



Title	北海道沿岸の流水野の歪の測定
Author(s)	田畑, 忠司; TABATA, Tadashi
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 199-211
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18183
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p199-211.pdf



北海道沿岸の流水野の歪の測定^{*,**}

田畑忠司
(低温科学研究所)
(昭和46年9月受理)

I. まえがき

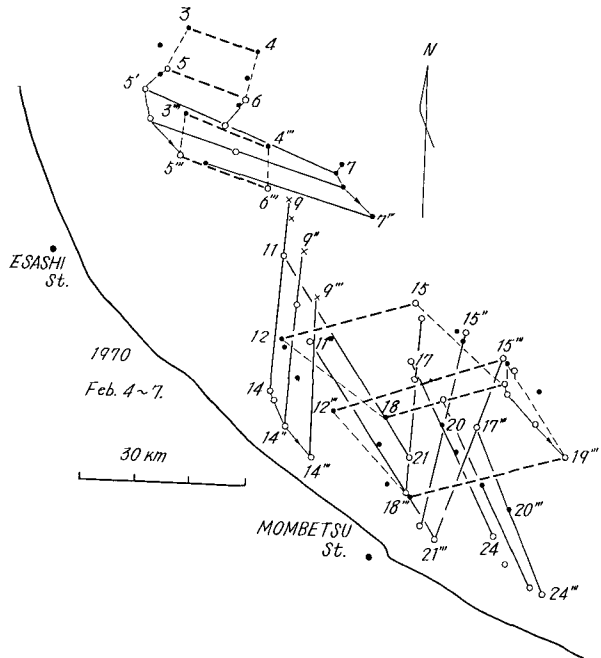
北海道オホーツク海沿岸の山頂に設置した流水観測レーダーによる流水観測の結果、流水は単純に移動・漂流しているのではなく、その内部ではたえず内部変形がおこっていることが確かめられた¹⁾。同じ現象が北氷洋の氷原においてもおこっていることが着目されたが²⁾、流水の内部の変形の研究はまだ緒についたばかりである。

この報告では、レーダーに写る流水映像上の特異な点——氷湖、開水面あるいは氷縁の特異な形態など——に着目し、それらの点のうちの3点の相対位置の変化に対して均質歪の理論³⁾を適用して氷野の歪を求めた結果を報告する。用いた資料は何れも1970年2月および3月に観測したものである。

II. 氷野の変形の様相

第1図に1970年2月4日から7日のあいだに紋別沖および枝幸沖で観測されたいくつかの氷湖などの基準測点の移動の軌跡を示した。図中の数字は測点の番号で、たとえば No. 5, 5', 5'' は同じ測点のほぼ24時間毎の位置を示している。このときの流水状況は第2図に示したように海はほぼ一面に流水におおわれており、ところどころに氷湖が点在していた程度で、きわめて優勢な流水であった。その流水が全体として北西から南東方向にゆっくりと移動していたことは第1図から明らかである。

一般に物体が外力を受けて変形し



第1図 流水上の目立った点を結んだ直線の移動状態

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1155号

** 北海道大学低温科学研究所付属流水研究施設研究報告 第22号

場合に、もしその内部の変形前のすべての直線が変形後も直線のままであり、また変形前に互に平行であった直線が変形後も互に平行であるならば、このときの変形・歪は均質であるとよばれる³⁾。均質歪の場合にはその解析がきわめて容易である。

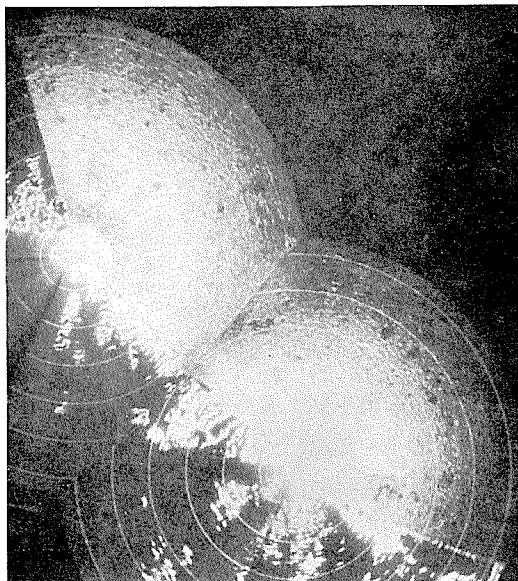
流水野の変形を求めるにあたって、氷野内の基準測点としては氷湖、あるいは氷野内の特長ある点を利用した。このため氷野の上に直線あるいは互に平行な直線を任意に画くことは難かしいが、いく本かの直線を画くことはできる。第1図にこのようにして画いた平行線と直線を示した。

直線 3・4 と 5・6 は変形前に互に平行であり、12・15 と 18・19 も同様である。これらが3日後にはそれぞれ $3''\cdot 4''$ と $5''\cdot 6''$ 、 $12''\cdot 15''$ と $18''\cdot 19''$ の位置に移動した。

氷野はこの3日間に変形し且つ平行移動したのであるが、これらの互に平行な直線の組は変形後もほぼ平行であった。3点をむすぶ直線 9・11・14 は2日後には $9''\cdot 11''\cdot 14''$ 、3日後には $9''\cdot 11''\cdot 14''$ の位置に直線のままで移動した。直線 15・17・21、17・20・24、11・18・21 および 5・6・7 などについても同様である。

以上のことから、第1図に示したときの氷野の歪は、30 km 程度の大きさを考える場合には均質であると見做すことができる。同様のことをのちに述べる3例についても試みてほぼ同じ結果を得た。それゆえ、あまり大きくない面積を考える場合には氷野の歪は均質であると見做すことができることがわかった。

