HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 精密測距儀による流氷野の歪の観測 |
| Author(s) | 小野, 延雄; 田沼, 邦雄 |
| Citation | 低温科學. 物理篇, 31, 221-229 |
| Issue Date | 1973-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18231 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 31_p221-229.pdf |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Nobuo ONO and Kunio TANUMA 1973 Strain Measurements on Pack-Ice Floe with Infra-Red Distancer. *Low Temperature Science, Ser., A, 31.* (With English Summary p. 229)

# 精密測距儀による流氷野の歪の観測*,**

小野延雄・田沼邦雄***
(低温科学研究所)

(昭和48年10月受理)

## I. まえがき

海に浮ぶ広大な流氷野は，風と海流の作用を受けて漂流しながら破壊や変形を起こしている。また，流氷野を構成している各氷盤は，温度の変化に従って膨脹や収縮をくりかえしている。

このような流氷野の歪を測定する試みは，これまでごくわずかしか行なわれていない。南極海でいくつかの氷山で囲まれた多角形内の流氷野の変形を調べた小野[1]の報告や，北海道のオホーツク海沿岸でのレーダーによる流氷観測から流氷野の変形を求めた田畑[2),3)]の論文などがあるにすぎない。

近年になってUntersteinerらは，AIDJEX (Arctic Ice Dynamics Joint Experiment) と呼ばれる大規模な観測を企画した。それは，北氷洋の流氷野の漂流と変形とを調べる通年の観測を1975年から1976年にかけて行なおうとするもので，それに先がけて1971年と1972年とにその予備観測が実施された。

その1971年の観測で，Hiblerら[4]は，それぞれ6～11 km離れた3点間の相互距離をテルロメーターで測定し，その三角形の変形を解析した。

これまで観測されてきたこのような広い範囲での流氷野の変形は，主として割れ目の発生やその幅の変化に起因するものである。流氷野の熱膨脹による伸縮や，割れ目が発生するまでの氷野の歪などを詳しく観測した例はない。このような観測を行なうためには，割れ目の有無やその発生状況を絶えず確認している必要がある。

筆者らは1972年のAIDJEX観測に参加する機会を得て，3月中旬から4月中旬にかけて75°N, 148°W付近を漂流した氷上基地の近くで，1 km程度の範囲内での距離の変化の精密測定を行なった。観測期間中に，幸いにして測定域内に割れ目が発生し，その前後の変化を測定することができた。

この報告は，その測定結果をもとに，熱膨脹による氷野の伸縮と，割れ目が発生する前後の歪変化などについて考察したものである。

---

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1284号

** 北海道大学低温科学研究所流氷研究施設報告　第32号

*** 昭和47年10月4日死亡

## II. 測 定 方 法

### 1. 距離の精密測定

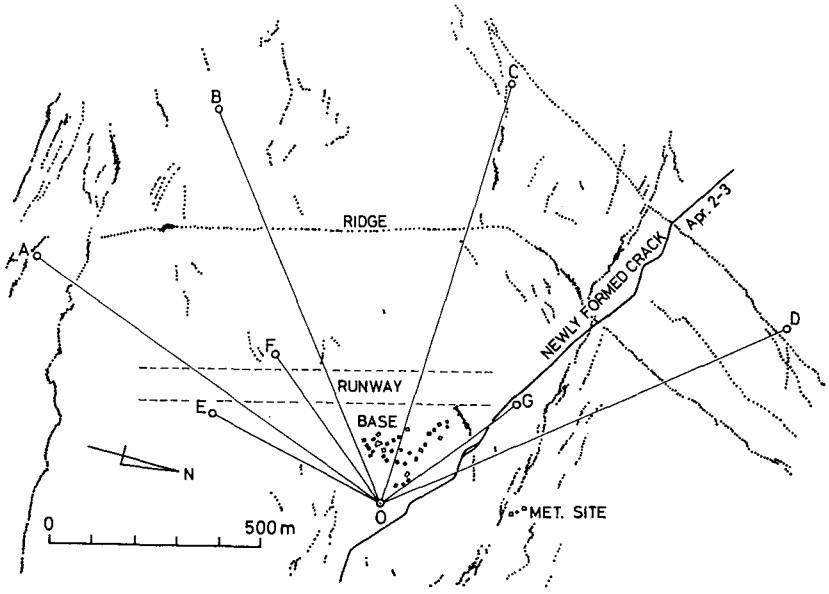
距離の測定には，ウイルド社製赤外線測距儀ディストマット DI 10 を用いた。これは波長 0.875 $\mu$m の赤外不可視光線を周波数 14.98540 MHz の正弦波に振幅変調して集光ビームで放射し，プリズム反射器からの反射波を受信してその位相の差からその間の距離を正確に知ろうとするものである。この周波数は波長 20 m であり，測定距離間を往復するから 10 m の測定単位に相当する。測定は 10% 小さい周波数から掃引しながら開始され，周波数に連れて生じる位相差の変化から測定距離内にこの測定単位がいくつ入るかを知るようになっている。

