北部日本海（津軽海峡西沖周辺海域）の夏季の海況について（第2報）*

赤 川 正 臣**

On the Oceanographical Conditions of the North Japan Sea (West of the Tsugaru-Straits) in Summer (Part 2)

By

Masaomi AKAGAWA

Abstract: In this paper, the current system of the North Japan Sea (adjacent to the Tsugaru-Straits) is discussed. It was found that the currents are much influenced by the bottom topography and that in order to study the current system of the Japan Sea, drift bottle observations taken especially in the season from spring to summer when monsoon does not prevail are very useful.

§ 1. 緒 言

第1報では夏季津軽海峡西沖周辺海域に現われる水塊の分布、特性等を解析したが、本報ではその海流系について地形的影響の点から論じ又海流瓶投入結果について報告する。

§ 2. 海 流 系

一般に日本海の流れは密度流としての性質を持ち力学計算による海流速がよく実測と合うとされている。各要素の分布状態をみると 50 m 層位迄はそれらの間に少々齟齬を欠くが 50 m 以深となると平行ソレノイド場が形成されていて Bjerknes の環流理論が用いられる。今表層の擾乱として吹走流を考えた場合、Ekman の所謂摩擦深度 D は次式で与えられている。

$$D = \pi \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}}$$

μ : 渦動粘性係数, ρ : 海水密度, ω : 地球自転の角速度, φ : その場所の緯度

観測結果から $D \approx 25$ m, $\rho = 1.024$, $\varphi = 41^\circ 30'N$ とすると $\mu \approx 30$ と計算されるが、当季日本海としては顕著な定常風はなく大体S寄りの風力3位で表層流速は密度流速に僅か加速されるものと思わ

れる。

日本海においては各種要素の分布から 600 m 層位を無流層と考えると十分なのでこれを基準面とすれば力学計算から各層の流速が求められる。これより計算された表面流速の大体の値を示すと、大体日本本土に沿って北上してくる対馬暖流は権現崎沖で収斂するため流速はこの辺りで大きく Tsc 流域で 1.0 knot 内外、TSB 流域は 1.5 knot から 2 knot 位に達するが、それが津軽海峡西口沖の線を越えると津軽海峡流入分枝、北上分枝、西方への曲流分枝等に分れて発散場になつてしまうので流速が急減する結果となり北上分枝は 0.5 knot 内外で TSB 流域で 0.8 knot 位となる。又権現崎沖10哩位から海峡にかけてはC水塊との密度差と海峡に収斂流となるために非常に強勢されて 2.0 knot 以上に達する。沖合のリマン寒流域は 0.5 knot 以下と計算される。

尙実際に観測船の偏流から推して相当の流れと推察されるのに、力学計算ではそれに相応する値が得られないことがこの海域で経験されるが、この海域の流れは一般に単調でなく大小の環流を伴いがちで一方力学計算は二点間の平均速度を算出するものであるから、観測点の採り方によつては異つた流れを平均してしまつたり流れの方向に対する補正を曖昧なものにしてしまう恐れがあるわけである。又後記の様にこの海域では屢々海底地

* 1954年11月28日受理

** 函館海洋气象台, Hakodate Marine Observatory

形の影響をうけて大島、小島を時計式環流をなして迂廻するが、その様に流路が曲率をもっている場合には力学計算において曲率の影響を考えることも必要である。

摩擦のない水平運動の海流の式は定常で等圧線が同心円の曲率をもつものとする傾度風式にならない

$$\frac{v_{\theta}^2}{\lambda r} + v_{\theta} = \pm \frac{1}{\rho \lambda} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (1.1)$$

但し $\lambda = 2\omega \sin \varphi$, r : 曲率半径

今時計式環流を考えると

$$v_{\theta} = \frac{1}{\rho \lambda} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{v_{\theta}^2}{\lambda r} \quad (1.2)$$

となる。

この式で圧力傾度 $\partial p / \partial r$ の代りに等位面傾斜 $\partial D / \partial r$ を用いると

$$dp = \rho dD$$

より

$$\frac{1}{\rho \lambda} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial D}{\partial r} = v \quad (1.3)$$