流水野は大、小、凹、凸の異なる無数の氷板・氷塊の集合であるにも拘わらず、その変形の歪が均質であるということは注目すべきことである。



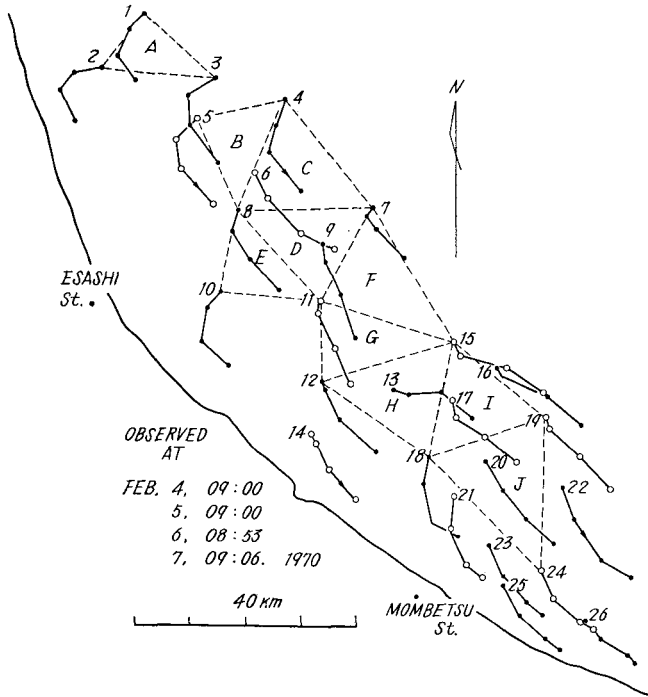
第2図 紋別・枝幸沖の流水分布 (1970年
2月7日9時、半径30哩)

III. 流水野の歪

第2図に示した氷野中に26個の点をえらんで、それらの点の24時間毎の位置を示しそれらを直線で結んだのが第3図である。第1図は第3図の諸点のうちの一部である。図から明らかかなように、各点は大まかには北西から南東方向に動いているが、2月4日から6日のあいだでは各点の動きのちがいが著しく、特に北端に位置する点1~5において顕著である。このことは氷野が内部で変形を生じながら流れ動いていることを示している。

第3図の各点のうちから14個の点を任意にえらび出して図に示したように10個の鋭角三角形 A~J を画いた。

物体内の一点 $P(x, y)$ が均質歪と平行移動によって $P'(x', y')$ に移動したときには、 (x, y)

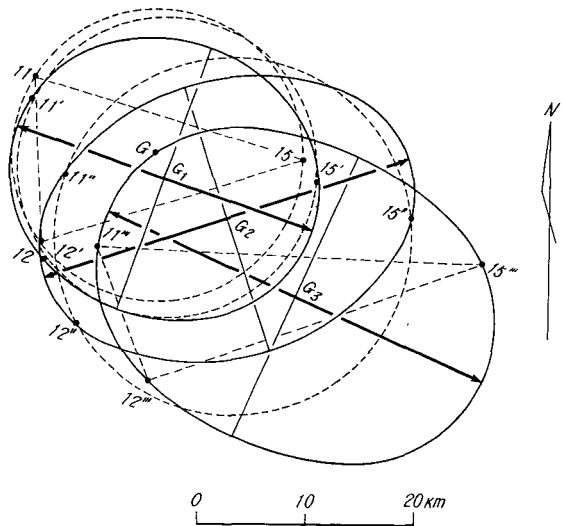


第3図 紋別・枝幸沖の流氷中の基準観測点の移動の軌跡 (1970年2月4~7日)

と (x', y') のあいだには次の直線変換関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} x' &= ax + by + e \\ y' &= cx + dy + f \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

それゆえ、変形した物体内の任意の3点の変形前後の位置がわかれば、この変形を解くことができる。したがって第3図に示したように三角形であらわされる3個の点の組合わせを用い、それらの点の変形前後の位置から氷野の各部分の歪を求めることができる。(1)式の変換によって、変形前の円は変形後に楕円にかわる。この楕円は歪楕円とよばれ、その長軸と短軸はそれぞれ歪の主軸に一致する。



第4図 第3図中の測点11, 12, 15の移動から求めた歪楕円

第3図に示した点11, 12, 15で囲まれた三角形Gを例にとり変形の解析の結果を第4図に示した。第4図で点11, 12, 15は変形前の3点の位置である。またたとえば11', 11'', 11'''はそれぞれ点11の各24時間後毎の位置である。11, 12, 15の3点をとる円の中心はGであ

る。24時間後に変形によって各点はそれぞれ $11'$, $12'$, $15'$ に移動し、(1)式の変換によって得られる歪楕円を画いたのが太い実線であらわされた楕円 $11' \cdot 12' \cdot 15'$ でその中心が G_1 である。このとき(1)式の各係数は $a=1.036$, $b=0.031$, $c=0.060$, $d=0.962$, $e=-0.231$, $f=-0.668$ であった。図中の矢印のついた太い実線は楕円の長軸 A でその長さは円 G の半径の 1.058 倍で、短軸 B は 0.941 倍である。したがって主歪 ϵ_1 , ϵ_2 はそれぞれ 0.058, -0.059 である。楕円の長軸の方向は北から時計まわりに測って 129.1 度である。変形による面積増加率 $AB-1=-0.005$ で僅かに収縮したことになる。

もとの円の中心 G は G_1 に平行移動した。 GG_1 を 24 時間中の流氷の移動量とし、流氷の流向・流速を求めると、北から時計まわりに 163.4 度、 0.09 km/h である。この間の歪の主軸の回転角は -0.94 度であり、最大剪断歪の大きさは 0.118 でその方向は 67.5 度および 150.8 度である。

次に 3 点 $11'$, $12'$, $15'$ をとおる円を考えるとその中心は G_1 の近くの G'_1 である。ただし第 4 図にはこの点は記されていない。次の観測時までの 24 時間中に上記各点はそれぞれ $11''$, $12''$, $15''$ に移動したので、全く同様にして歪楕円を求めると G_2 に中心を有する楕円 $11'' \cdot 12'' \cdot 15''$ が得られる。このときのこの楕円の長軸の向きは 72.2 度、主歪はそれぞれ 0.26, -0.09 で、面積増加率は 0.14、主軸の回転は -1.9 度、最大剪断歪は 0.33 である。流氷の移動量は G'_1G_2 であり、流向・流速はそれぞれ 129 度、 0.30 km/h である。全く同様にして、観測終了時の 3 点 $11'''$, $12'''$, $15'''$ をとおる歪楕円 G_3 が求められる。