この波長は気温や気圧の影響を受けるから，測定単位は気象条件によって正確に 10 m とはならない。実際には測定時の気温と気圧を読みとって，Barrel-Sears の公式

$$\Delta D = 282 - \frac{0.290p}{1+0.0037t}$$

で補正を行なう必要がある。ここで，$\Delta D$ は測定値の補正量 (mm/km) であり，$p$ は気圧 (mb)，$t$ は気温 (°C) である。

仕様では測距離範囲は 2,000 m まで，平均自乗誤差は距離に関係なく ±1 cm とされているが，受信信号の強いときには，読取値の再現性は ±0.1 cm と極めてよい。ただし，反射器を前後させて 10 m 測定単位内の読取値を検定すると，その読取値には ±1 cm 程度の系統誤差が見られた。したがって，この測定単位内の読取値に対する補正曲線を作って用いれば，受信信号の強いときには ±0.3 cm の精度が期待できる。実際にプリズム反射器を 0.5 cm 前後させて，それだけ値が変わることを確かめた。




**第1図** プリズム反射器の配置と付近の氷状

### 2. プリズム反射器の配置

氷上基地の周辺の氷の状況と，プリズム反射器の位置関係を第1図に示した。基地には観測用と居住用とを合わせて約30の小舎があり，また，氷を平らにならして作った滑走路がある。

基地の近くのO点に，セオドライトの上に取付けたディストマットを設置し，観測用の窓が開閉できるテントを張った。O点から約1km離れた4方向の点A, B, C, Dに3個のプリズムの付いた反射器を，また約400m離れた3方向の点E, F, Gには単プリズムの反射器を設置した。

各反射器までのO点からの距離と方位とを，毎日4～5回測定した。

### 3. 測定域内の氷状の観察

O点と各反射器とで囲まれた測定域内の氷状は，随時徒歩で調査した。反射器のプリズムに霜が着くと，受信信号が弱くなって読取値がゆらぎはじめて測定精度が悪くなるので，特に風の強い日を除いて毎日1回，各反射器を巡回してプリズムの霜取りを行なった。巡回の途中では特に割れ目の発生に注意して氷状の観察を行なった。

### 4. 気温および氷温の測定

気温と氷温の測定には，銅とコンスタンタンの熱電対を用いた。氷上約1mの気温と，氷の表面から0, 8, 15 cmの深さの氷の温度とを，深さ87 cmの氷中温度との温度差として測定し，打点式の記録計に自記させた。基準にとった87 cmの深さの氷の温度は，ほぼ3～4日に1回，気温用の熱電対を0°Cの水を入れた容器に浸けて，その絶対値を知った。

## III. 測定結果

### 1. 距離の精密測定

O点から各反射器までの距離の測定結果は，第2図の上半部にそれぞれ示した。図の縦軸はO点から各反射器までの距離であり，横軸は測定日時である。測定値に多少のばらつきは認められるが，時とともに推移する全体の傾向をはっきり見ることができる。