今二点間の距離が L でその dynamic meter の差を ΔD とすると

$$v = \frac{\Delta D}{2\omega \sin \varphi \cdot L}$$

となり、これは力量計算に求められる流速である。

結局 (1.2) 式は (1.3) 式より

$$v_{\theta} = v + \frac{v_{\theta}^2}{\lambda \cdot r} \quad (1.4)$$

となる。即ち等圧線が曲率をもつ場合には実際流速 v_{θ} は力学計算による流速 v より $v_{\theta}^2 / \lambda \cdot r$ だけ大きくなるわけである。当海区においては海流は等圧線に平行と見做され又定常的と仮定すると此の条件に相当するものである。 $v_{\theta}^2 / \lambda \cdot r$ がどの位のものになるかを当ててみると、この海域での観測結果では v は船の偏流などから 1~2 knot で、 r はその定め方が問題となるが各種分布図から 10~20 哩と考えられ φ を $41^{\circ}30'N$ とすると計算値は (Table 1) の様になる。即ち実際の海流速が相当に大きい又曲率半径が相当に小さくなると力学計算より求められる流速との差は無視されなくなる。

次に流向であるが日本海においては平行ソレノイド場が形成されているので各種要素の分布に

Table 1. $v_{\theta}^2 / \lambda \cdot r$ (knot)

Radius of curvature (Mile)	Velocity (Knot)			
	$v_{\theta} = 0.5$	$v_{\theta} = 1.0$	$v_{\theta} = 1.5$	$v_{\theta} = 2.0$
$r=10$	0.07	0.29	0.65	1.16
$r=20$	0.04	0.15	0.32	0.58

おける等量線は流線を示すことになるし、又一般に等密度面 (等 σ_t 面) は略等エントロピー面となるのでこの面上の各種等量線も流線を示すわけである。(Figs. 1, 2)

Fig. 1. Dynamic topographical chart [0 m-50 m, unit = (D-48) $\times 10^4$] May 1950.

北上分枝は大島—小島間を抜け奥尻海峡に入る Tsc 水塊、曲流分枝は大島を迂廻右旋流をなし奥尻島で二分されて北上してゆくもので水塊では主に TSB 水塊である。水塊の分布は季節的に変動があるので水塊的にみた流れの分岐する模様も季節変化があり秋季からは TSB 水塊が本土側に寄ってきて Tsc 水塊は弱勢となるので海峡に流入するのは TSB 水塊が主であるが、地形的には矢張り同様な影響をうけるものである。津軽海峡への流入については、その主流は北海道寄りで白神岬辺りに突入する様に流れ込むのが一般的で、又その流入角度は深さとともに減じて北上成分が大きくなっている。

中層以深は略等深線に並行な流れとなつている。Ekman の傾斜流の理論によつても緯度が高くなると海底地形の影響が非常に利いてきて深層流は概ね等深線に並行になるとされているが、そのことはこの海域にもよく適合されて大島—小島間の鞍状部を抜ける北上流、大島を迂廻する右旋流、深層における江差沖から奥尻島にかけての左

Fig. 3. Distribution of σ_t at the 500 m layer. Aug. 1953.

Fig. 4. Bathymetric chart (Depth in meter)

旋流 (Figs. 3, 4) などはこのことを物語っている。又対馬暖流が北上してくる間の蛇行流も概ね等深線に並行となつており、朝鮮海峡を抜けた暖流が第二、第三分枝に岐れるのは鬱陵島、竹島を含めてのこの辺りの浅所のためであろうし、又佐渡ヶ島からその北方の瀬の辺りにかけて流線が歪んでいるのも海底地形の影響と考えられ、これらの影響は深、底層流のみならず殆んど上層に迄及んでいる。尙海底深度と水塊との関係を見ると C 水塊は大陸棚の 100 m 以浅の、Tsc 水塊は主に 200 m 以浅の海域の表層にみられることで、かゝる大陸棚の浅海性は当然沿岸水的な性質を強めるものであり、又 Tsc, TSB 両水塊の境界が小島—久六島—佐渡ヶ島を連ねる線であることがみられ海底地形が流動という点ばかりでなく水塊というものにも影響を与えていることが考えられる。

(Fig. 5)

Fig. 5. Distribution of temperature and chlorinity at the 50 m layer. Aug. 1951.