図から明らかなように、流氷中の同一の部分に着目してみてもその流向・流速が時間的に異なるばかりでなく、変形の模様も異なることは明らかである。すなわち、歪の主軸すなわち最大の伸びと圧縮がおこった方向とそれらの大きさが時間によって著しく異なっている。現場の風の測定は行なわれていないので沿岸の風の資料を参照すると、観測区間中の平均はそれぞれ 150 度 2.1 m/s, 120 度 3.5 m/s, 45 度 2.0 m/s であった。ただし風向は風下の方向であらわしてある。2 月 5~6 日のみがやや風が強かったがその前後では弱かった。この海域には沿岸にほぼ平行に南下する海流があるので^{1),4)}、風が弱かった 2 月 4~5 日、6~7 日には流氷の動きと変形が主としてこの海流に支配されたと考えると、第 4 図の流氷の移動と変形の一応の説明がつかないことはない。

うえに述べた操作によって、第 3 図に示した 10 個の三角形ごとの各頂点の組合わせを用いて 1970 年 2 月 4 日午前 9 時から 7 日午前 9 時までのあいだの各 24 時間毎の枝幸・紋別沖の流氷野の各部分の流向・流速および歪を求めた結果が第 1 表である。表には枝幸・紋別両測候所で観測された観測区間ごとの平均風速 v と流氷の流速 V との比および平均風向の風下方向に対する流氷の流向の偏角(右偏を正とする)も示した。なおこの陸上での平均風向・風速は第 5 図に示してある。

表から明らかなように、流氷内の各部分ごとにその流向・流速はひとしくなく、また変形の様子も異なっている。平均的にみれば、流氷の流速の風速に対する比は、2 月 5 日までは 0.016, 6 日までは 0.025 で最後の区間では 0.038 でありもっとも大きい。これは第 1 日目と 3 日目では風速はあまりちがわないが、第 1 日目の風は流氷を沿岸に押しつけるような方向に吹い

第1表 24時間のあいだに流水の各部分に生じた歪
A~Jは第3図中の各三角形

区 間		三 角 形										平 均
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1970年 2月4日 09:00 より 2月5日 09:00	歪主軸	76°	149	65	65	79	126	109	8	37	33	0.13 ₅ 0.14 190° 0.016 32.1°
	主歪 ϵ_1	0.05	0.17	0.02	0.02	0.13	0.07	0.06	0.14	0.18	0.13	
	主歪 ϵ_2	-0.12	-0.10	-0.08	-0.04	-0.10	-0.01	-0.06	0	-0.04	0.08	
	面積変化率	-0.07	0.05	-0.06	-0.03	0.02	0.06	-0.01	0.14	0.13	0.22	
	最大剪断歪	0.15	0.25	0.10	0.06	0.23	0.07	0.12	0.13	0.20	0.04	
	回 転	10°	5.4	-3.3	-4.1	0.6	-1.8	-0.9	5.0	-0.4	-4.5	
	流速(km/h)	0.22	0.18	0.15	0.13	0.14	0.09	0.09	0.12	0.13	0.18	
	流 向	247°	200	199	197	195	178	163	174	175	169	
	v/V	0.023	0.019	0.016	0.013	0.014	0.012	0.012	0.016	0.015	0.021	
	偏 角	67°	20	19	17	15	28	13	24	62	56	
2月5日 09:00 より 2月6日 08:53	歪主軸	116°	99	129	2	60	135	72	48	36	72	0.20 ₅ 0.27 150° 0.025 29.0°
	主歪 ϵ_1	0.16	0.06	0.02	-0.22	0.27	0.19	0.26	0.34	0.29	0.19	
	主歪 ϵ_2	-0.11	-0.06	-0.07	-0.06	0.04	0.16	-0.09	0.02	-0.02	-0.05	
	面積変化率	-0.03	0	-0.06	0.14	0.02	0.37	0.14	0.37	0.27	0.12	
	最大剪断歪	0.27	0.11	0.10	0.26	0.23	-0.02	0.33	0.28	0.28	0.23	
	回 転	1.3°	-12.3	-9.9	-4.1	5.6	-9.2	-1.9	4.3	7.2	-1.6	
	流速(km/h)	0.18	0.24	0.17	0.43	0.24	0.24	0.30	0.28	0.31	0.28	
	流 向	193°	176	162	141	163	121	129	140	130	144	
	v/V	0.010	0.014	0.010	0.024	0.014	0.019	0.024	0.029	0.032	0.078	
	偏 角	80°	63	49	29	50	1	9	5	-5	9	
2月6日 08:53 より 2月7日 09:06	歪主軸	177°	95	73	29	88	61	114	59	122	88	0.138 0.34 141° 0.038 96.4°
	主歪 ϵ_1	0.21	-0.01	0.01	0.10	-0.02	0.17	0.17	0.02	0.03	0	
	主歪 ϵ_2	0.11	-0.08	-0.10	-0.06	-0.06	0	-0.11	-0.18	-0.04	-0.15	
	面積変化率	0.33	-0.09	-0.09	0.04	-0.09	0.17	0.04	0.17	-0.01	-0.15	
	最大剪断歪	0.09	0.08	0.11	0.16	0.05	0.16	0.28	0.22	0.07	0.17	
	回 転	-1.1°	1.6	-0.6	3.6	5.5	0	-10.2	0.5	6.0	5.6	
	流速(km/h)	0.33	0.35	0.34	0.26	0.63	0.32	0.33	0.31	0.27	0.21	
	流 向	152°	139	138	144	199	134	133	125	124	125	
	v/V	0.032	0.033	0.033	0.029	0.060	0.036	0.046	0.043	0.038	0.029	
	偏 角	107°	94	93	99	154	89	88	80	80	80	

