は

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

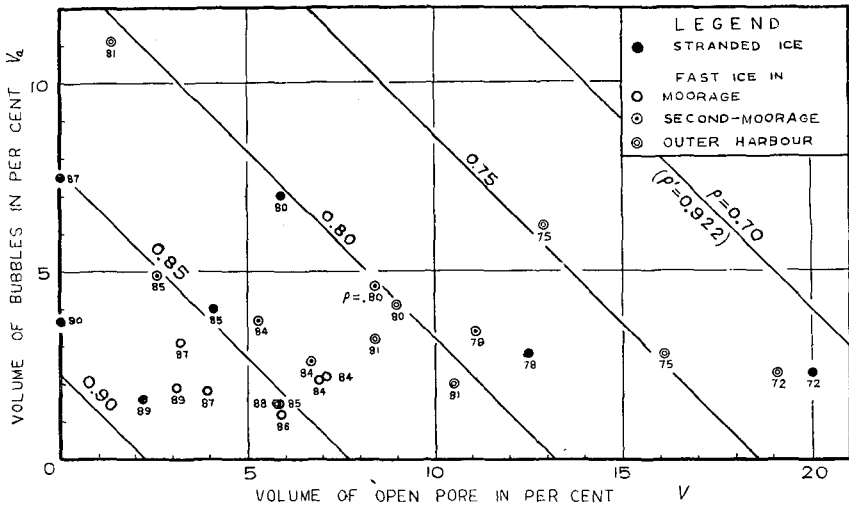
で表わされる。第2図にしめした破線に $\rho'=0.922$ とあり, 第1表の真の密度 ρ' とあるのは以上の意味をもつものである。気泡量が0であれば当然, 図中の破線は縦軸と $\rho=\rho'=0.922$ の点で交わる。第2図には坐氷のなかで破線の上に示される点が2つある。海水の見かけの密度 ρ は質量 M と体積 V の測定で求められているので, よく知られているように長さの誤差 (氷の試料の表面は小さな凹凸がある, 淡水氷と異なり海水はあらい構造のため平坦面を作ることがむずかしい) に基づく体積の誤差が大きい。このため密度 ρ にも 0.1 程度の誤差が入るものと思われる。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 $\rho'=0.922$ 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 ρ' は $0.920 \sim 0.927$ の範囲にあることに注意しなければならぬ。海水中のブライン量が多く, 温度が高いほど ρ' は大きくなる。今回の測定で温度は $-2^{\circ}C$ 前後であり, 今破線の上に出てく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 ρ' は 0.94 くらいになる。

海水の真の密度 (純水とブラインのみの部分) ρ' 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, ρ , v_a は実測された量であり, ρ' も温度と塩分量で計算されているから, 海水の実質部分の体積 ($v_i + v_b$) 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 との関係は第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水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図には海水の密度 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。つまり純水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



第4図 海水中の気泡量と気孔量との関係

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っ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_b 、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、したがって純水量 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っていないので気孔量 v はもとより、ブライン量 v_b と純水量 v_i もかなりの誤差が入ってくる。したがっ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 $\frac{2}{37} \times \frac{1}{1.03} = 5.2\%$ (ここでブラインの密度は1.03とする)となる。これは $\rho=0.922$ 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。 $t=-2^{\circ}\text{C}$ 、 $S_i=4\%$ 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 $t=-2^{\circ}\sim-7^{\circ}\text{C}$ 、氷の塩分量 $S_i=1\sim4\%$)ではブラインの体積百分率は1~10%である。したがって純氷の体積 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。海氷は決して一様な構造をもっているものではないから、試料の体積 2000 cm^3 くらいのも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)。この点でビュレット以外の部分は金属製のものが望ましい(すでに Shumskiy¹²⁾ 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 Bader¹³⁾ 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、変態といっ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ュ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 v_a は標準状態における値であり、気孔量 v や真の比重 ρ 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っていない。幸い温度は -2°C 付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(沿岸海水の物理的性質に関する研究)によつた。

文 献

- 1) 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 osobennostyakh 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

- D. B. Karelin の “Ledovyye nablyudeniya na moryakh (海水観測法)”. *Gidrometeoizdat, Leningrad, 1954.* に測定装置が紹介されている。
- 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 chlorinity 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.