



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ボスニア湾海水調査
Author(s)	田畑, 忠司; TABATA, Tadashi
Citation	低温科学. 物理篇, 33, 191-198
Issue Date	1976-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18285
Type	departmental bulletin paper
File Information	33_p191-198.pdf



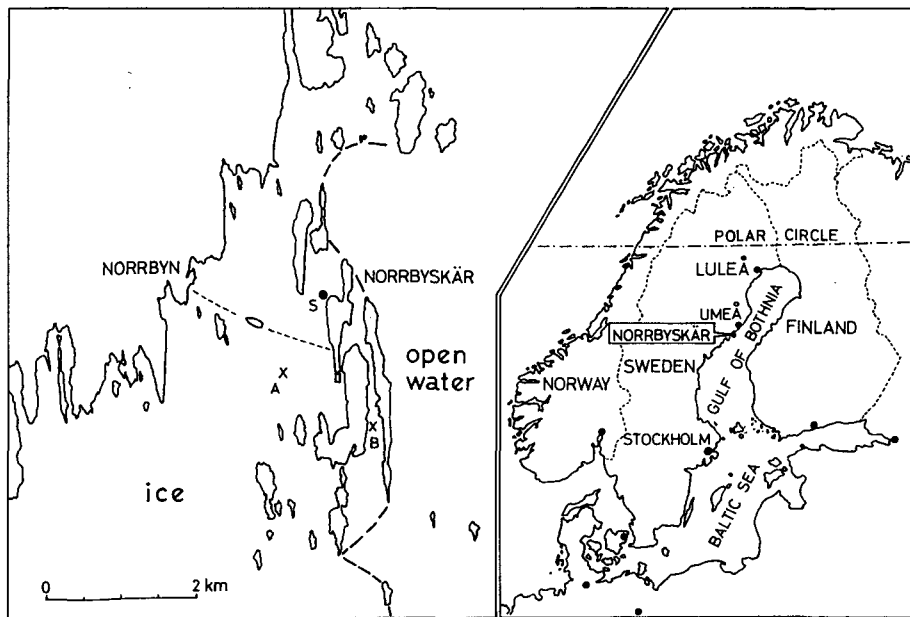
ボスニア湾海水調査^{*,**}

田畑忠司
(低温科学研究所)
(昭和50年10月受理)

I. まえがき

バルチック海の一部であるスウェーデン国とフィンランド国に囲まれたボスニア湾と、同じくバルチック海の一部を成すフィンランド湾は冬になると固く凍結する。ヨーロッパでの結氷する海はこれらの湾のほかには、バルチック海とスカゲラック海峡(スウェーデンの西側)の一部である。バルチック海はスカゲラック海峡をとおして北海と連なっているが、その連絡部はきわめてせまくしかも浅い。このためにバルチック海と北海との海水の交流はあまり良くない。なかでもボスニア湾は海峡からもっとも遠く、湾には多数の河川が流入している。そのため、ボスニア湾の海水の塩分量は僅か3~7%¹⁾で通常の海水の数分の一に過ぎず、世界でもっとも塩分量の少ない海のひとつにあたっている。