ており、第3日目には逆に沖合に押し出すような方向に吹いていたことによるものである。第3日目に流水の流向の風向に対する偏角が著しく大きいのは、当日は風が弱く流水の動きが主として沿岸に存在する南下海流によったためと考えられる。

流水内の各部分ごとの面積増加率は第1日目には-0.07~0.22、第2日目は-0.06~0.37、第3日目は-0.09~0.17であり、また最大剪断歪および主歪をみても、第2日目の流水の歪はもっとも大きい。また同一日でも流水内部の歪の位置によるちがいが著しい。

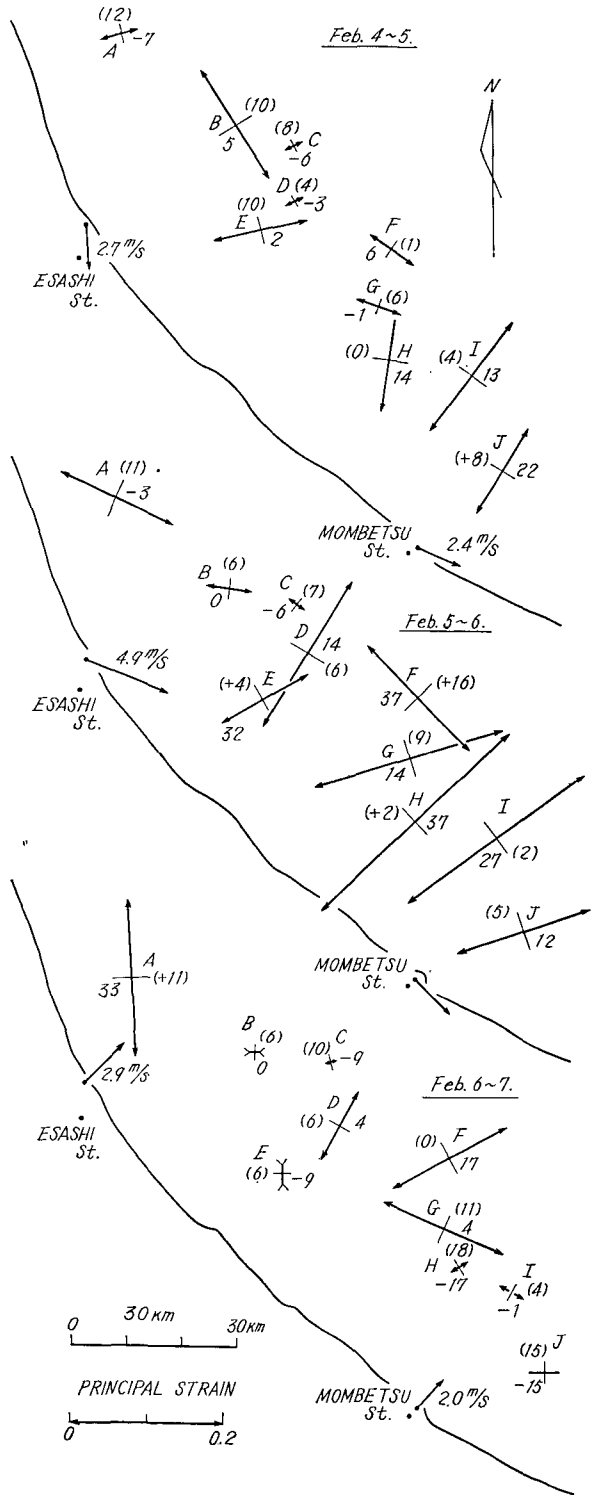
第5図は第1表中の値の一部を図示したものである。太い矢印のついた実線は歪楕円の長軸をあらわし、その長さは主歪 ϵ_1 に比例している。短い細い実線は短軸で ϵ_2 の値を括弧内に記入し、また面積変化率の値も記入した。 ϵ_2 と面積変化率は % であらわしてある。観測区間中の平均風向（風下の方向であらわす）平均風速は矢印で陸上の各測候所の位置に記入した。

同一観測区間中であっても、歪の主軸の方向も主歪も流水野内の各部分によって著しく異なることは一目瞭然である。別の日と較べるとこのちがいは更に大きい。また面積変化率についても同様である。すでに述べたように、歪は第2日目（2月5~6日）にもっとも大きいのがよくわかる。各3点の組合わせごとの3日間の面積変化率の和は次のとおりである。

A	B	C	D	E
0.34	-0.03	-0.20	0.14	0.21
F	G	H	I	J
0.71	0.19	0.27	0.42	0.17

B および C の水野では流水が全体としては収縮し、他の場所ではいずれも膨脹しており、特に F の膨脹が著しい。流水野の収縮は水野内の氷湖あるいは開水面が消滅したりまたはあらたに氷丘が形成されたことを意味し、逆に膨脹は主として氷塊相互の密着度がゆるみ水面があらわれたりまたは既存の開水面が拡がることを示している。

風が流水の上を吹くと、風速の自乗



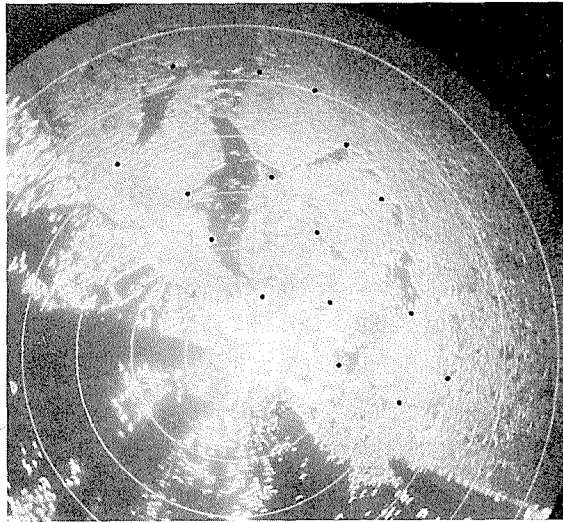
第5図 紋別・枝幸沖の流水の各部分に24時間のあいだに生じた変形の歪主軸、主歪及び面積変化率の毎日の変化(1970年2月4~7日)

