



Title	氷島の漂流について
Author(s)	楠, 宏; KUSUNOKI, Kou
Citation	低温科学. 物理篇, 21, 159-171
Issue Date	1963-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18002
Type	departmental bulletin paper
File Information	21_p159-171.pdf



氷島の漂流について*

楠 宏

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和37年9月受理)

I.

1950年ころから北氷洋を漂流している氷島が注目され、1952年には氷島 T-3 に観測所が設けられた。氷島 T-1, T-2, T-3 の漂流経路は発見当初から航空機によって追跡された。氷島の厚さは海水に比べて著るしく大きい。たとえば T-3 では約 40 m に達し、このような吃水の深い氷島は風よりも表層海流の作用を多く受けて漂流しているものと考えられる。北氷洋の太平洋側の表層海流についてはまだ調査が不充分である。(ここで太平洋側とは Lomonosov 海底山脈によって2分される北氷洋の西半球に属する海域をいう。その南方の Beaufort, Chukchi 海を経てベーリング海峡より太平洋に通ずるので太平洋側という)。この報告ではまず氷島の漂流経路から北氷洋の太平洋側の表層海流を推定し、1952年から氷島 T-3 で行なわれた観測の資料¹⁾が最近発表されつつあるので、この資料を用いて T-3 の漂流を少しくわしく調査した。まだ T-3 の近年の資料の整理を終えていないので、十分に議論をつくしてはいないが、現在までにえられた結果を述べることにする。

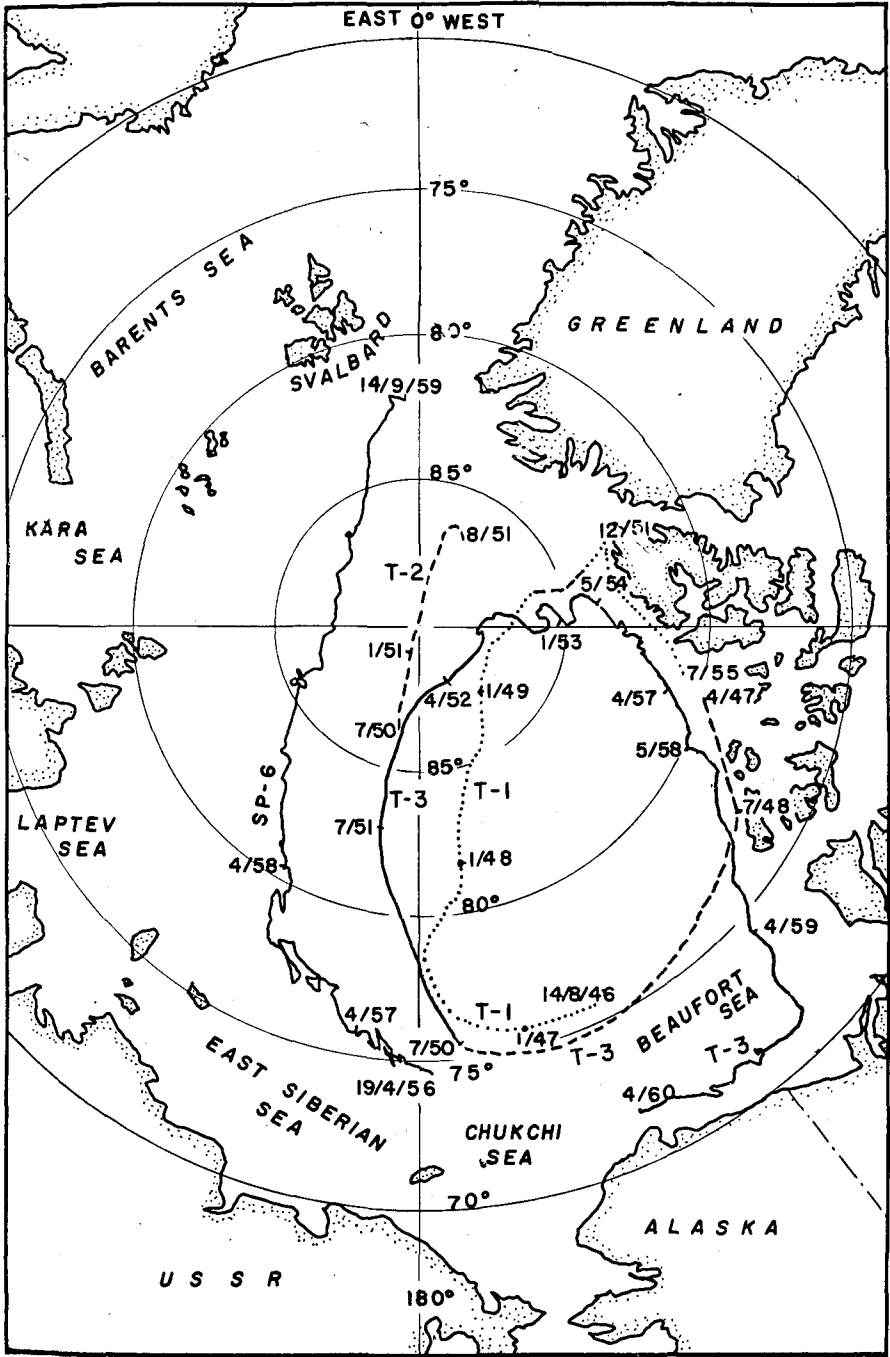
II.