海の氷の諸性質はその氷が出来た海水の塩分量に依存する割合が多いことは良く知られて



第1図 ボスニア湾海水調査地点

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1719号

** 北海道大学低温科学研究所附属 流水研究施設 研究報告 第44号

いる。それゆえに、この塩分量が異常に少ないボスニア湾で出来た海水の物理的性質は通常の海水から出来た海水とは可成りことなることが期待される。

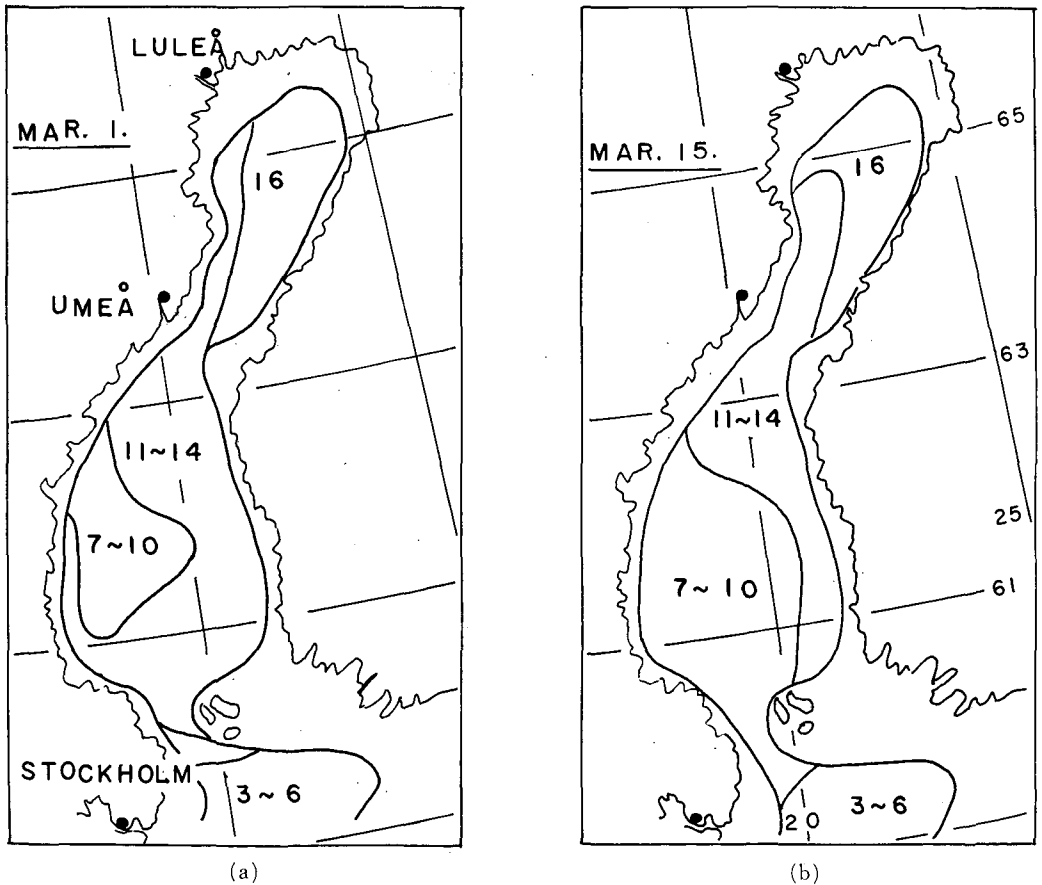
筆者および石田完、鈴木義男、小野延雄、青田昌秋の5人は文部省科学研究費補助金(海外学術調査)を得て、昭和50年3月にボスニア湾の海水を調査する機会を得た。

調査にあたっては、適切な調査地の選定、宿泊のあっせん、調査器材の輸送、観測地点での設営、その他にあたってスウェーデン国立の気象海洋研究所、なかでもトンプソン博士と海水部門の諸氏、およびウメア大学ノルビッシャー観測所のオーケ氏等の献身的御援助を得た。これらの御援助が無かったならば調査の円滑な実施はおそらく難かしかつたであろう。心から感謝の意を表します。

この報告では調査の概要を記すにとどめる。専門的報告としてはそれぞれの題目ごとの研究報告がある。

II. ボスニア湾の海水状況

ボスニア湾の最北部では通常は11月中旬に結氷がはじまる。ルレオでの1931年から1960



第2図 ボスニア湾の平均結氷状況 (1951/1952~1966/1967)

