

千葉県の外洋沿岸海域の流況— I

外房総 和田沖

瀬戸口明弘・佐藤 寿・平山 明*・飯田隆重**

はじめに

最近、本県の外洋に面する地先海域において、自然環境条件を把握するための調査の一環として、半月～2ヶ月の長期におよぶ流況調査が実施され、それらの流況がかなり詳細に解明されてきつつある。

そこで、これらの資料をもとに、地先海域における漁業との対応に資する目的で検討を進めているが、ここに和田町沖合における流況結果を取りまとめたので報告する。

調査方法

図1に示す外房総和田沖の水深45mの場所に設置されている定置網の台錨のブイに、NC-II型自記流速計を海面下10mに垂下し、昭和52年3月18日から同年4月19日までの32日間の流向、流速を20分毎に計測した。

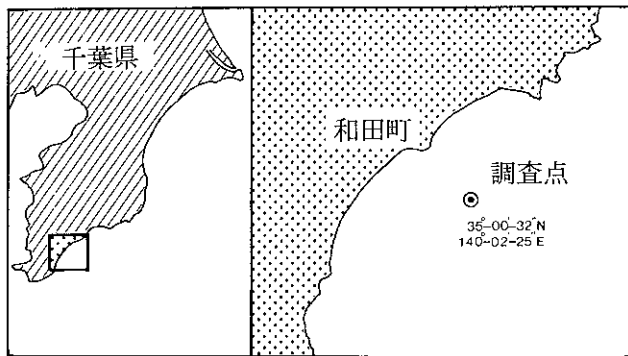


図1 調査点

この計測した流況資料から、次に示す解析方法によって、流向流速出現頻度、日平均恒流、潮流調和解析自己相関関数、パワースペクトル、拡散係数、風と恒流との相関等を求めた。

1) 流向・流速出現頻度

20分間隔で計測した流向を16方位に、流速を階級

5 cm/sec の階級におきかえて、方位別発生頻度、方位別平均流速、階級別発生頻度を求めた。また方位別平均流速 (V_{mean}) は、次式で求めた。

$$V_{mean} = \frac{\sum \text{階級中央値} \times \text{階級別度数}}{\text{方位別総度数}}$$

2) 日平均恒流

20分間隔で計測した値を、東方・北方の両分速毎に、正時を中心とした連続5個の値をとり出して平均し、これを正時の値とした。この方法で求めた毎正時値の連続25個の平均値を、さらに1日の中央時値とした。そして東方・北方の両分速毎に求めた1日の中央時値を、ベクトル合成して恒流ベクトル値を求め、これを平均恒流とした。

3) 潮流調和解析

英国王立潮汐研究所で考案されたT I法と呼ばれる手法で、30日間の計測資料の潮流調和解析を行ない、29分潮の潮流調和定数を求めた。次に各分潮の東方および北方の分速について求めた振巾と遅角とを組み合わせ、潮流楕円要素を求め、主要6分潮 (M_2 、 S_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1) の長軸方向と流速振巾の加重平均を行なって主流向を計算し、さきに求めた各分潮の楕円値を主流向線に投影計算して、主流向線上成分の振巾と位相を求めた。

4) 自己相関関数、パワースペクトル

20分間隔で計測した資料を、潮流調和解析の主流向成分 (M -comp) と、その法線方向成分 (X -comp) に分けて、ラグ数を100にとり、最大ずらし時間を33.3時間として、100個のずれまでの相関を求めた。そしてオートコログラム、パワースペクトルの図を作成した。

5) 拡散係数

前述の自己相関関数を用いて、G. I Taylor の理論

* 千葉県水産部漁政課

** 館山水産事務所

より拡散係数を算出した。

6) 風と恒流との相関²⁾

本調査期間中、本県の勝浦測候所で観測された風資料を用いて、計測した恒流との相関性を求めた。なおその際の風と恒流の値は、ともにそれぞれの日平均値を用いた。

結果と考察

1) 流向・流速の出現頻度

この調査点付近の流れは、憩流の状態にあることが

少なく、いつも流れている状態にある。そしてその流れは、海岸線にほぼ平行な流れが最も多く、図2と表1に示すように、北東～東北東の流れが27%、南西～西南西の流れが31%の出現率を示している。

