



Title	ボスニア湾海氷調査 : 屈曲振動の測定
Author(s)	石田, 完
Citation	低温科学. 物理篇, 35, 275-279
Issue Date	1978-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18343">http://hdl.handle.net/2115/18343</a>
Type	bulletin (article)
File Information	35_p275-279.pdf



[Instructions for use](#)

## ボスニア湾海水調査 V<sup>\*,\*\*</sup>

### — 屈曲振動の測定 —

石 田 完

(低温科学研究所)

(昭和52年10月受理)

### I. ま え が き

1975年2~3月のボスニア湾海水調査に於いて、海水の種々の物理的性質の測定が行なわれたが、筆者は自然状態に於ける海水の弾性率の測定を担当した。測定を行なった場所と海水状況については田畑<sup>1)</sup>が詳しく報告している。

海水の弾性率の測定には、切りだした試料について行なう方法と、自然状態のまま、氷板の一部にコの字形の切れ目を入れて作った氷の片持梁について行なう方法とがあるが、筆者は自然状態の氷板の一点に衝撃力を加え、発生する氷板の振動波形を記録、解析することによって求めた。

切りだした試料による方法では海氷中のブラインの脱落に注意すれば、種々の温度、振動数条件で試料の大きさにより、局所的な値を得るのに適している。自然状態の片持梁による方法では、氷板全層の自然状態に於ける値を得るが、梁の大きさの制限から数メートルの範囲の平均的な値である。筆者の方法では弾性波の伝播波形をとらえる距離が数十メートルに及んでいるので、その範囲の現場に於ける平均的な値を求めたことになる。

### II. 測定方法

氷板に衝撃力を与えるには、約13.5 kgの鉄製重錘を約60 cmの高さから氷板上面に落した。それにより生じた弾性波は、衝撃点から一直線上に6個、4 m間隔で氷板上に配置した電磁型上下動換振器でとらえた。記録は4チャンネルのカセット型データレコーダによった。1チャンネルは衝撃時刻の記録に用いたので、1回の衝撃による振動波形は3地点でしか得られない。それで、3台の増幅器を次の3個の換振器に継ぎかえ、再び衝撃を加えると言う方法をとった。衝撃点より24 m以遠に伝播する波形は6個の換振器を移動させて、震央距離48 m迄の波形を記録した。重錘の落下は単なる手操作なので、落下のつど衝撃力の変動は多少あるが、同一地点で得られる振動波形は殆んど同形であることを確かめた。データレコーダの記録は本研究所に持ち帰ってから再生し、トランジェントレコーダ、ペン書きオシログラフの組み合わせ

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1857号

\*\* 北海道大学低温科学研究所 流氷研究施設研究報告 第62号

で4回の衝撃記録を同一記録紙上に合成、可視化した。帰国後、データレコーダの一つのチャンネルが不良で、このチャンネルには記録されていないことが判った。すべてのデータは8, 20, 32, 44 m 地点が欠測となっている。

### III. 解析結果

真空中に無限に広がった厚さ  $h$  の板の屈曲振動のうち、波面が板の面に沿ってとった  $x$  軸に直角に、無限に広がる平面波だけを考えると、板の面に垂直な変位  $z$  は

$$\begin{aligned}\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} &= -\frac{12\rho(1-\sigma^2)}{Eh^2} \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \\ &= -\frac{12}{V_p^2 h^2} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}\end{aligned}\quad (1)$$

の運動方程式の解

$$z = A \cos [2\pi(\mu x - \nu t) - \phi] \quad (2)$$

として求められる。ここで  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $E$  は夫々板の密度, ポアソン比, 弾性率である。また  $V_p$  は

$$V_p^2 = E/\rho(1-\sigma^2) \quad (3)$$

で与えられる薄い板の中の P 波速度である。

(2) 式を (1) 式に代入すれば

$$\mu = (12\nu^2/4\pi^2 V_p^2 h^2)^{1/4} \quad (4)$$

となるから波動の位相速度  $C$  は

$$\begin{aligned}C = \nu/\mu &= (4\pi^2 V_p^2 h^2/12)^{1/4} \sqrt{\nu} \\ &= 2\pi h V_p / \sqrt{12} \lambda\end{aligned}\quad (5)$$