(a) 3月1日, (b) 3月15日

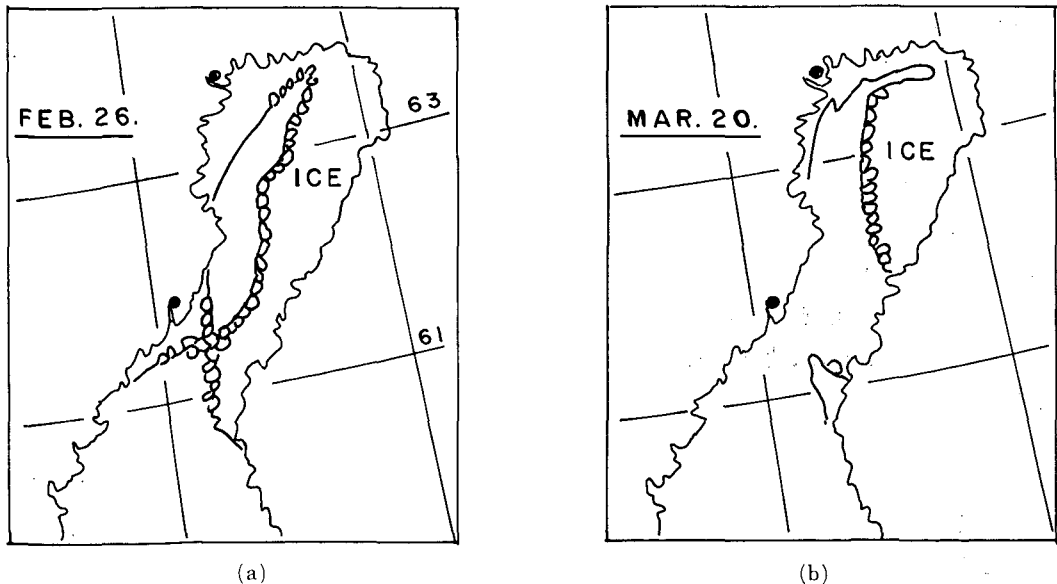
年のあいだの平均結氷初日は11月9日である。その後結氷域は徐々に南に拡大し、2月はじめには北緯60度以北のボスニア湾のほぼ全域およびバルチック海の海岸部が結氷する。3月上旬が氷の最盛期で、このときにはスウェーデン国の東海岸がともに氷におおわれる。沿岸結氷の厚さは、北緯64度30分のBjuröknbb 灯台附近では4月はじめに最大で約80 cmに達する。ちなみに同地での最大積雪深は3月下旬の約45 cmである。

融氷は意外におそく、4月中旬でも湾全体は氷がみられることがある。前記レオでの30年間の平均結氷終日は、5月18日で湾北部でも6月はじめまでにはほぼ完全に融けてしまう。

第2図は、このたびの調査期間にあたる3月1日および3月15日の1951/1952年冬から1966/1967年冬までの16年間の平均結氷状況である²⁾。図中の数字は16年間のうちで氷が存在していた年数である。図から明らかなように、3月1日と15日では氷の状況に目立った変化はなく、この期間に北緯60度附近が結氷している確率はほぼ50%であり、北緯63度以北では殆ど海冬氷があるということが出来る。これらの氷は東よりの風に吹きよせられて湾の西部に大きな氷丘を作ったり、また時には西風によって東のフィンランド側に押しつけられることが多い。

1975年冬の結氷状況

1975年冬の結氷は異常に少なかった。第3図は、筆者等がスウェーデンに到着した2月26日および調査終了近くの3月20日のボスニア湾の海水分布図である。第2図と比較すると、氷が如何に少なかったかを知ることが出来る。数十年に一度ぐらいの貧弱な結氷状態とのことであった。このように氷量が異常に少なかったので調査直前に予定した調査地を変更する必要が生じ、一時は調査の遂行が危ぶまれたほどであった。



第3図 1975年3月のボスニア湾の海水状況

III. 調査地海水状況・温度

主として調査を行なったのは第1図に示したノルビッシャー島周辺である。この島は、北緯63度33分、西経19度53分に位置し、ウメオ市の南南西約30kmのノルビン町の沖合約2kmにあたる。解氷時にはノルビン町とのあいだに渡し船が往来しているが、結氷期にはスノー・モービルまたは北欧の独特の乗り物である氷上橇、スカールが交通機関である。なお島の住民は8世帯、約30人である。