氷島 T-1, T-2, T-3 の漂流速度と流向を求めるために Koenig 等^{2),3)}の報告にある漂流図および、前述の T-3 の資料¹⁾を用いて第1図にしめすような漂流図を作成した。

第1図は簡単のために月日などをかなり省略してある。なお、ソビエトの漂流ステーション“北極6号”も氷厚は最大20m くらいの氷島であって、その漂流経路も加えておいた。

第1図からわかるように、北氷洋ではベーリング海峡の北方域から子午線方向に、極点を通ってグリーンランド海へ向う流れがあることがわかる。これは“Fram”, “Maud”, “Sedov”などの船の漂流にも見られた通りである。氷島 T-1 はカナダ北極群島沖合にあり、T-2 は1954年にグリーンランド東岸沖合で見られたとされているが、第1図にしめした1951年8月以降の漂流はよく分っていない。T-3 は1960年5月から1962年2月頃まで第1図に示した地点に底着していたが、その後北方へ漂流している。しかし氷島は分裂してかなり小さくなった。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第629号



第1図 氷島の漂流経路図

T-1 と T-3 は第1図で示したように時計廻りの運動をしていることがわかる。T-3 は 1947 年から約 10 年かかって北氷洋の太平洋側を一周しており、この間の平均流速を求めると 1.3 cm/sec (410 km/year) となる。結局 180° 子午線附近からユーラシア大陸にかけては、ベーリング海峡からグリーンランド海に向う流れがあり、太平洋側には高気圧性の環流が存在していることになる。

北氷洋の太平洋側にある環流は Beaufort eddy といわれ、その流速を推定する意味で第1図に示した氷島 T-1, T-2, T-3 について約 3 カ月間隔の平均流速を求めて第1表にしめした。第1表には流向も含めておいた。

第1表 氷島の漂流速度と流向

漂 流 期 間				流 速 (cm/sec)	流 向 (°)	漂 流 期 間				流 速 (cm/sec)	流 向 (°)		
[氷 島 T - 1]						[氷 島 T - 2]							
Aug	1946	-	Jan	1947	1.4	260	July	-	Oct	1950	1.2	13	
	Jan	-	April	1947	2.9	292	Oct	1950	-	Jan	1951	2.6	355
	April	-	July	1947	4.1	350		Jan	-	April	1951	4.5	359
	July	-	Oct	1947	2.7	31		April	-	July	1951	0.6	215
Oct	1947	-	Jan	1948	1.1	12		July	-	Aug	1951	1.3	265
	Jan	-	April	1948	1.6	2	[氷 島 T - 3]						
	April	-	July	1948	2.5	24	April	1947	-	July	1948	1.2	240
	July	-	Oct	1948	1.2	35	July	1948	-	July	1950	2.4	288
Oct	1948	-	Jan	1949	3.6	27		July	-	Oct	1950	2.7	328
	Jan	-	April	1949	2.8	67	Oct	1950	-	Jan	1951	1.6	343
	April	-	July	1949	1.1	121		Jan	-	April	1951	2.5	335
	July	-	Oct	1949	1.4	119		April	-	July	1951	5.2	344
Oct	1949	-	Aug	1951	0.5	182		July	-	Dec	1951	3.6	359
Aug	1951	-	Dec	1951	0.6	135							
Dec	1951	-	April	1952	0.6	298							

氷島 T-1 については 1946 年 8 月から 1952 年 4 月までの漂流期間について平均流速を求めてある。飛行機観測による位置の測定が必ずしも頻繁に行なわれていないので、第1表の数値も正確に 3 カ月毎のものではない。1949 年からの漂流速度は 0.5~0.6 cm/sec となって著るしく小さい。1951 年末には Ellesmere 島の沖合に達し、さらにカナダ北極群島沿いに南下している。この海域には多冬極氷が発達していることが知られており、氷量も大で、従って漂流も著るしく制約されたものと思われる。もとよりこの海域の海流が小さいことも、第1表に示したような小さな流速となったものであろう。

氷島 T-2, T-3 においても漂流速度は数 cm/sec の程度であり、流向は T-1 と同様に時計廻りをしめしている。第1表の結果からは場所による流速や流向の差異については、年による

風系の変化もあるので、あまりはつきりしない。少なくとも第1図と第1表からいえることは氷島は Beaufort eddy の外縁部を数 cm/sec の速さで時計廻りに漂流しているということである。氷島が定常海流で流れ、さらに風による漂流も加わっているとすれば、ここでえられた数 cm/sec の流速から定常海流と風のみによる漂流とを分離する必要がある。この分離については後で取扱うことにする。

III.