流速の最大値はときには50cm/secにもおよぶこともあるが、平常は10~20cm/secの流れが最も多く、その出現率も56%となっている。また各方位への平均流速もこれと同様に10~18cm/secとほぼ同じ傾向を示しているが、ただ南西、西南西への流れのみは若干速く、21~22cm/secとなっている。

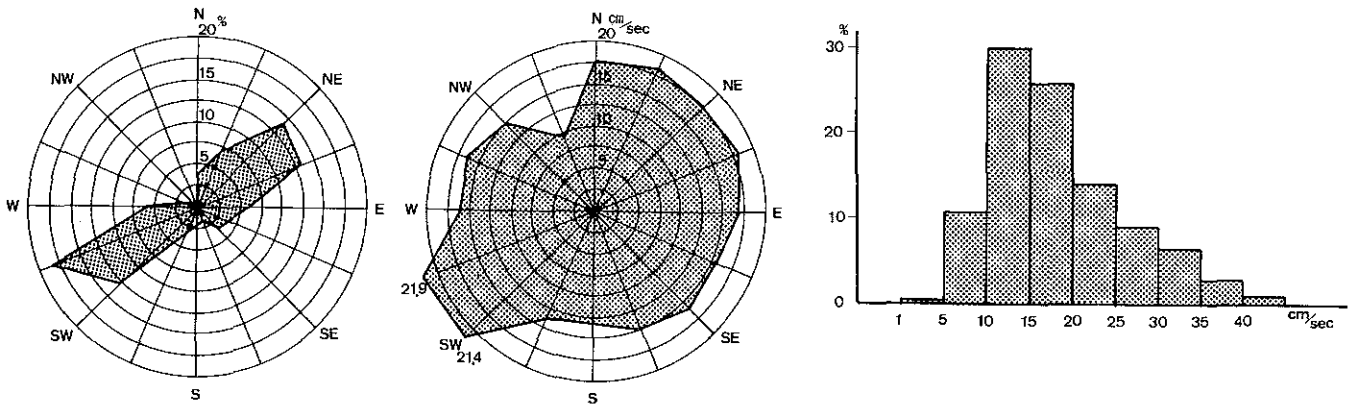


図2 流向、流速の頻度と平均流速の出現

表1 流向、流速の出現頻度と平均流速(上段は度数, 下段は%)

流速m/sec	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUM
0.00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.01-0.05	×	2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.06-0.10	5	18	44	32	15	14	6	2	14	25	33	24	15	2	2	×	251
	0.2	0.8	1.9	1.4	0.6	0.6	0.3	0.1	0.6	1.1	1.4	1.0	0.6	0.1	0.1	0.0	10.8
0.11-0.15	34	55	107	91	46	33	28	23	13	27	64	88	54	14	8	8	693
	1.5	2.4	4.6	3.9	2.0	1.4	1.2	1.0	0.6	1.2	2.7	3.8	2.3	0.6	0.3	0.3	29.8
0.16-0.20	28	26	72	88	54	27	34	16	17	17	56	92	45	22	6	2	602
	1.2	1.1	3.1	3.8	2.3	1.2	1.5	0.7	0.7	0.7	2.4	4.0	1.9	0.9	0.3	0.1	25.8
0.21-0.25	9	41	55	42	18	19	12	2	2	3	40	65	15	1	2	1	327
	0.4	1.8	2.4	1.8	0.8	0.8	0.5	0.1	0.1	0.1	1.7	2.8	0.6	0.0	0.1	0.0	14.0
0.26-0.30	4	18	24	28	8	1	1	1	×	2	38	72	9	3	×	×	209
	0.2	0.8	1.0	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.6	3.1	0.4	0.1	0.0	0.0	9.0
0.31-0.35	2	4	16	16	3	×	×	×	×	3	44	61	2	×	×	×	151
	0.1	0.2	0.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0	6.5
0.36-0.40	3	5	7	7	2	1	×	×	×	1	17	25	×	×	×	×	68
	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
0.41-0.45	1	×	4	4	1	×	×	×	×	×	8	4	×	×	×	×	22
	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
0.46-0.50	1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	2	1	×	×	×	×	4
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
0.51-	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
度数合計	87	169	329	308	147	95	81	44	46	78	302	432	140	42	18	11	2329
%合計	3.7	7.3	14.1	13.2	6.3	4.1	3.5	1.9	2.0	3.3	13.0	18.5	6.0	1.8	0.8	0.5	
平均流速	17.6	17.9	17.6	18.1	16.8	15.6	15.9	14.9	13.3	13.8	21.4	21.9	15.9	16.2	14.7	14.3	