すでに述べたように、1975年冬には海水はきわめて少なかったが、第1図に見るように、ノルビン町とノルビッシャー島のあいだには多くの島で保護された形で沿岸結氷が残っていた。この氷はわれわれの調査に必要で且つ十分な大きさであった。

調査・測定は主として第1図(b)のA、B両地点附近で行なった。砕氷船による氷塊曳航法による流水の水の抵抗力の測定は同図S地点およびウメア市部外のホルムサンド港沖合で行なった。

調査地点の結氷状況

A点の氷の厚さは約33cm、B点では約51cmであった。この厚さのちがいは、B点がA点よりも厚く囲まれているので結氷初期に風波によって破壊されることが少なかったためであろう。

A、B両地点の海水の塩分量はそれぞれ4.2‰と4.0‰で、海水のそれは0.6‰と0.7‰であった³⁾。海水の塩分量は期待していた値よりもいくらか小さかった。氷の塩分量は少ないが、見たところでは、ブライン細胞はほぼ一様に水中に分布していた。

第4図はA点での氷の垂直断面の偏光写真である。この氷の厚さは約35cmで、表面からほぼ3cmは明らかに氷上の積雪に海水が滲透して凍結したいわゆる“雪氷”である。更にその下7~8cmぐらゐは、いわゆる粒状氷で結氷初期の擾乱を受けた部分である。それ以深の部分は底層まで海水に特有なモザイク状結晶構造を示していた。

のちに述べるように調査期間中の気温は氷の結氷点以上のことが多かった。そのために氷の温度もほぼ結氷温度で、融解の寸前の状態であった。また第1図に見るように、ノルビッシャー島の東側は開水面でありここから暖水が氷の下に流入し、またうねりも侵入



第4図 調査地点(A)の海水の垂直断面

した。このために A 点で測定を開始後氷板は縁のほうから次第に破壊されて来て、日ましに A 点も不安定になった。

3月12日にいたって A 点附近が危険になり氷上作業に不適になった。同日、観測資材を B 点の氷上に移し、そこで観測を継続した。

B 点は第1図でみるように、狭い内湾に位置しており、また暖水の流入もなく氷は A 点よりは安定であった。B 点の水厚は、すでにのべたように約 51 cm でその構造は文献³⁾で見ると、第4図に示した A 点の氷とほぼ同じであった。