氷島 T-3 の漂流速度はすでに第1表において1951年末までのものを示してある。1952年から1955年まで観測所が設けられ、天体測量による位置の測定、気象観測などが行なわれた。1955年から1957年までは観測が中止され、IGY の観測のため1957年3月に再開、1961年まで続けられた。1960年春に水深40mの大陸棚に底着し、1962年春まで70°51.7'N, 160°20'Wの地点に留まっていた。まずここで1952年以降の平均漂流速度を求めて第2表にしめしておく。

第2表 氷島 T-3 の 漂 流 速 度

漂 流 期 間	流 速		漂 流 期 間	流 速	
	cm/sec	sea miles/day		cm/sec	sea miles/day
(A)			(C) Blizzard の時の漂流		
			1959		
Apr 1952 - April 1953	1.4	0.66	0430* Nov 14 - 0730 Nov 17	14	6.7
April 1953 - April 1954	0.47	0.22	0730 Nov 17 - 0400 Nov 19	27	12.5
May 1954 - May 1955	0.45	0.21	0615 Nov 27 - 0900 Dec 3	13	5.9
May 1955 - Sept 1955	1.5	0.71	0430 Dec 4 - 0215 Dec 11	6.7	3.1
April 1957 - April 1959	1.7	0.8	1960		
(B)			0415 Jan 20 - 0630 Jan 25	8.2	3.8
June 9, 1959 - Sept 10, 1959	2.8	1.3	0630 Jan 25 - 0730 Jan 30	6.2	2.9
Sept 20, 1959 - Nov 20, 1959	5.4	2.5	0730 Jan 30 - 0515 Feb 5	10	4.8
Nov 20, 1959 - Feb 10, 1960	3.2	1.5	0515 Feb 5 - 0615 Feb 7	31	14.6
Feb 10, 1960 - May 4, 1960	4.5	2.1	0615 Feb 7 - 0455 Feb 9	39	18.0
(* 時間は GMT)			0715 Feb 18 - 0500 Feb 20	35	16.3
			0500 Feb 20 - 0530 Feb 22	22	10.3
			0900 May 22 - 0845 May 24	23	10.8

第2表(A)は1952年4月から1959年4月までのほぼ1年毎の平均流速である。流速は0.4~1.7 cm/sec で比較的小さい。1955年9月21日の観測中止のときには82°19'N, 98°10'Wの地点にあり、IGY 観測の始まった1957年3月22日には82°49'N, 97°10'Wにあった。この間の漂流距離は東北東へ32哩で、0.01 cm/sec の平均流速となる。もとよりこの1年半のあい

だに氷島は南北へかなりの移動をしたものと考えられる。1957年以降はカナダ北極群島沖合からアラスカ沖合にかけて南下西流した。

第2表(B)には1959年から1960年にかけての Beaufort 海南部での漂流をしめしておいた。1957年から1959年にかけての漂流(第2表(A)の最下行)に比べると1959~1960年の漂流は早い。筆者等⁹⁾が1950年以降の海洋観測資料で作成したこの海域の力学的高低図によると、Beaufort 海南部の海流は6~7 cm/sec に達し、とくにアラスカ沖合で大きい。これは氷島の漂流速度においても第2表(B)にしめしたような同様の傾向が見られる。

1959~1960年の冬期間に氷島 T-3 はしばしばブリザードにみまわれ、この時には流速は40 cm/sec にも達した。このようなブリザードの時の異常に早い漂流の例を第2表(C)にしめしておいた。風の資料を入手し、これらの異常漂流の例の解析を始めたいと考えている。第2表(C)の漂流期間は天体観測で位置が決定された日時で決められてしまっている。ブリザードの時には視界が悪く天体観測はまずできない。したがって異常漂流の始まりと終りの位置くらいしか分らぬわけである。このため興味を持たれる非定常過程の分析はかなりむずかしい。

IV.

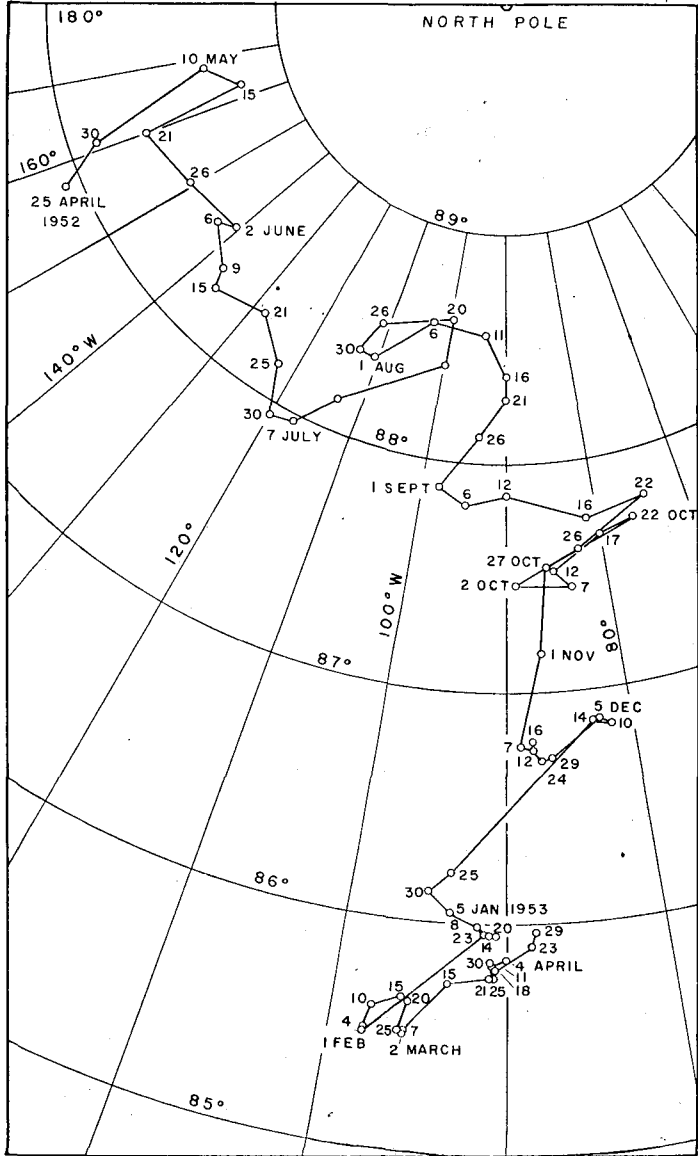
氷島 T-3 の漂流については Browne と Crary⁹⁾ が1952年4月から1954年5月までの期間について調べた。この間の定常漂流と思われる3~5日間をとり、約75例について検討した。その結果86°N以北の海域での氷島の漂流はそれ以南に比べてやや早いことが指摘された。また氷島の漂流は氷島上で観測された風よりは、広い海域(約2万 km²の範囲)の風に支配されるらしいと述べている。従来氷の風による漂流の理論式を用い、氷島 T-3 における風と漂流速度または偏角との関係について Semi-empirical な式を求めているが、実際のばらつきをうまく説明することにあまり成功していない。