に比例した剪断力が流氷に働らく。それゆえ最大剪断歪と風速とのあいだに何らかの関係があることを期待したが、そのような関係は見出されなかった。また面積変化率と風との関係についても同様であったが、これは観測期間中風速がもともと小さかったことと用いた風速が現場のそれではなかったことによるのかもしれない。

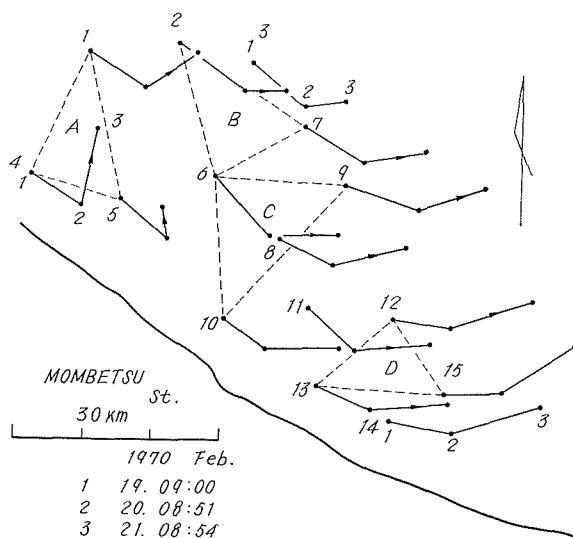
1970年2月19日の流氷状況は第6図のようであり比較的大きな氷湖が点在していた。流氷の上に図に示したような15個の点をえらび、それらの1日後および2日後の位置を示したのが第7図である。この期間の風は第8図に示したように陸地から海に向かって吹いていたが、第1日目は風速が弱かったので流氷はすでにのべた沿岸南下流に主に支配されてほぼ南東方向に移動した。第2日目には風が強くなったので風の支配をより大きく受けて流向が東乃至北東方向に転じた。

第7図に示したように流氷上にA~Dの4個の三角形を画き、すでに述べたのと同じ方法を用いて流氷の歪を求めてその結果を第2表に示した。第8図には第5図と同様に歪主軸、主歪、面積変化率と陸上での風向・風速を示した。

この例では流氷の流速は2月4~7日の場合よりも大きい v/V はほぼ同じ程度の大きさである。第1日目(2月19~20日)には流氷の流向の風下からの偏角が著しく大きい、これはすでにのべたように当日は風があまり強くなく流氷の動きが南東流する海流に大きく支配されたためであると考えられる。第2日目になって風がいくらか強くなったが、偏角の値がまだ可成り大きいのは海流の影響によるものである。主歪の大きさも第1表の例と同じ程度の大きさであるが、三角形Bでは2日間とも氷野が膨脹したが、CとDでは逆に収縮している。第8図でも第5図の場合と同様に、流氷内の各部分によって歪が可成り異なって



第6図 紋別沖の流氷分布(1970年2月19~21日, 半径30哩)



第7図 紋別沖の流氷のなかの基準観測点の移動の軌跡(1970年2月19~21日)

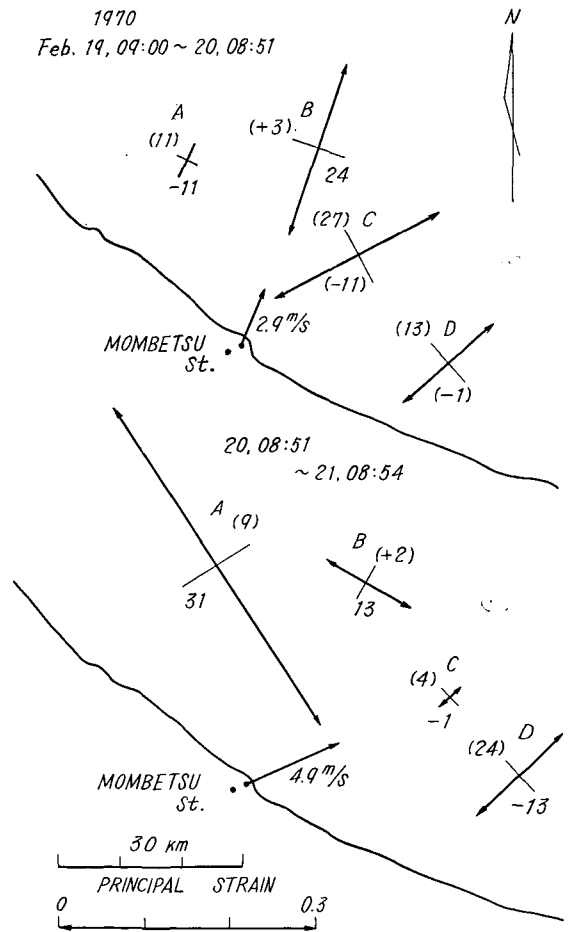
第2表 24時間のあいだに流氷の各部分に生じた歪
A, B, C, Dは第7図に示した各三角形

期 間	三角形	歪主軸	主 歪		面 積 変化率	最 大 剪断歪	回 転	流 速 (km/h)	流 向	v/V	偏角
			ϵ_1	ϵ_2							
1970年 2月19日 09:00 より 2月20日 08:51	A	26°	0	-0.11	-0.11	0.12	2.6°	0.36	124°	0.034	101°
	B	18	0.21	0.03	0.24	0.17	-5	0.44	126	0.042	104
	C	62	0.22	-0.27	-0.11	0.53	-3.9	0.40	118	0.038	94
	D	51	0.14	-0.13	-0.01	0.27	-4.6	0.34	99	0.033	76
	平均					0.28		0.39	117	0.037	94
2月20日 08:51 より 2月21日 08:54	A	147	0.44	-0.09	0.31	0.47	25	0.26	43	0.015	43
	B	121	0.11	0.02	0.13	0.09	-7	0.34	84	0.019	84
	C	44	0.03	-0.04	-0.01	0.07	-6	0.44	78	0.025	78
	D	42	0.14	-0.24	-0.13	0.42	-6	0.49	70	0.028	70
	平均					0.22		0.38	69°	0.022	