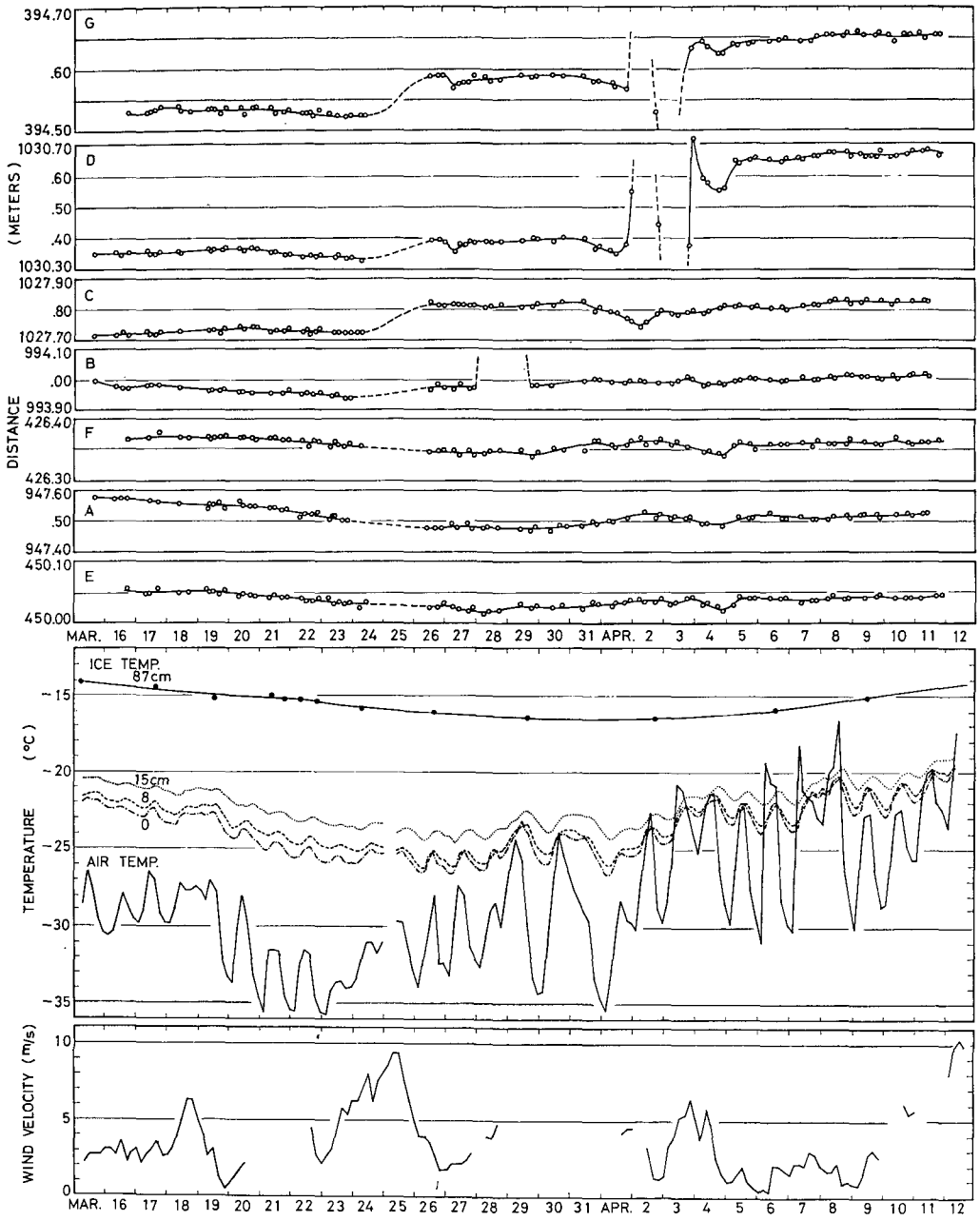
3月24日から26日にかけては，強風のため霜おとしが出来ず，受信信号が弱くなって欠測となった。3月27～29日のBや，4月1～4日のDとGには，割れ目が大きく口を開いたために生じた大きな変位が現われている。それらの変位は，この図からはみ出してしまうので省略した。

### 2. 気温，氷温，風速の推移

第2図の下半部は，測定期間中の気温，氷温，風速の推移を示したものである。深さ87 cmの氷の温度は，その実測値を黒丸で示した。この黒丸をなめらかに結んだ曲線を基準にして，その他の深さの氷温や気温の値を決定した。第2図の気温や氷温の曲線は，打点式の連続記録から4時間ごとの値を読取って描いたものである。