この報告は氷島 T-3 の1952年以降の漂流について検討する仕事のごく初めにえられた結果をのべるものである。したがって Browne と Crary の結果と同じような点も多いが、2,3の異なった点を指摘しておきたい。

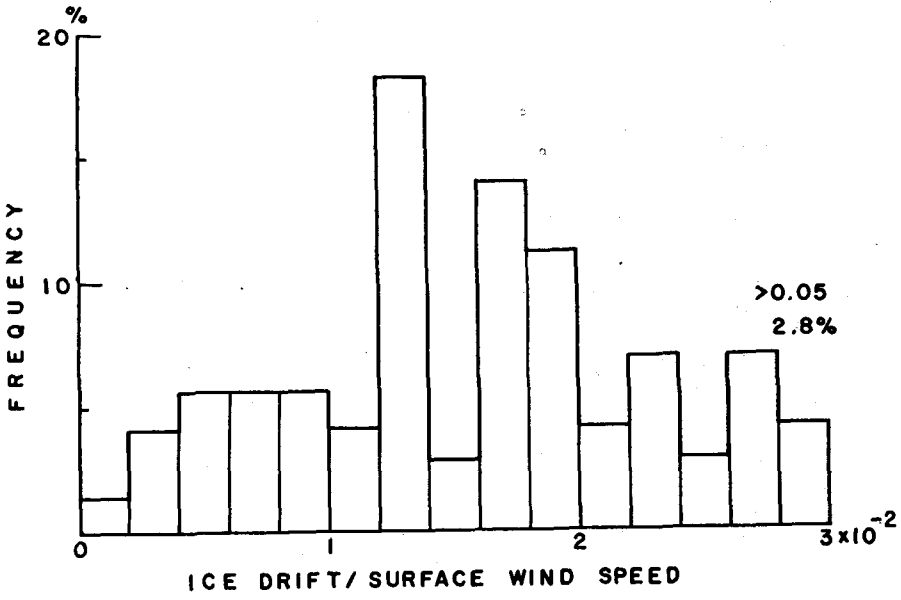
まず1952年4月から1953年4月までの T-3 の位置から漂流速度と流向を求めてみる。天体観測によって約70の漂流期間がえられる。この時期の氷島 T-3 の漂流経路を第2図にしめしておく。

第2図がしめすように経路は複雑であるが、1952年10月ころまでは東方へ漂流し、それ以降はゆっくり南下している。第2図にしめした期間について氷島で観測した風速(高さ10 m)と漂流速度との比である風力係数(wind factor)を求める。さらに風下方向からの偏角を求めそれらの頻度分布を作り第3図にしめした。この場合、風速と風向は漂流期間中の6時間毎の観測値をベクトル合成して平均値を求めてある。