となる。 $\lambda(=C/\nu)$  は波の波長である。

そこで群速度  $U$  は

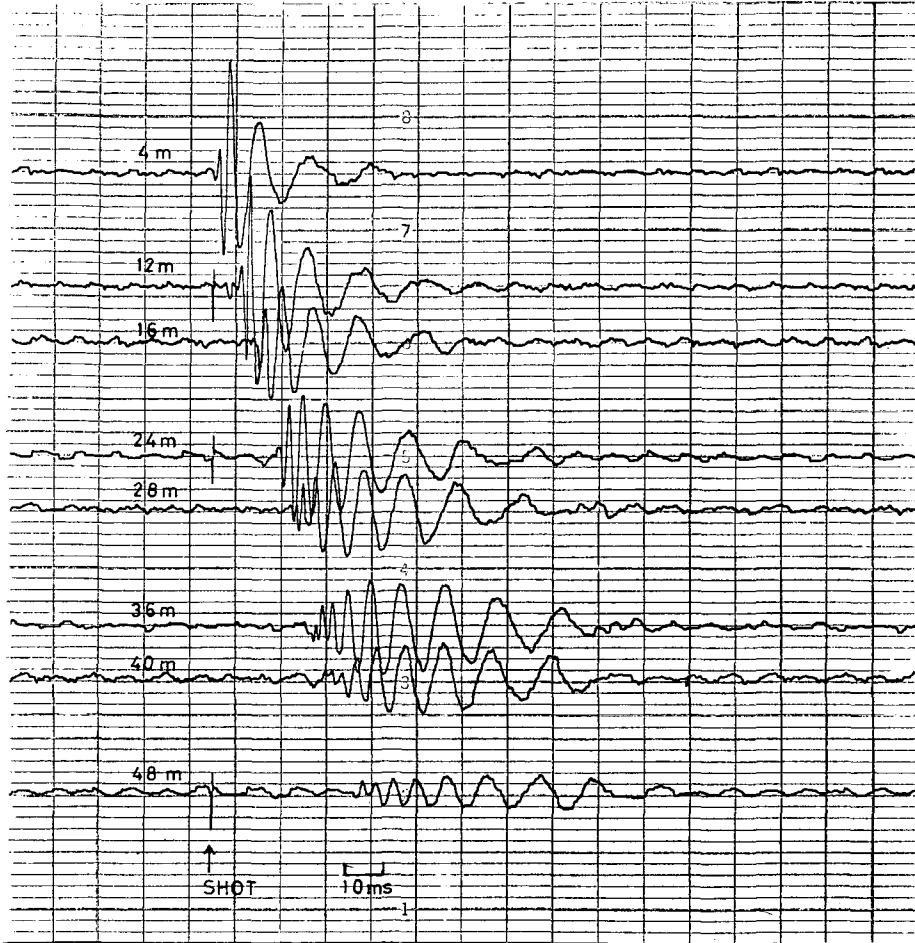
$$U = C - \lambda dC/d\lambda \quad (6)$$

の関係から

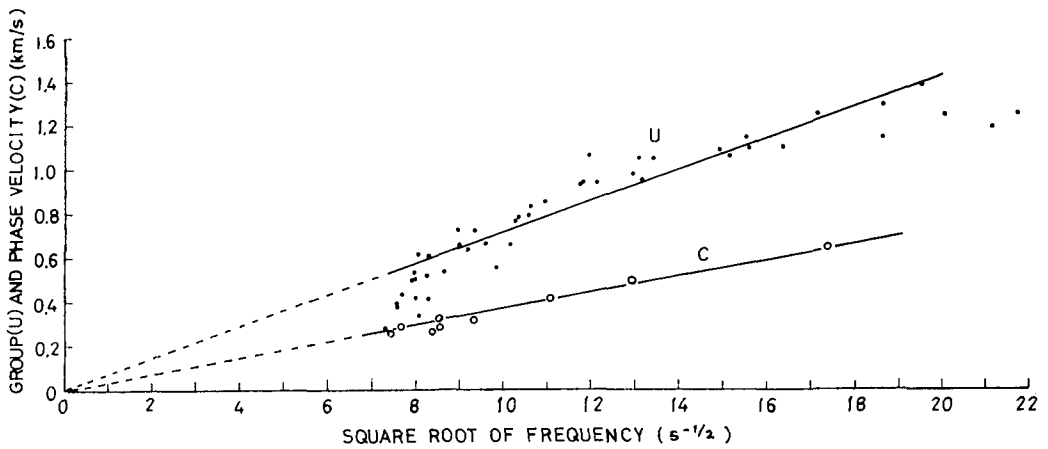
$$\begin{aligned}U = 2C &= 4\pi h V_p / \sqrt{12} \lambda \\ &= (8\pi h V_p / \sqrt{12})^{1/2} \sqrt{\nu}\end{aligned}\quad (7)$$

と求められる。従って観測波形から得られた位相速度と群速度とが振動数の平方根に比例し、同一振動数では群速度が位相速度の2倍と言う関係が得られれば、(3)と(5)か(7)とから弾性率  $E$  を求めることができる。