第2図に示した風速の推移は，基地での気象観測の資料報告[5]から，4時間ごとの値を引用したものである。

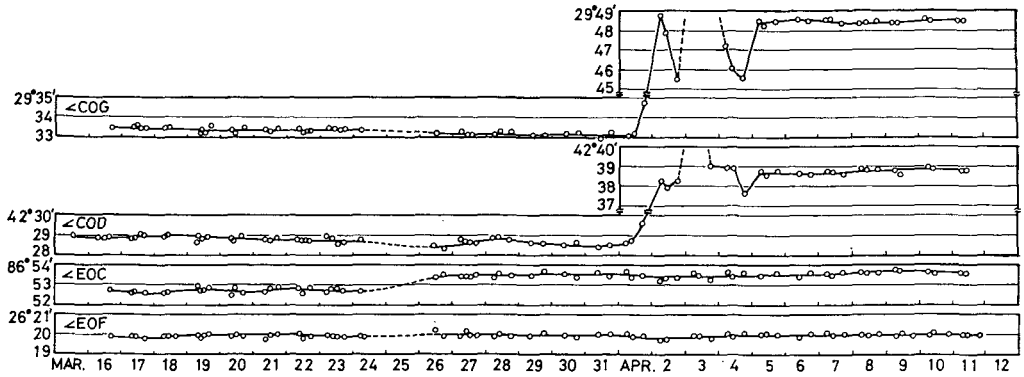
なお，第2図の横軸をはじめとして，この報告に出てくる日時は，基地で使用していたアラスカ地方時をそのまま用いたものである。




**第2図** O点より各反射器までの距離，気温，氷温，風速の時間変化

### 3. 各反射器間の角度の推移

それぞれの反射器の方位の測定値から，2個の反射器のあいだの角度を求め，その時間的変化を調べた。その組合せの中から，EとF，EとC，CとD，CとGの組を選んで，それらのなす角の推移を示したのが第3図である。




**第3図** 反射器間の角度の時間変化

EとFとのなす角は，全測定期間を通じて大きな変化が見られず，極めて安定していたことがわかる。EとCとのなす角は，3月24～26日に変化を示したが，その前後では安定している。そのCを基準にして，DとGの方位の推移を調べた。ともに4月1日から動きはじめ，大きな変化をしたあとの4月5日には，Dは約10分，Gは約15分の角度変化を残して落着いた。

**4. 測定域内の氷状の観察**

各反射器間を巡回しながら観察した氷状の記録と，基地周辺の空中写真とをもとにして，観測域付近の氷丘脈の位置を描いたのが第1図の点線である。氷丘脈の高さは，観測域の外では5～10 mのものも見ることができたが，その内側では1～2 mのものが多かった。

観測域内の平坦部の氷は，厚さ約2 mのひと冬氷であり，O点の近くで採取した氷試料の全層平均塩分量は約4‰であった。観測域内の氷野は，次に述べる割れ目を除けば，割れ目が発生しても10 cm以下の幅でおさまり，かなり安定した状態にあった。測定期間中，氷野はほとんど回転せず，北の方位は第1図に示した方向をほぼ保っていた。

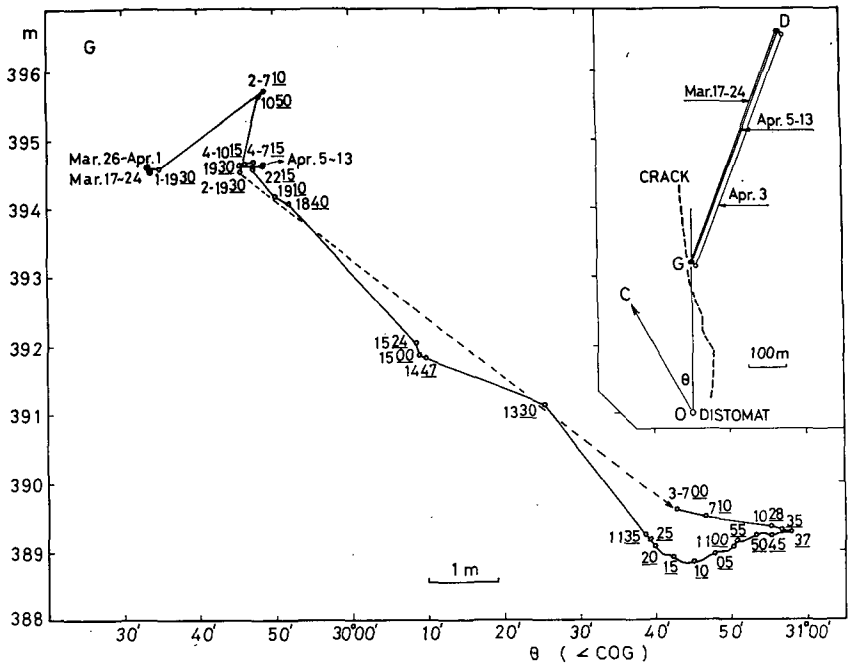
**5. 割れ目の発生と氷盤の相対運動**

第1図に実線で示した割れ目は，4月1日頃発生し，2日から3日にかけて大きく口を開いた。この割れ目は反射器Gの側方を通ってCとDとのあいだを抜けている。この割れ目によって分離した2氷盤は，その片方にGとDとを乗せて4月3日の午前中に大きな相対運動を起した。