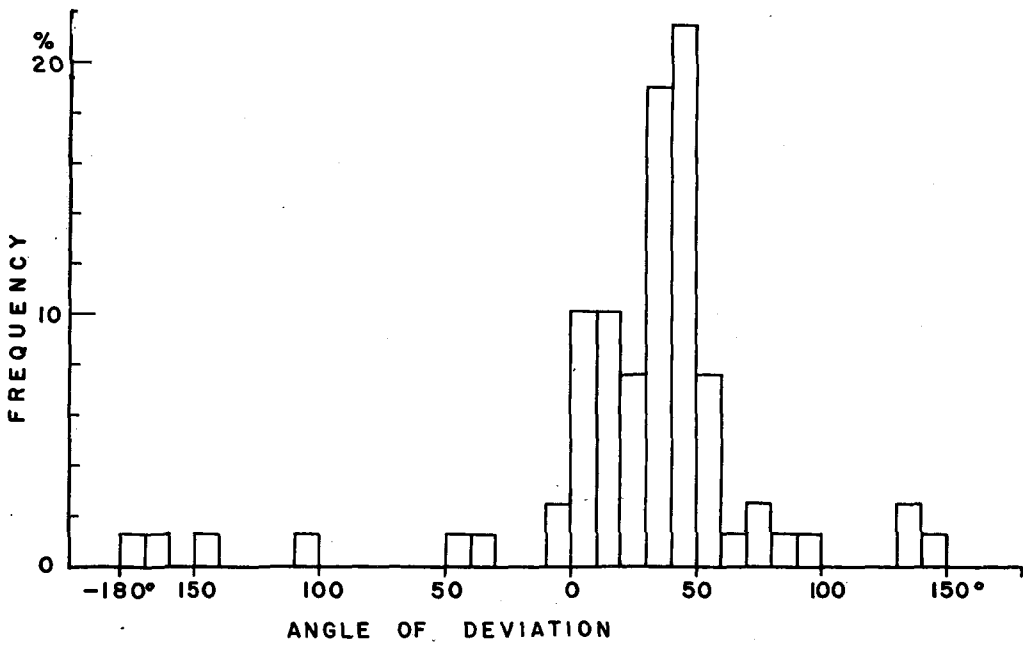
第3図がしめすように風力係数および偏角はかなりの範囲にわたっているが、風力係数は0.013~0.02の間にあるものが多く、偏角は右へ約40°となっている。従来北氷洋での観測結果



第 2 図 氷島 T-3 の漂流経路 (1952 年 4 月 25 日—1953 年 4 月 29 日)

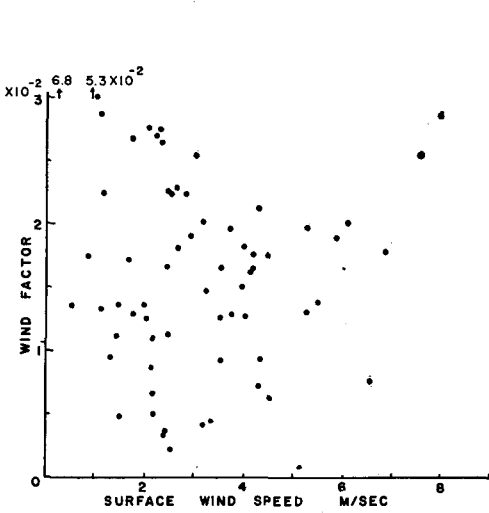


第3図(A) 風力係数の頻度分布

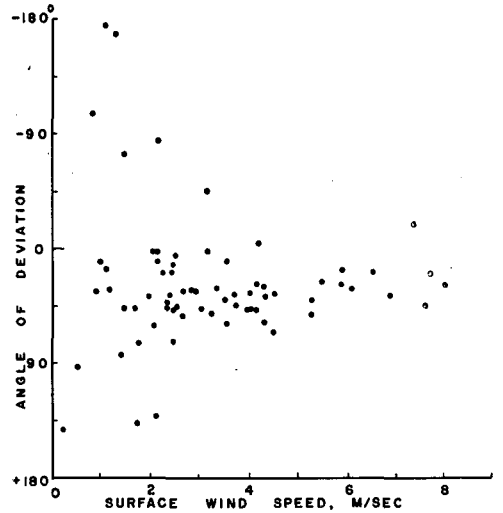


第3図(B) 偏角の頻度分布 (+: 右偏, -: 左偏)