第1図は3月17日B点の実験で得た波形である。第2図にこれから求めた振動数の平方根に対する群速度と位相速度とを示す。群速度は各距離に於いて7点前後得られる。時間の読みとり精度等からばらつきがあるが、振動数64~324 Hzの範囲で振動数の平方根と直線関係があるとみなせる。位相速度については、4地点の欠測があるため得られた点数は少ないが、



第1図 3月17日B点における記録波形



第2図 第1図から求めた振動数の平方根 ( $s^{-1/2}$ ) に対する群速度  $U$  と位相速度  $C$  ( $km/s$ )

振動数の平方根とよい直線関係があり、ほぼ群速度の 1/2 の値を示している。従って、実験結果は真空中の板の屈曲振動と言う簡単なモデルが適用される。A 地点に於ける測定でも B 地点の第 1, 2 図と類似の結果が得られた。

波形では P 波, S 波の相が明瞭でないのでポアソン比を求めることはできなかったが、過去の実験の結果から  $\sigma=0.4$  とし、平均密度  $\rho=0.8$ , 平均氷厚 0.35 m (A 点), 0.48 m (B 点) を用いると弾性率の値は第 1 表の如く求められた。

第 1 表

地 点	日 時	氷 厚 (m)	P 波 速 度 (m/s)	弾 性 率 ( $10^{10}$ dyne/cm <sup>2</sup> )
A	3 月 7 日	0.35	2086	2.9
B	3 月 17 日	0.48	1444	1.4

この結果は田畑<sup>2)</sup>が本実験と同時に梁の曲げ強度の測定から得た A, B 点の弾性率の値の範囲に夫々含まれた。

#### IV. ま と め

ボスニア湾ノルビッシャー島周辺の 2 海域で現場の海水の弾性率を弾性波の伝播速度から求めた。海峡ほぼ中央部の A 点で  $2.9 \times 10^{10}$  C.G.S., 島の入江部 B 点で  $1.4 \times 10^{10}$  C.G.S. の値を得た。A, B 両地点で氷厚は多少異なるが、温度・塩分・結晶構造がほぼ同じであったにも拘らず、弾性率には明らかな相違が見られ、同時に行なわれた梁の曲げ強度の測定で、応力増加速度  $0.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$  のときに得られた弾性率<sup>2)</sup>とほぼ一致した。

おわりに、現地観測に際してスウェーデン国立気象海象研究所・主任研究員 Thompson 博士、ならびにウメオ大学研究員 Åke 氏御夫妻をはじめノルビッシャー島の皆様の暖かい御援助を得たことを記し、厚く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 田畑忠司 1975 ボスニア湾海水調査. 低温科学, 物理篇, **33**, 191-197.
- 2) 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.

#### Summary

Young's modulus of sea ice was measured in Norrbyskär, Sweden, in 1975, as a part of the project, "Ice Study in the Gulf of Bothnia". It was calculated from the propagation velocities of elastic waves in sea ice. Such waves were generated by mechanical impacts created as a result of dropping a 13.5 kg iron weight from a height of 60 cm upon the surface of the ice. They were picked up by geophones placed in a straight line on the ice at 12 points at intervals of 4 m to be recorded by a cassette tape recorder.

Dispersive flexural waves were revealed on seismographs, as seen in Fig. 1. The group velocity  $U$  and the phase velocity  $C$  of these waves were related by a formula  $U=2C=\alpha\sqrt{\nu}$ , as shown in Fig. 2, where  $\nu$  is the frequency.

The coefficient  $\alpha$  is given by

$$\alpha = (18 \pi h V_p / \sqrt{12})^{1/2}, \quad (1)$$

using a theory of flexural waves in a plate in vacuum, where  $h$  is the thickness of the plate and  $V_p$  is the longitudinal velocity in a thin plate. If the density, Poisson's ratio, and Young's modulus of the plate are denoted by  $\rho$ ,  $\sigma$ , and  $E$ , then  $V_p$  is given by

$$V_p = [E/\rho(1-\sigma^2)]^{1/2}. \quad (2)$$

Young's modulus  $E$  was calculated from measured values of  $\alpha$  by the use of formulas (1) and (2), and given by the value of  $2.9 \times 10^{10}$  C.G.S at the center of the strait (ice thickness: 0.35 m), and  $1.4 \times 10^{10}$  C.G.S at a narrow inlet of the island (ice thickness: 0.48 m), though the surface temperature, salinity, and crystallographic structure of sea ice were almost the same at both places. These values of  $E$  agreed with the values given by the flexural strength of the same sea ice by the cantilever beam method.