—: temperature (°C), ---: chlorinity (‰)

又海流が発散場になつている所は下層水の吸上げ作用となつて上昇流を生じ冷水域を作っている

ことが屢々みられる。例えば大島—小島の稜線の両側などは然うである。これは Plankton 分布からもこの吸上げ作用は考えられる所となつてゐる⁽¹⁾。

§ 2. 海流瓶投入結果による考察

1951年, 1952年, 1953年には海流瓶の投入を行つたがその結果は (Table 2), 及び (Fig. 6. a,

Fig. 6. a. Figure showing the drift bottles' tracks, Aug. 1951

Fig. 6. b. Figure showing the drift bottles' tracks, Aug. 1952

Fig. 6. c. Figure showing the drift bottles' tracks, Aug. 1953

b, c) に示される。海流瓶は約 300 cc の硝子瓶を用い蓋栓はゴム栓又は木栓を使つて蠟づけしたもので抵抗板はつけていない。

漂流径路、漂着状況からいうと各年を通じて津軽海峡に流入しているのは沿岸寄りの点、即ち A, F, G, K, M から投入したのみで A 点からのものは白神沿岸に 1 本あるだけで、又それらの投入点は夫々 TSB, Tsc, TSB, C, Tsc 水塊上にあり海流瓶はその水塊の海水の流れによつて漂流すると思われるから、夏季津軽海峡に流入し太平洋に抜けるものは Tsc, C 水塊及び TSB 水塊の一部であるわけであるがその他は海峡に流入することなく北上していることになる。津軽海峡を抜けて陸奥湾内の海岸に漂着したのは K 点からのもので沿岸系の水であり 1952, 1953 年には夫々 F, K 点から 2 本茨城県鹿島郡海岸に着いている。これらは権現崎沿海で投入されたもので C, Tsc 水塊上の点であるが、それらが太平洋に出てそのまま茨城沿海に迄南下していつたものか、又三陸沿海からは黒潮北上流に対する沿岸反流の南下流に運ばれたものか何れかであろう。1953年8月に尻矢崎東沖津軽暖流水塊内で海流瓶の投入を行つた結果にも茨城沿海に漂着したものがあり、又 1952 年 8 月第二管区海上保安本部⁽²⁾、1953 年 6 月青森水産試験場⁽³⁾が行つた入道崎、権現崎沖での投入結果にも同様なことがみられるし、1953 年 3 月東京～釧路間の表面海洋観測結果⁽⁴⁾をみると福島県

Table 2. Results of drift bottle observations

Date	Station	Number of bottles casted (N ₁)	Number of bottles picked up (N ₂)	N ₂ /N ₁ ×100(%)	Velocity of drifting (Knot)	Water mass
Aug. 1951	A (38°39.5'N, 138°02.5' E)	30	4	13	0.6	T _{SB}
	B (39°29.5'N, 138°14.5' E)	"	3	10	0.5—0.6	T _{SL}
	C (39°31.5'N, 138°31.5' E)	"	8	27	0.5—0.6	T _{SB}
	D (39°34.0'N, 138°52.0' E)	"	8	27	0.4—0.5	T _{SB}
	E (41°09.5'N, 139°32.0' E)	"	5	17	0.4	T _{SB}
	Total	150	28	Mean 19		
Sept. 1952	F (41°08.5'N, 140°00.5' E)	15	3	20	0.9	T _{SC}
	G (41°08.0'N, 139°45.0' E)	"	2	13	0.9	T _{SB}
	H (41°08.2'N, 139°20.4' E)	"	4	27	0.4	T _{SB}
	I (41°09.6'N, 138°58.3' E)	"	9	60	0.5	T _{SL}
	J (41°11.3'N, 138°33.3' E)	"	4	27	0.5	T _{SL}
	Total	75	22	Mean 29		
Aug. 1953	K (41°07.8'N, 140°09.0' E)	10	7	70	0.3—1.0	C
	L (41°07.4'N, 140°00.0' E)	"	7	70	0.8	C
	M (41°07.0'N, 139°45.2' E)	"	3	30	0.3—0.7	T _{SC}
	N (41°08.5'N, 139°27.5' E)	"	6	60	0.5	T _{SB}
	O (41°10.0'N, 139°17.8' E)	"	4	40	0.5—0.6	T _{SB}
	Total	50	27	Mean 54		