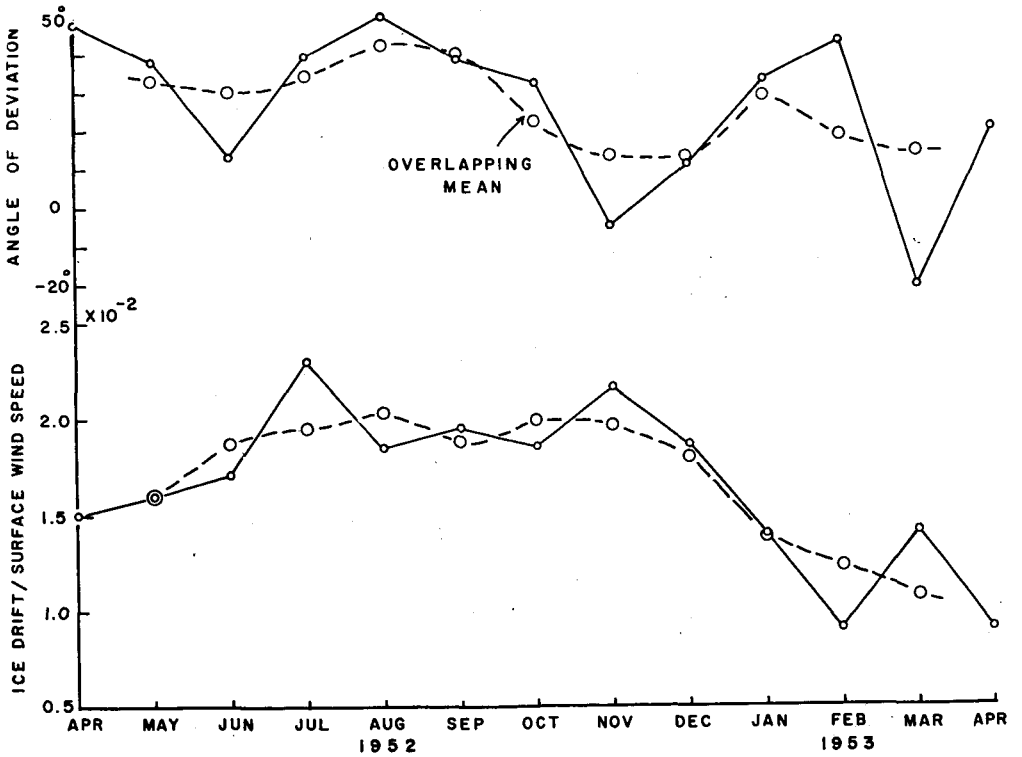
と大差はない。さらに風力係数と偏角の風速との関係をしめしたものが第4図である。



第4図(A) 風力係数と風速との関係



第4図(B) 偏角と風速との関係



第5図 氷島 T-3 の風力係数および偏角の季節的变化

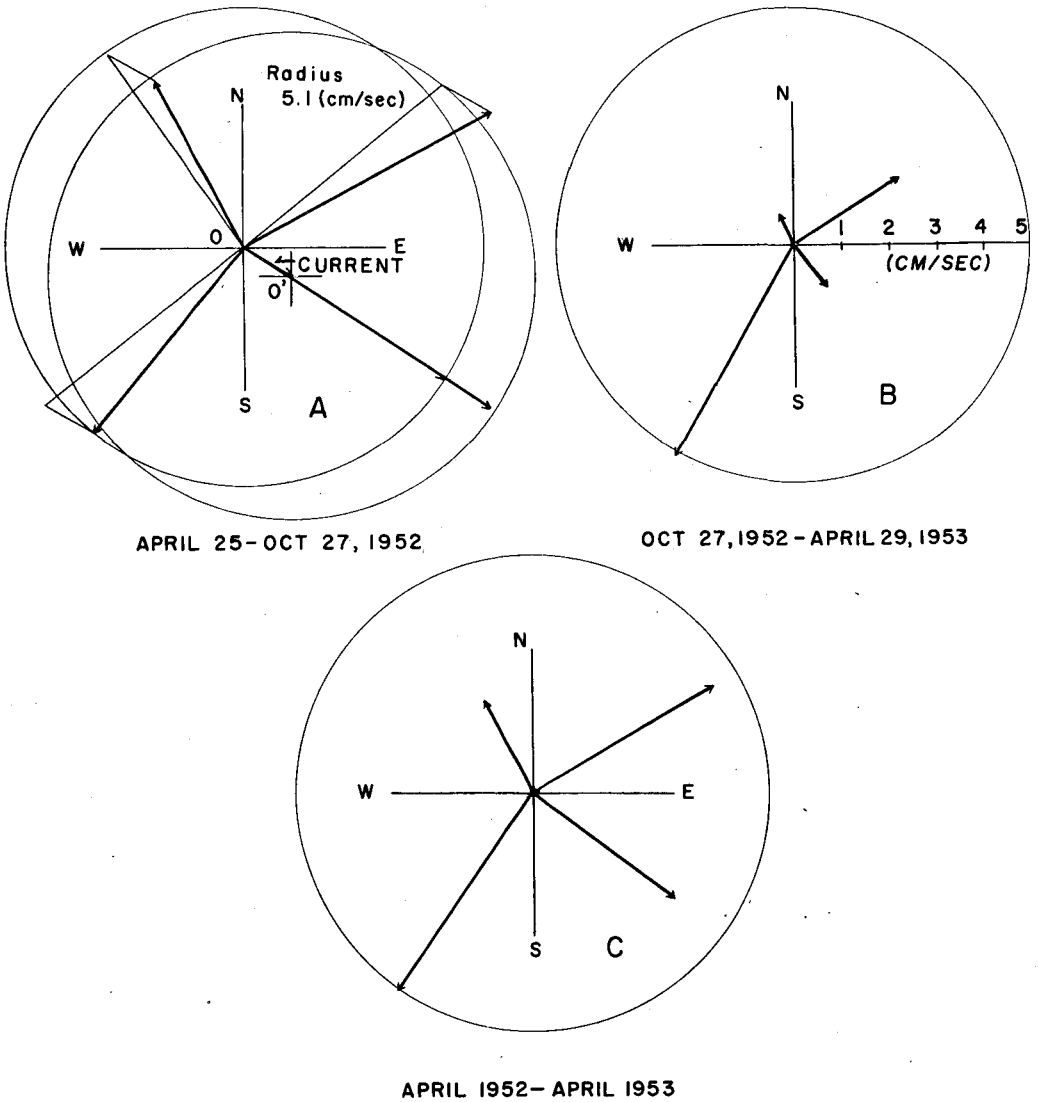
従来の研究によれば風速とともに風力係数は増加し、偏角は減少することが理論的にいわれている。とくに風速5~6 m/sec以上になると風力係数は0.02~0.03となり、偏角も35~45°の一定値になる。しかし第4図の例では風速が8 m/sec以上の場合がないので風速との関係ははっきりしない。このような点のばらつきの原因として、氷島の位置の観測誤差、周囲の海水の圧縮と疎化(いわゆる internal ice stress)、定常海流、非定常漂流などが考えられる。もとより氷島の漂流と風とを考えるばあいには風による接線応力が問題になるわけで、風速もただ1点だけで測った値では詳しい議論ができない。氷島の漂流距離は数哩の程度の場合が多く、天文航法による位置の精度を0.5哩と小さな見積りをして、距離の誤差、したがって流速はかなりの誤差をもつ。この報告では非定常漂流と思われる場合もいっしょに取扱っているが、風のベクトル平均を求めたときの各々の例をみると少なくとも半数以上は定常漂流といって差支えないであろう。もとより風系はたえず変化しているから、厳密な意味での定常漂流は現実にはほとんど起らない。氷島の周囲の海水の圧縮と疎化については直接観測がないのははっきりしない。ここで注意したいのは風力係数および偏角の季節的变化と定常漂流についてである。