いるのが目につく。この例では観測区間が2つしかないことにもよるのであろうが、最大剪断歪と風速は無関係で、面積変化率は風速が大きかった第2日目のほうが第1日目のそれよりも大きい。

以上の2つの例から、24時間のあいだに流氷野に生じた歪は決して一様ではなく、氷野のなかの位置によって異なりまた同じ部分をとってみても日によって可成りちがうことが明らかである。風速が2~5 m/s のときには24時間のあいだに氷野の各部分に生ずる主歪の絶対値が0.2もしくはそれ以上に達することも珍らしくなく、また面積変化率も20%もしくはそれ以上になることがあることがわかった。歪主軸の回転は多くの場合には数度以下であった。また風速と最大剪断歪または面積変化率のあいだにははっきりした関係が見出されなかった。

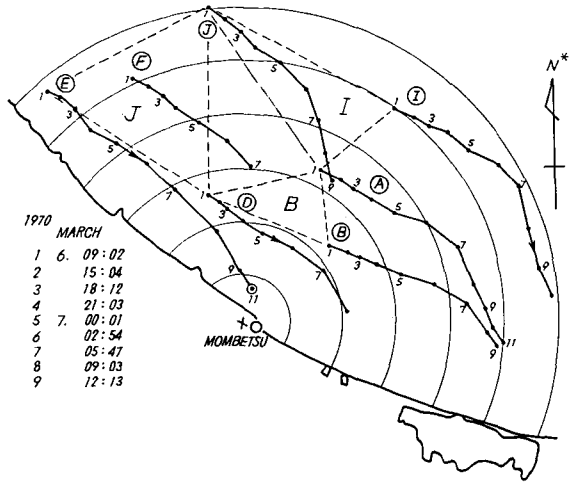
1970年3月6日9時から翌7日18時までのあいだの紋別沖の流氷の動きについてはすでに報告した(文献4の第6, 7及び8図)。このときには当地方としては珍らしく風が強かった。風向は主とし



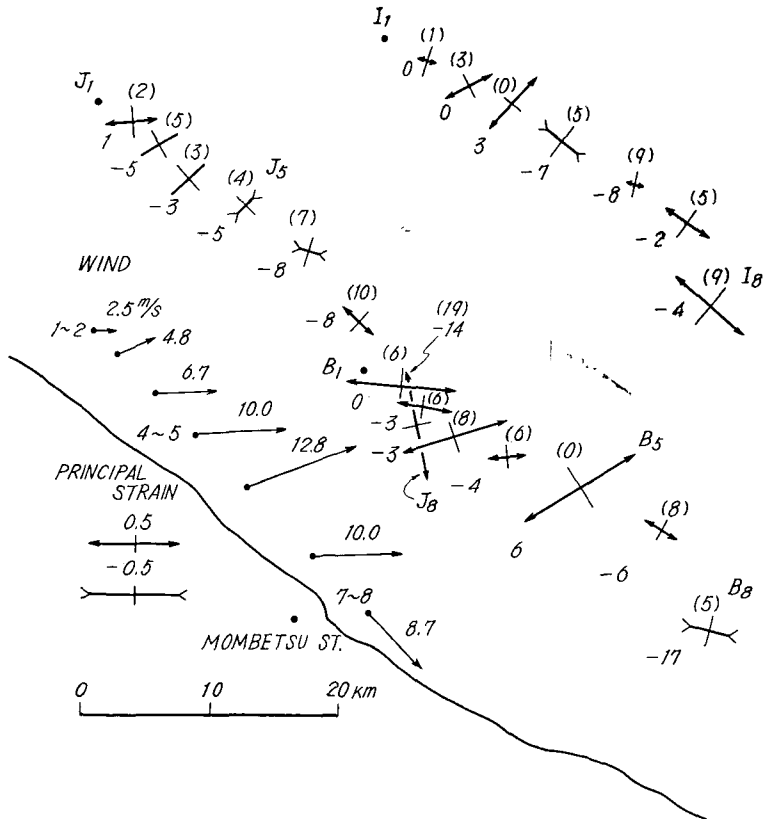
第8図 紋別沖の流氷の各部分に24時間のあいだに生じた変形の歪主軸、主歪および面積変化率の毎日の変化(1970年2月19~21日)

て西よりで、観測開始時にはほぼ 2 m/s であったが 6 日夜半には 12.8 m/s に達し、それ以後観測終了時まで 10 m/s 強の風が吹いていた。強風のため流氷の流速も大きく最大 1.2 ノットにも達し、流向はほぼ南西方向であったことが報告されている。流氷の流速が大きかったので観測はほぼ 3 時間毎に行なわれた。第 9 図はこのときの流氷上の基準観測点のほぼ 3 時間毎の位置を示したものである。

第 9 図中の各点のうちの 6 点を用いて図中に示したように 3 個の三角形を画き、各三角形ごとの 3 点を用いて各 3 時間毎の氷野の歪を求めた。当時の流氷状況を示した文献 4 の第 6 図からもわかるように、三角 JDE の大部分は開水面で他の 2 つの三



第 9 図 紋別沖の流氷のなかの基準観測点の移動の軌跡 (1970 年 3 月 6~7 日)



第 10 図 紋別沖の流氷の各部分に 3 時間のあいだに生じた変形の歪主軸、主歪及び面積変化率の時間的変化 (1970 年 3 月 6~7 日)

角形内およびその周囲は流氷野であった。

求められた氷野の流向・流速と歪は第3表に示したとおりである。第10図は第5, 8図と同じく各歪楕円ごとの歪主軸, 主歪, 面積変化率の時間的变化を示したものである。同時に各観測区間ごとの平均風向・風速も図示した。