その相対運動は，O点からGまでの距離と方位とを随時読取って観測した。移動速度が速いときには，1分ごとの測定を行なった。

その結果を第4図に示す。図の縦軸はOG間の距離であり，横軸はCを基準にしたGの方位である。図は縦横の縮尺がほぼ等しくなるように描いてある。

3月17日から4月1日までは，Gの位置に大きな変化はない。4月1日の夕刻から動きはじめ，2日朝には約2 mの変位を示した。2日夜から3日朝にかけて大きく動き，3日の10時40分頃には最大の変位約11 mを示した。その変位の割れ目方向の成分は約5.5 m，割れ目に垂直な方向の成分は約9 mであった。この間に最大10 cm/min程度の相対移動速度が観測さ




**第4図** 反射器Gの相対運動

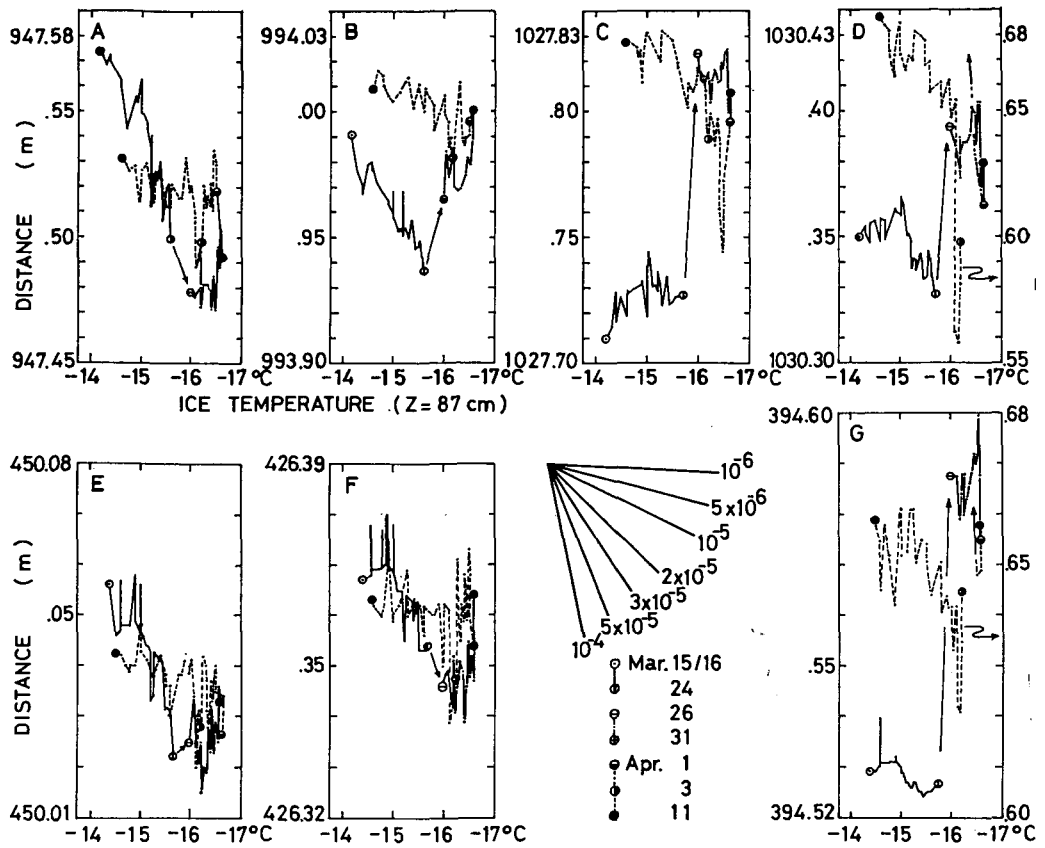
れた。その後2氷盤の相対位置はもとにもどりはじめ，3日夜には，初めの位置にかなり近い位置にもどった。しかし，この約2日のあいだに割れ目には20～30 cmの薄氷が張り，また，ところによっては氷盤自身の破片が割れ目に浮んだりしていたので，割れ目の位置にはそれらを圧迫した氷丘脈が生まれた。こうして2氷盤はもとの状態からお互いに約1.8 m離れた位置で氷丘脈をはさんで落着いた。