氷島 T-3 の風力係数と偏角の月平均値をもとめてこれを第5図にしめた。ここには3か月ごとの移動平均をとり各点を破線で貫ねてある。少なくとも1952~1953年にかけては夏期に風力係数が大きくなっている。これに比べると偏角ではあまりはっきりしていないが多少夏に大きいともいえよう。夏期には氷島の周囲の海水が融け氷量が減少し移動しやすくなったためと考えてよいであろう。Browne と Crary は86°N以北ではこのような季節的变化は指摘していない。風力係数と偏角の季節的变化についてはすでに海氷について Sverdrup⁶⁾ や Gordienko⁷⁾ が報告しており、夏期の融解、冬期の凍結に結びつけて説明している。

第3表 合成風の風下方向別の漂流(氷島 T-3, 1952-1953)

期 間	風下の方向	平均風速 (m/sec)	流 速 (cm/sec)	偏 角 (°)	風力係数 ($\times 10^{-2}$)
(A) April 25, 1952~ Oct. 27, 1952	N	3.08	5.93	61.5	1.93
	E	3.49	6.20	33	1.78
	S	3.14	5.04	39.5	1.60
	W	2.30	2.96	62	1.29
(B) Oct 27, 1952~ April 29, 1953	N	2.77	2.62	57	0.95
	E	2.15	1.08	53	0.50
	S	4.20	5.10	30	1.21
	W	1.17	0.65	63.5	0.56
(C) April 25, 1952~ April 29, 1953	N	2.93	4.42	60	1.51
	E	2.73	3.48	36.5	1.27
	S	3.69	5.05	35	1.37
	W	1.92	2.20	62.5	1.15

定常海流が存在していれば漂流速度と偏角にきいてくる。氷島 T-3 の漂流方向は第 2 図にしめしたように 87.5°N を境にして異なっているように見えることを既にのべた。そこで 1952 年 10 月末を境として漂流期間を 2 分する。まず風向 (風下の方向) を 4 方位に分け、たとえば風向 $\text{N}(0^\circ)$ の級には 315° から 45° の間の風をすべて含め、風速のベクトル合成をして平均値を求める。したがって例数が少なければ合成風の風向は $\text{N}(0^\circ)$, $\text{E}(90^\circ)$, $\text{S}(180^\circ)$, $\text{W}(270^\circ)$ に正確に一致しないこともある。さらにこれら 4 方位に属する平均漂流速度と流向をベクトル



第 6 図 氷島 T-3 の漂流と風向との関係

的に求める。このようにして主風向別に求めた漂流速度、偏角、風力係数を第3表にしめておく。

第3表には全漂流期間についての値も含めておいた。1952年10月末までの前半期についてみると、流速したがって風力係数も大きくなっていることがわかる。後半期は第2図もしめすように流速はS成分を除くとかなり小さい。ここで第3表の3つの漂流について、同一原点から主風向(4方位)に対する漂流ベクトルを極座標紙に描いてみると第6図にしめすような結果がえられる。

第6図(A)の太い実線は第3表(A)にしめた漂流であって、原点Oを中心として半径5.1 cm/secの流速に相当する円を描いてある。もし定常海流がなく合成風速が各方位で全く等しければ流速と偏角は方位によって差がないはずである。第6図(A)ではW方向の流速は小さく(2.96 cm/sec), E方向で最大(6.20 cm/sec)となっている。これらの漂流ベクトルの先端の4点を含むような円が求まりその中心をO'とすると、OO'は定常海流(流速1.2 cm/sec, 流向120°)を現わすことになる。すなわちOを中心とする半径5.1 cm/secの円は風のみによる漂流であり、これに定常海流OO'が加わって実際の漂流を与えたものといえる。第6図(B)では漂流ベクトルの先端を通る円を描くことができない、つまり定常海流は存在していないといえる。ただ第6図(B)では例数が方位によって差があり(たとえばWは3, 他は9~11), 方位によって平均風速に大きな差ができていることを指摘しておく。風力係数が風速の函数であることを前に述べたが、このことから、第6図のような関係を求めるためには同じ風速について比較しなければならないことは明らかである。幸いに、第6図(A)では風速は3 m/sec前後で方位による差は見られない。実際には同じ風速で4方位に分かれた例数を得ることはむずかしいので、まず第1段階として第3表あるいは第6図のような解析を試みたわけである。第6図(C)は1952-1953年の全期間に対する風向と漂流との関係で、第6図(A)に見られるような定常海流の存在は明らかでない。しいていうならば南東方向への定常海流があるようであるがその大きさはごく僅かであろう。前に述べた Beaufort eddy の北方外縁部の流速(傾度流)は1.5 cm/secの程度である。とくに風速の小さなときには海流のために風力係数は大きくなる。第4図(A)における風速の小さな場合の風力係数のばらつきに対しては傾度流を考慮する必要がある。もとより傾度流は季節または経年的変化があるものと考えられ、時にはかなり早くなるであろう。