沿海にも津軽暖流水塊が検出される所から、津軽暖流は太平洋に出て三陸沿海に及んでからは沿岸沿いに細く南下し茨城沿海にも達するものと推察され斯様に津軽暖流の末流が可成り判つきりしたものであることは注目される所である。1953年投入の分でL点のものが青森県小泊海岸にだけ漂着しているが、これは密度分布をみると海流はL点からK点の南を通る様に波状型をなしているため海峡内に入らず小泊沿岸にだけ止つたものと考え

る。次ぎに北海道西岸を北上したものは上記各点以外の B, C, D, E, H, I, J, N, O 点からのものであり、水塊的にみると T_{SB}, T_{SL} の点で沖合のもの程北方で拾得されているが沖合のものはそれだけ岸に寄せられにくいからである。1951, 1952 年にはオホーツク海にも入り斜里沿岸に漂着しているが、前記青森水試の投入結果にもそのことがみられて一部は根室海峡を通つて太平洋側の落石附近に漂着している。斯様に夏季においては北上対馬暖流は宗谷海峡を抜けてオホーツク海に入つてからも可成り明瞭な流れになつていらしい。

拾得率についてみる。各年の中で B, G, M, O

などの点が他の地点に比べて小さくなつてゐるが、先に述べた様に B, O のものは沖合の点であるからそれだけ漂着する機会が少いわけであろう。又 G, M のものは夫々その時期に津軽海峡に入つたものであるが、F, K 点からのものゝ様に海峡の本州側を通り太平洋に抜けてから三陸沿岸部に漂着するものではなく襟裳岬附近迄東に張り出しそれより南下する流れであるから、その間親潮や北上黒潮分枝と衝突し拡散されて沖合に漂流してゆくものを含んでいて考えられそれだけ拾得率は悪くなつてゐると思われる。日本海の夏季の平均の拾得率は約 30% と看做され、1951 年は 19% で悪く 1952 年は 29%, 1953 年は 54% で可成り良好であつた。

一般に海流瓶の漂流を決定するものは次のものであろう。1. 海流＝密度流 (Density current), 2. 吹走流 (Drift current), 3. 風圧流 (Lee way), 4. 波による水分子の運動 (Wave motion), 5. 潮流 (Tidal current) この中 2, 3, 4 は風に支配される項であるが 4 は小さく 5 としては日本海の潮流は微弱であつて、結局日本海においては海流瓶の漂流は定常流としての密度流と

風による吹走流と風圧流とによつて左右されることになる。密度流としての海流による影響は上述した様に海流瓶の漂着或いはその拾得率などによく表われているが、風による影響をみると沖合の海水が直接海岸を洗うわけでないから、一つの海流系に乗った海流瓶の漂着は他流系との混合や風などの作用により次第で岸に寄つてきて沿岸近くでは向岸風の吹き寄せや潮流などでどつと漂着するのではないかと思う。この点から漂着日と気象条件とを対応させてみると、1951年9月1日から3日にかけて沿海州から樺太南部を通りオホーツク海に抜けた発達した低気圧があつてその間W~SW風の吹き寄せが考えられるが、海流瓶の漂着もその頃に留萌、石狩沿岸に起つており、1952年では10月10日から12日にかけて低気圧が発達しつゝ沿海州より樺太北部を通りオホーツク海北部に抜け顕著な寒冷前線をSSWに延ばしていたので、前線通過後大陸寒気団の吹出しとなりその頃天塩沿岸に海流瓶の漂着をみている。1953年8月17日から20日にかけて同じく低気圧通過後の吹き込みがありW寄りの風となつて、その結果は18~21日にかけての久遠村や寿都町附近への漂着となつている。その他の期間はこの時季としてS~SWの弱い風で従つてそれから誘起される吹走流によつて海流瓶の漂着が大きく左右されたとは考えられない。斯様に海流瓶の漂流に及ぼす気象の影響は三ヶ年とも特に異つた点があるわけではなく同じ様な条件と考えられるから各年の拾得状況を支配したのは海流によるものとなるが、この漂流範囲に互る観測はなされておらず夫々の特異性を云々することが出来ない。併し投入点の位置的な違いを検すると、1951年は1952、1953年に比べると秋田沖とか佐渡沖の南で水塊的にみるとTsbやTslで沖合のものであり1953年は権現崎沖50哩以内の点で沿海であり、岸に近く投入されたものはそれだけ多く漂着し拾得される可能性は大きなわけでそれは各年の拾得率の差になつて表われている。殊に海峡に流入するものゝ差が非常に大きく利いているが、海峡周辺で拾得されたものゝ投入点を除いてもその率は20%、38%、50%となつてその投入点の地理的条件が拾得率に利いていることがわかる。もつとも1952年8月30日