流氷の流向は120度前後すなわち海岸線にほぼ平行に南東方向であった。風は主に西寄りであり流向は風下より右に35度ぐらい偏っていた。流速は0.5~2.8 km/hで風速に対する比は約0.06であった。流氷の流速の風速に対する比は風圧係数とよばれ0.05~0.01の値をとると言われている。この例の0.06という値はそれよりやや大きい。これはすでに述べた沿岸に沿って南東に向う海流による効果加わったためである。風圧係数の値はJ, I, Bともに7日午前2

第3表 3時間のあいだに流氷の各部分に生じた歪。J, I, Bは第9図中の各三角形。期間の1~7は第9図中の同数字に対応する(1970年3月6~7日)。風速は10 m/s程度

三角形		歪主軸	主 歪		面積 変化率	最大 剪断歪	回 転	流 速 (km/h)	流 向	v/V	偏角
			ϵ_1	ϵ_2							
J	1~2	84°	0.03	-0.02	0.01	0.05	1.6°	0.44	118°	0.049	28°
	2~3	60	0	-0.05	-0.05	0.06	0.4	1.01	130	0.058	62
	3~4	131	0	-0.03	-0.03	0.04	-0.7	1.35	139	0.056	49
	4~5	134	-0.01	-0.04	-0.05	0.03	1.0	1.70	121	0.047	31
	5~6	107	-0.01	-0.07	-0.08	0.06	-0.5	2.16	126	0.047	58
	6~7	131	0.02	-0.10	-0.08	0.13	-3.6	2.28	140	0.063	50
	7~8	80	0.06	-0.19	-0.14	0.27	-4.4	2.53	146	0.080	11
	平均					0.09		1.64	131°	0.057	41°
I	1~2	111°	0.01	-0.01	0	0.02	0.4°	0.63	120°	0.070	30
	2~3	66	0.03	-0.03	0	0.05	0.6	1.10	128	0.064	61
	3~4	47	0.04	0	0.03	0.04	-2.3	1.26	123	0.052	33
	4~5	130	-0.02	-0.05	-0.07	0.03	0.6	1.70	127	0.047	38
	5~6	104	0.01	-0.09	-0.08	0.10	-2.7	2.47	125	0.054	58
	6~7	127	0.03	-0.05	-0.02	0.09	-4.8	2.24	150	0.062	31
	7~8	133	0.05	-0.09	-0.04	0.15	-0.9	1.80	135	0.057	0
	8~9	159	0.03	-0.19	-0.17	0.24	2.8	2.11	166	0.053	8
平均(1~8)					0.07		1.60	115°	0.058	36	
B	1~2	94°	0.06	-0.06	0	0.12	0.7	0.50	113°	0.059	23°
	2~3	100	0.03	-0.06	-0.03	0.09	0.1	0.78	119	0.045	52
	3~4	73	0.06	-0.08	-0.03	0.14	0.8	1.11	123	0.046	33
	4~5	86	0.02	-0.06	-0.04	0.07	0.6	1.44	119	0.040	29
	5~6	58	0.07	0	0.06	0.07	0.2	2.44	113	0.053	46
	6~7	120	0.02	-0.08	-0.06	0.11	-3.5	2.83	124	0.079	34
	7~8	104	-0.02	-0.15	-0.17	0.15	-4.1	2.25	123	0.072	12
	平均					0.10		1.62	119°	0.056	33°

時54分まではそれぞれほぼ一定であるが、その後急激に大きくなった。ここで急に風が強くなったわけでもないのに流速が大きくなっているのは海域の特異性によるものかあるいは海流の流速の変化かは明らかでない。

第10図において、僅か3時間のあいだにも流氷野の歪が目まぐるしく変化しているのが良くわかる。この例では全体としては氷野が収縮してをり、3時間のあいだの最大の主歪は -0.19 にも達した面積変化率も -0.17 にも達している。前にのべた2例との比較のため、観測開始後24時間のあいだの面積変化率を求めてみるとJ, I, Bのそれぞれについて -0.37 , -0.18 , -0.33 である。前2例よりはいくらか大きな値であるが、これは風速が遙かに高いことによるのではないかとおもわれる。前に指摘したように三角形Jの大部分は流氷で囲まれた開水面であるがその歪は水面が殆んどない部分(三角形B)のそれとほぼ同じ程度である。開水面の変形の特異性はここでは全く見られず、むしろ開水面の少ないIとBのちがいのほうが目につく。氷野は24時間中に著しく収縮したが、収縮が決して単調におこっているものでないことは第3表および第10図から明らかである。風が強かったにも拘わらず、歪主軸の回転は時には3~5度に達したこともあるが多くの場合には2度以下であった。

以上で陸上での風速が数メートル毎秒程度のときの24時間毎の氷野の内部の歪の分布およびその時間的変化と風速が10メートル毎秒程度のときの氷野の歪の3時間毎の変化について述べた。以下に風が極端に弱い場合、 1 m/s 以下の歪について述べる。

1970年は流氷量が多く、3月末にも級別沖は一面の流氷でおおわれていた。3月27日から同29日のあいだは風が極めて弱く、陸上の風は 0.9 m/s 以下であった。このときの流氷の動きについてはすでに文献4で取扱った(文献4の第1, 2, 3図)。流氷の流速は $0.1\sim 0.61$ ノット、平均 0.29 ノット、流向は海岸線に平行で南東方向であり、この流氷の動きは風には全く無関係で専ら海流に起因するものであった。流氷の動きの解析に用いられた氷湖(文献4の第2図)のうちのB, C, Dの3つを用いてほぼ12時間毎の氷野の歪を求めた結果が第4表である。

第4表 12時間のあいだに流氷の各部分に生じた歪(1970年3月27~29日)。風速は 0.9 m/s 以下

期 間 1970年3月	歪主軸	主 歪		面 積 変 化 率	最 大 剪 断 歪	回 転	流 速 (km/h)	流 向
		ϵ_1	ϵ_2					
27日 01:02~12:07	2°	0.03	-0.05	-0.03	0.09	-0.5°	0.29	104°
~23:06	159	0.01	-0.06	-0.05	0.07	-2.3	0.49	123
~28日 12:24	55	0.10	0.01	0.11	0.09	-5.4	0.45	121
~21:43	169	-0.02	-0.04	-0.06	0.03	-0.8	0.30	142
~29日 12:03	114	0.14	0	0.14	0.13	-1.6	0.46	118
平 均					0.08		0.40	122