第6図(A)にしめたようにほぼ87.5°N以北においては1.2 cm/secの定常海流が見出され、力学計算(600 m基準)による海流も1.5 cm/secの程度である。87.5°N以南の海域では海流の存在ははっきりしないが、第2図の1952年10月27日と1953年4月29日における氷島の位置から漂流速度は1.1 cm/sec, 流向は182°となる。この漂流域はEllesmere島に近くその影響で流速が遅くなるものと考え、1952年から1953年にかけての氷島T-3の漂流域では1~2 cm/secの海流が存在していたと考えられる。この点でBrowneとCraryの得た定常海流は存在していないという結論と異なっている。

V.

海氷の定常漂流については Shuleykin⁸⁾, Rossby と Montgomery⁹⁾ などの理論的研究がある。海面または氷の表面に及ぼす風の応力と風速との関係がまず問題になるのであって、大気の安定度が中性の場合だけが取扱われているようである。氷島 T-3 についてもすでに述べたように Browne と Crary の実験式はあるけれども、風速と風力係数または偏角との関係のばらつき(第4図(A),(B)参照)はうまく説明されていない。T-3 では風の垂直分布の測がなされていないので風の応力についての検討は困難であるけれども、1957年以降の漂流を整理することによって上述のばらつきの原因(定常海流、氷の圧縮と疎化など)の解析、さらに従来の理論の検討に寄与いたしたい。最近1959年以降の T-3 における気象観測資料を入手したので、これらの検討に着手している。

文 献

- 1) Bushnell, Vivian Ed. 1959 Scientific Studies at Fletcher's Ice Island, T-3 (1952-1955). Geophys. Res. Pap., No. 63, Vol. 1(1959), Vol. 2(1959), Vol. 3(1960).
- 2) Koenig, L. S. 1951 Ice islands in the Arctic Ocean. Proc. 2nd Alaskan Sci. Conf., 263-270.
- 3) Koenig, L. S., Greenaway, K. R., Moira Dunbar, and Hattersley-Smith, G. 1952 Arctic ice islands. Arctic, **5**, 66-103.
- 4) Kusunoki, K., Muguruma, J. and Higuchi, K. 1962 Oceanographic observations at Fletcher's Ice Island (T-3) in the Arctic Ocean in 1959-1960. Arctic Inst. North Amer., Res. Pap., No. 22, 1-110.
- 5) Browne, I. M. and Crary, A. P. 1958 The movement of ice in the Arctic Ocean. Proc. Conf. on Arctic Sea Ice, Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council Publ. 598, 191-208.
- 6) Sverdrup, H. U. 1928 The wind-drift of the ice on the north Siberian Shelf. The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-1929, Sci. Res., **4**, 1-46.
- 7) Gordienko, P. 1958 Arctic ice drift. Proc. Conf. on Arctic Sea Ice, Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council Publ. 598, 210-220.
- 8) Shuleykin, V. V. 1938 The drift of ice-fields. Doklady Akad. Nauk SSSR, **19**, 589-594.
- 9) Rossby, C. G. and Montgomery, R. B. 1935 The layer of frictional influence in wind and ocean currents. Pap. in Phys. Ocean. and Meteorol., **3**, 1-100.

Résumé

In analyzing data on the drift of ice islands T-1, T-2, and T-3, it was found that the average drift speed was in the range of 0.5 to 4.5 cm/sec during three month's periods within one to five years previous to 1951 or 1952. The islands drifted clockwise along the periphery of the large anticyclonic eddy (the Beaufort Eddy) in the Pacific side of the Arctic Ocean. Drift angles, drift speeds, and wind factors effecting the drift of T-3 were obtained for 69 periods (from 2 to 10 days) between April 25, 1952 and April 29, 1953. A change within a year in the wind factor was noted, being 0.02 in summer and 0.01 in

winter, while change was less pronounced in the angle of deviation. High values of wind factor in the summer months are attributable to the loosely packed sea ice surrounding the ice island. Plots of wind factors and angle of deviation in relation to the surface wind speed exhibited considerable scatter. Evidence from the present analysis of the drift of T-3 suggests that a permanent current of about 1.2 cm/sec (direction 120°) exists in the region north of 87.5°N , between 170°W and 70°W .