このような変位は，Dについても同様であった。第4図の右上には，GとDとの相互位置を示してある。GとDとを結んだ直線は，変化の激しかった4月3日にも，その長さをほとんど変えていない。また，その方向もほんのわずかしか変っていないことから，DとGを乗せた氷盤は，全体としても第4図のGの動きで代表される動きをしていたことがわかる。

## IV. 結果の考察

氷野の熱膨脹による伸縮が測定結果に現われているかどうかを調べるために，温度を横軸にとり，各反射器までの距離を縦軸にとって，距離の推移を示したのが第5図である。図の横軸の温度には，氷野の全層平均温度の推移にほぼ近いと考えられる，第2図の深さ87 cmの氷温曲線の値を用いた。横軸に浅い氷温や気温を使って同様の図を描くと，時間的推移の線の交錯がこの図より多くなるが，全体の特徴はいずれの図にも現われているのを見ることができる。

全体として右下がりの傾向が目につくが，これは氷野の熱膨脹による伸縮の傾向と一致する。海氷の熱膨脹率は，温度や塩分量によってその値が大きく変化する。温度が $-14$～$-17$°C，塩分量が4‰の場合には，熱膨脹率は $3\times10^{-5}$ 程度の大きさである。図には，熱膨脹率を $10^{-6}$



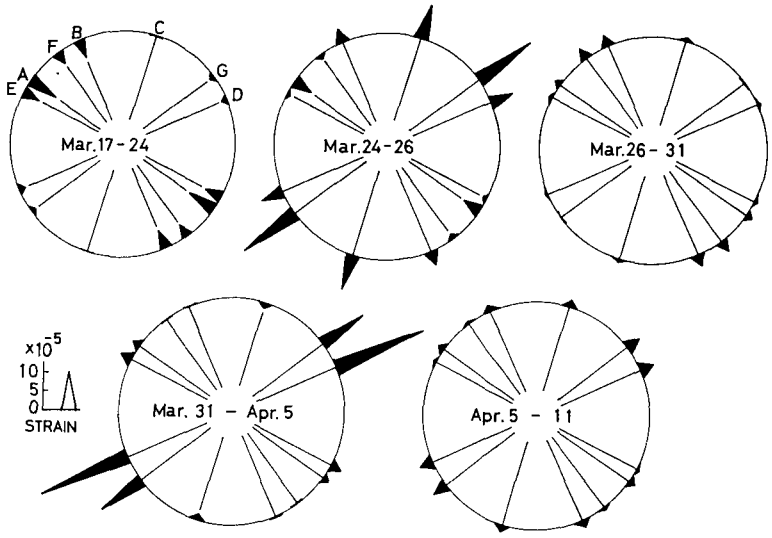

**第5図** 温度に対する距離の推移

から $10^{-4}$ まで変えたとき，温度変化に連れて期待される距離の変化を，それぞれの場合の傾きとして示してある。

実線で示した3月15～24日の距離の変化は，A, B, E, F では $3\times10^{-5}$ 程度の傾きを示しており，熱収縮と見なすことができる。この期間に伸びたCや，わずかしか収縮しなかったD, G の方向は，次の24～26日に図中の矢印のような大きな変位（伸び）を起している。このことは，この15～24日の期間に C, D, G の方向には，熱収縮を打消すような引張りの外力か，こまかな割れ目の発生があったことを暗示している。

このような歪の異方性を一層はっきり見るために，全測定期間を5期間に分け，それぞれの期間について氷野の伸縮の方向性を調べたのが第6図である。各期間の始めの各反射器の距離を基準にとり，期間の終りに生じていたそれぞれの方向の歪の大きさを，底辺を基準円周上にとった三角形の高さで示した。三角形の頂点が円の外側にあるものは，その期間中に氷野がその方向に伸びたことを示しており，頂点が円内にあるものはその方向に縮んだことを示している。

方向による強弱はあるものの，上述の3月17～24日には氷野全体に縮みが見られ，3月26～31日と4月5～11日には氷野全体に伸びが見られる。




**第6図** 各期間ごとの氷野の歪

ほぼ氷層の平均温度とみなしうる深さ 87 cm の氷温の推移を第2図でみると，3月 26～31 日には，まだ温度は低下あるいは横ばいの状態にあることがわかる。この時期に現われた B, F, A, E 方向の氷野の伸びは外力による歪と考えられ，4月1日に発生し2日から3日にかけて大きく口を開いた割れ目の生成と関係があるものと思われる。