尚、A 点の水は 13 日にはほぼ自然破壊したので、更に砕氷船で水路を開き、翌 14 日には渡し船がノルビンとノルビッシャー島のあいだを運航するようになった。

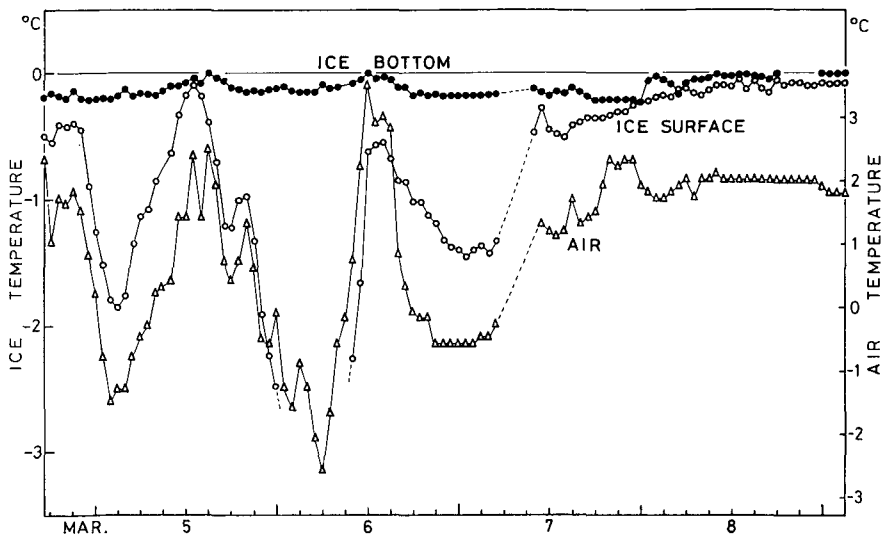
調査期間中の気温・氷温

調査期間中、気温は異常に高かった。3月中の月平均気温は、理科年表によると、ボスニア湾最北部のハバランダで -7.4°C 、調査地点の対岸のフィンランド国のバーサで -4.7°C であり、3月上、中旬には最低気温 $-10\sim-30^{\circ}\text{C}$ が期待されていたが、実際には最低気温が負の値になったのは数日しかなかった。

第5図は調査期間初期の調査地点の気温および氷の温度である。気温は 1.5 m の高さの竹竿にサーミスター温度計をとりつけて記録させた。氷の温度は表面、5, 10, 15, 20 および 30 cm の深さに熱電対を埋設し自記記録させたうちから、表面および 30 cm の深さの値を示した。

図から明らかなように、負の気温があらわれたのはわずかに 3月5, 6, 7 の3日間にすぎなかった。その後は調査終了日まで最低気温でさえも $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ で、日中の気温は $+6^{\circ}\text{C}$ にも達した。3月はじめのこのような高気温は数十年来の出来事とのことであった。高い気温のために、氷の温度分布にはっきりした傾向がみられたのは 3月7日までであり、その後は全層 0°C に近かった。

気温がこのように高かったので、氷の表面の融解と氷上の積雪(厚さ数 cm 以下)の融解水



第5図 調査期間の気温および氷の温度

のために水がたまり、きわめて滑りやすい状態になったことが数回あった。氷が全層ほぼ結氷温度であったにも拘わらず、氷の下面には蜂の巣状の融解孔その他の顕著な融解模様はあらわれなかった。昇華蒸発および輻射による冷却と融解が辛うじて均衡を保っていたものと考えられる。

IV. 調査内容

観測にあたっては電源として氷上の天幕内に 12 kVA の発電機を設置した。その近くのもう一張の天幕を観測基地とし、その中に各種増幅器・記録器等を保温して設置した。この天幕の周囲を観測露場として各種の計測器を配置した。

第 1 図に示す A, B 点はこのような観測基地である。なおのちに設置した B 点では陸上から商業電源を引いて利用した。調査・測定した項目は次のとおりである。

1) 気温・水温・風向・風速

すでにのべた方法により気温と水温の連続観測を行なった。同時に最高最低温度計によって日最高・最低気温のほかに随時気温もよみとった。氷の温度は全層にわたってほぼ 0°C に近かったので、B 点に移動してからは気温・水温の連続自記観測はとりやめ、必要なときに水銀温度計で測定した。氷上 1.5 m の高さに風向・風速計を設置し必要なときにそれらの値を読みとった。特に氷板の上下振動の測定するときには、上下振動と共に風速の変動も連続記録させた。

2) 氷の結晶構造・塩分

切り出した氷塊から試料を切り取って薄片をつくり、氷の結晶構造を観察した。またコアドリルで採取した円柱試料を切断して融かし、サリノメーターによってその融解水によって氷の塩分量を求めた。

3) 片持梁法による曲げ強度

海氷を“コ”の字形に切りとって水に浮かんだ片持梁をつくり、その曲げ強度を測定した³⁾。梁の幅は約 30 cm、長さは 1.8~3.0 m で、厚さすなわち氷の厚さは A 点では約 34 cm、B 点では約 51 cm であった。測定にあたっては梁の先端に加えた力およびその偏位を記録させた。A 点では 17 本、B 点では 13 本の梁について測定を行なった。また 6 本の梁については測定の終了後に氷上に持ち上げ、両端を支持して中央に荷重する方法でその静曲げの模様を連続記録し、静的弾性率、粘性係数を求めた。