から9月2日にかけて第二管区海上保安本部⁽⁵⁾で新潟県大島崎沖、入道崎沖で海流瓶の投入を行っているが、その時の拾得率は41%で当台の略々同時季の29%より高率であるのは9月4~5日にかけての台風メアリによる風速20 m/s近い強風の吹き寄せによるものであろうし、冬季例えば第一管区海上保安本部の1952年1月⁽⁶⁾、11月⁽⁷⁾、第二管区海上保安本部の1953年1月、3月⁽⁸⁾の結果では拾得率も可成りよく又その漂流径路が定常流として考えられるものから可成り違つているのは季節風の影響をうけているのであつて、季節によつては海流瓶の漂流が風によつて一番大きく左右されることになるのである。

こゝで問題となるのは各年によつて投入本数が異なることであつて、投入本数の違いに対して漂流状況、拾得率の違いが有意かどうかは検討を要する問題である。常識的に投入本数が多ければ拾得率が良くなるものと考えられるが、この例では逆となつており投入点の相異も然ることながら海況そのものによる影響をうけていることが分る。例えば対馬暖流とその海峡に入つた分枝との流量比を大雑把に見積つてみると1951、1952、1953年が夫々1:0.3, 1:0.5, 1:0.7位になつていた。

漂流速度は沖で拾得されたものはそのままを、沿岸に漂着したものはその近辺での最も早い拾得月日を用い流程は妥当と思われる径路を仮定して計算した。平均漂流速度であるから力学計算流速や船の偏流速度よりは小さくなつてはいるが、海峡部とか対馬暖流の本幹流域が大きい値を示し又地域的には北上するにつれて少々小さくなる傾向はみられる。

斯様に風による影響の余りない夏季においては日本海での海流瓶漂流状況はよく海流系を示すものと考えられ海流瓶が海況解析の有効な一手段たり得るものである。

たゞ過去の資料やこの時季の一般的な海況として北海道の日高沿岸や噴火灣に漂着するものがあるのであるが、この三年の観測では全然なかつたのは特異であつて、それは津軽暖流が太平洋に抜けてから大半三陸沿海に南下して日高沿海への流入が弱かつたのであろうか、その原因は判らない。

以上第2報として北部日本海の夏季の海流系について論じたが、この海域の流動は海底地形の影響を受けることが顕著であり又夏季日本海においては海流瓶の漂着状況がよく海況を示すことなどが特に記すべきことである。

参 考 文 献

- (1) 川原田裕, 1953: 日本海のプランクトンについて, 日本海洋学会誌 第9号 第2号
- (2), (5) 第二管区海上保安本部水路部, 1952: 昭和27年夏季海流瓶成果報告, 同部水路月報 第3巻 第12号
- (3) 東北海区水産研究所, 1953: 昭和28年度津軽海峡を通過する資源調査概報
- (4) 赤川正臣: 昭和28年3月東京釧路間表面観測結果報告(未刊)
- (6) 第一管区海上保安本部水路部, 1952: 海流瓶の行方, 同部海象速報 第13号
- (7) 同上, 1953: 27年11月末(津軽海峡西口海域)投入海流瓶の拾得報告及び漂流についての考察, 同部水路速報 第20号
- (8) 山下行成, 1953: 昭和28年冬季の海流について, 第6回日本海海洋調査技術連絡会にて発表