4月5～11日の期間では，氷温も上昇し氷野は熱膨脹の傾向にあることがわかる。しかし，第5図を見ると，このときの変化は熱膨脹率にして $5\times10^{-6}$ から $10^{-5}$ の程度であり，3月 17～24 日の変化より小さな値を示している。

また，氷野に明瞭な割れ目の発生が見られた3月 24～26 日と3月 31 日～4月5日の期間では，割れ目内の結氷や氷丘脈の生成などによって，割れ目をはさんだ反射器の方向に大きな歪が残ることがわかる。

## V. あ と が き

この観測は 1972 年の AIDJEX 観測の一環として行なったものである。AIDJEX に参加して観測する機会を与えて頂いた Washington 大学の Untersteiner 教授をはじめとする AIDJEX の関係者の方々に厚く感謝の意を表わします。

この測定は，この AIDJEX 観測に参加した低温科学研究所の田畑忠司教授，石田完教授，鈴木義男助教授，若土正暁助手と筆者2人を合わせた6人の共同観測といえるものである。これらの方々の御指導と御協力に対して深く感謝の意を表わします。

また，第1図の基地付近の氷状を描くにあたって，空中写真を撮影された U. S. CRREL の S. Ackley 氏から写真を提供して頂いた。ここに記して厚く御礼申しあげます。

なお，この観測に要した費用の一部は，流氷研究施設アラスカ調査費によったことを付記し，謝意を表わします。

## 文　献

1) 小野延雄 1959 密流氷野におよぼす風の影響について. 低温科学, 物理篇, **18**, 171–178.
2) 田畑忠司・青田昌秋・大井正行・石川正雄 1969 レーダーによる流氷の動きの観測. 低温科学, 物理篇, **27**, 295–315.
3) 田畑忠司 1971 北海道沿岸の流氷野の歪の測定. 低温科学, 物理篇, **29**, 199–211.
4) Hibler III, W. D., Weeks, W. F., Ackley, S., Kovacs, A. and Campbell, W. J. 1973 Mesoscale strain measurements on the Beaufort Sea pack ice (AIDJEX 1971). *J. Glaciol.*, **12**, 189–206.
5) AIDJEX 1972 Station positions, azimuths, weather 1972 AIDJEX pilot study (Preliminary data). AIDJEX bulletin No. 14, 63–120.

## Summary

Strain measurements were made on a pack-ice floe around the 1972 AIDJEX (Arctic Ice Dynamics Joint Experiment) main camp by utilizing an infra-red distancer Wild Distomat DI-10.

Seven reflectors were placed around the Distomat (Fig. 1). Four three-prism reflectors (A, B, C, D) were set about 1,000 m away from the Distomat (O), and three single-prism reflectors (E, F, G) were set about 400 m away.

The distances and azimuths from the Distomat to the seven reflectors were observed about four times a day over a four-week period from 15 March to 13 April. A reconnaissance was made every morning by walking to clean a frost coating on the surface of each prism reflector and to observe the change of the ice morphology.

The results of the distance measurements are shown with the data of ice temperatures, air temperatures and wind velocities in Fig. 2. Some results of the azimuth measurements are shown in Fig. 3.

A crack was newly formed in the area on 1 April (Fig. 1). A remarkable displacement then occurred on the reflectors D and G from 2 to 3 April (Fig. 4). On 5 April two separated ice floes came closer nearly to the original position and became firmly settled, where a perssure ridge was formed along the joint.

In order to obtain the thermal expansion of the ice floe, the results of the distance measurements are redrawn to relate with the ice temperature at a depth of 87 cm (Fig. 5). It is seen from the figure that in the cases of A, B, E, and F during the period of 15–24 March (solid line), the slope of trend is about $3\times10^{-5}$ per temperature degree which almost agrees with the thermal expansion coefficient of sea ice. In the cases of C, D and G, the slope of trend is smaller than $3\times10^{-5}$ during same period, and an expansion of the ice floe caused by crack formations was observed in these directions during the next period, 24–26 March.

The strain of the ice field during five periods are shown in Fig. 6. A circle corresponds to the first stage of each period, and a tip of a triangle shows the strain at the last stage of each period.