4) 弾性波の伝播

氷の弾性率を求めるために弾性波の氷中の伝播の測定を行なった。6 個のピックアップをほぼ 5 m 前後の間隔で一直線に氷の表面に固定した。弾性波は氷の表面を重錘で衝撃することによって発生せしめた。この結果生じた弾性波、主として表面波の最大約 60 m の距離の伝播状況を記録せしめた。測定は A, B 両地点で数回ずつ行なった。

5) 氷板の上下振動

氷板は外海の開水面から侵入するうねり、あるいは風の応力の地域的不均一のために上下振動をしているのが常である。この振幅と周期は与えられた外力のほかに氷の力学的性質によってきまる。振幅がある程度以上大きくなると繰返し変形の結果振動の腹の部分に割目が入

る。このような氷板の上下振動を海底に下した重錘を不動点として測定した。測定にあたっては氷の上下動と風速の2要素あるいは20 mほど離れた2点の上下動を同一記録紙上に20~30分にわたって連続記録させた。

6) 流水に対する水の抵抗力

この力を測定するために、氷板から適当な大きさの氷塊を砕氷船によって割り取り、開水面まで曳航した。そこで種々の速さで氷板を曳航しその際の抵抗力を曳航索にとりつけた電気式荷重計で測定・記録した。同時にそのときの船速すなわち氷の速さも記録した。測定はウメオ市ホルムサンド港外および第1図のS点附近で数個の氷塊について行なった。

7) 巨大単結晶氷の観察

上記のS点での流水曳航実験の際に、その附近一面にあった薄い氷が実は巨大な単結晶氷であることがわかったので採取して詳細に観察した⁴⁾。その結果、これらの氷はいままでに報告されたすべての例よりも大きな単結晶氷であることがわかった。

当初の計画では、水中に電気式荷重計および歪計を埋設して、温度変化および風などによる氷板の膨脹・収縮などの変形を観測する予定であった。思わざる高温のために計測器を水中に埋設して凍りつかせることを諦めざるを得なかった。しかし全層ほぼ結氷温度に近い氷を調査した例はいままでに報告されていない。塩分が極端に少ないが海水であるという珍しい氷であることと相俟って、予期以上のきわめて貴重な成果をあげることが出来たといえる。

この調査は昭和49年度文部省科学研究費・海外学術調査(課題名: 北極圏海水調査—北ヨーロッパ海水調査)によって行なわれたものである。記して厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) Sverdrup, H. U., Johnson, M. W. and R. H. Fleming 1946 The Oceans. Prentice Hall, New York, pp. 1087, p. 657-658.
- 2) Thorslund, B. 1967 Havsisens utbredning i Bottniska viken, Östersjön, Kattegatt och skagerack under isvintrarna 1951/1952-1966/1967. In Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Notiser och preliminära rapporter, Serio. Meteorologi, Stockholm, Nr 15, pp. 17.
- 3) 田畑忠司・鈴木義男・青田昌秋 1975 ボスニア湾海水調査. II. 曲げ強度の測定, 低温科学, 物理篇, **33**, 199-206.
- 4) 小野延雄・田畑忠司 1975 ボスニア湾海水調査. III. 大結晶氷の観察, 低温科学, 物理篇, **33**, 207-213.

Summary

Study was carried out in March 1975 on sea ice off Norbyskar Island (63°33'N, 19° 53'E), Sweden, in Gulf of Bothnia, where salinity of sea water is extremely low (4 to 5‰). The main purpose of the study was to compare mechanical and thermal properties of low saline sea ice with those of ordinary sea ice. Measurements and observations were made on following items :

- (1) Air- and ice temperatures and wind speed and direction
- (2) Crystal structure and salinity of sea ice
- (3) Flexural strength of sea ice by cantilever beam method
- (4) Propagation of elastic waves in sea ice
- (5) Vertical oscillation of sea ice
- (6) Water drag of ice floe
- (7) Large single crystal sea ice formed in leads.

Detailed reports on them will be published in separate papers.

The kind supports of Swedish Meteorological and Hydrological Institute to this study are heartily appreciated.