この例では流氷は海流のみによって動いたので流氷の風圧係数 v/V および流向の風向からの偏角は意味がなく、第4表にはそれらの値を示さなかった。12時間毎の変形について求められた値であることを考慮しても、第4表に示した最大剪断歪、主歪の値はこの報告の例のう

ちではもっとも少ない。歪主軸の向きは目まぐるしく変化しているが、流向・流速はきわめて安定しており、これらの値は沿岸流のそれらを示していると考えられる。

IV. 結果の考察

流氷野の歪は 20~30 km の範囲を考えた場合には均質であると見なし得ることを示した。次いで流氷のなかに互に 20~30 km 離れた 3 点をえらび、それらの相対位置の時間的変化を測定した結果に均質歪の理論を適用して氷野の各部分ごとの歪・流向・流速などを求めた結果について述べた。

その結果、流氷内の各部分ごとに生ずる歪はその部分部分によって著しくちがいが、また同じ部分であっても時間によって変わることがわかった。風が強いときに氷野内の各部分に生ずる歪は風の弱いときよりは大きく且つ複雑になる傾向は見られたが、流氷内の同じ部分に生ずる歪の時間的変化は必ずしも陸上の風速の変化に対応してはいないようである。また風が殆んどなく、流氷が海流のみによって移動していると考えられる場合であっても氷野内部ではたえず変形がおこっている。

流氷は目まぐるしく変形しながら漂流していると言うことができよう。

流氷に働らく外力は主として風と海流—海水の動き—である。この研究にあたっては、風の資料としては陸上のそれしか得られなかったし、また海流の測定もなされていない。このため、氷野の歪を求め、その時間的空間的分布の複雑さを示すにとどまり、その変化の原因を明らかにすることは出来なかった。

しかし、広い海上でしかもただか 20~30 キロメートルの範囲ごとに基本的な風の分布が著しく変わっているとは考えにくいし海流については尚更である。またいっぽう、流氷の厚さ、表面状態などは決して一様ではない^{5),6)}。この報告で示したような流氷の各部分ごとに生ずる歪の著しいちがいの主原因が流氷状態の不均一さである可能性は大きい。

この報告では流氷の歪を一般の均質歪として取扱った。しかし第 1~4 表からわかるように、変形による歪の主軸の回転角はあまり大きくなく、多くの場合には無視できるほどである。それゆえ簡単のためには流氷の変形を純剪断によるものとして扱うこともできよう。

おわりにのぞみ、流氷観測を精力的に行なって下さった流氷研究施設の諸氏ならびに歪の計算に便宜を与えられた藤岡敏夫教授に厚く感謝いたします。なおこの研究に要した費用の一部は文部省科学研究費、特定研究・災害科学、流氷の総合的研究によったことを記しあわせて謝意を表します。

文 献

- 1) 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.
- 2) Bushuyev, A. V., Volkov, N. A., Gudkovich, Z. M., and Loshilov, V. S. 1967 Results of expedition investigations of the drift and dynamics of the ice cover of the Arctic Basin during the spring of 1961. Trudy. Arkticheskii i Antarkticheskii Nauchono-

issledovatel'skii Institute. Leningrad. **257**, p. 26-44. English Translation, AIDJEX Bulletin, Division of Marine Science, University of Washington. No. 3, 1-21.

- 3) Jaeger, J. C. 1956 Elasticity, Fracture and Flow. Methuen & Co. Ltd, 152 pp.
- 4) 田畑忠司・大井正行・石川正雄・福士博樹 1970 レーダーによる流氷の動きの観測 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 301-310.
- 5) 石田 完・小野延雄 1969 流氷状況とレーダー像との対応. 低温科学, 物理篇, **27**, 317-325.
- 6) 石田 完 1971 流氷観測レーダー情報の数値化. 低温科学, 物理篇, **29**, 185-190.

Summary

Figures 2 and 6 are photographs of the Sea Ice Radar scope. The radius of the largest circle seen in the pictures is 30 nautical miles. The white pattern in the upper part of the right side of the pictures represents drift ice. The black areas or spots stand for open waters or polynyas respectively. Such polynyas and some characteristic features of the ice-water boundary can be used as radar targets^{1),2)}.

Figure 2 shows the tracks of movement of 26 of such targets during 3 days. As seen in the picture, the movement of each target is, strictly speaking, slightly different from all others. The preliminary analysis of the deformation of polygons drawn by connecting several targets showed that the deformation of the ice field varies from place to place¹⁾.

As seen in Fig. 1, parallel straight lines obtained by connecting the targets shown in Fig. 3, such as 3-4 and 5-6, remain parallel three days later (3'''-4''' and 5'''-6'''), and straight lines, such as 9-11-14 and so on, also remain straight after deformation (9''-11''-14'', 9'''-11'''-14'''). Therefore the strain of the ice field can, at least in the cases studied here, be considered as homogeneous, if we consider an area of about 20 km in diameter.

If the strain of the ice field is homogeneous, the displacements of all targets can be represented by equation 1. Using the movement of a set of three targets, we can solve the equation and can obtain the strain of the ice field.

Figure 3 shows ten sets of three targets. Examples of the strain ellipses obtained are shown in Fig. 4. Each strain ellipse shows the strain during 24 hours. The distribution of the strains during each 24 hours is shown in Fig. 5 and Table 1. In the figure, the arrows show the directions of the principal axes of strain; their lengths are proportional to the principal strain ϵ_1 . Numbers in brackets are the principal strains ϵ_2 in %, and the numbers not in brackets are the dilatation in %.

Another example of the strain during 24 hours is seen in Fig. 8 and Table 2. Figure 10 and Table 3 show the results obtained from successive measurements every 3 hours, and Table 4 shows the results obtained from measurements taken every 12 hours.

It is obvious from the figures and tables that the strain of the ice field changes with space and time in a remarkable degree.