の流
と表
西～
とも
その
流速
示して
速く、

2) 恒流

恒流の日変化を図3に示した。これによると恒流は北東↔南西の流れが多くみられ、それも2日～4日の周期で流向が転じていることが多い。

流速はこの調査期間中、10～20cm/secが多くみられており、10cm/sec以下と20cm/sec以上は比較的に少ない。そして流速の最大でも30cm/secとなっている。

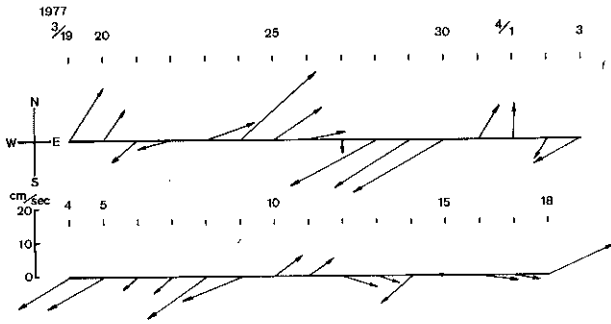


図3 恒流 (25時間平均)

3) 潮流

計測資料を潮流調和分解計算した結果、得られた潮流楕円を図4に、また潮流調和定数を表2に示した。潮流の潮型は、日周潮と半日周潮の混合潮型(F=0.66)であるが、流れの中の潮流成分は弱く、主要4分潮の

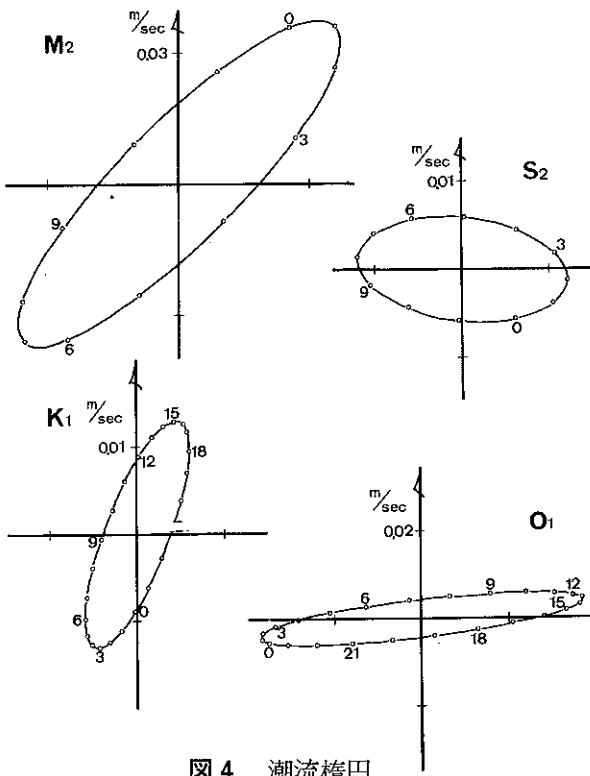


図4 潮流楕円

表2 潮流調和定数

分潮	北方分速		東方分速		主流向 60°		潮流槽円長軸値		
	流速	遅角	流速	遅角	流速	遅角	方向	流速	遅角
Mm	0.039	157	0.087	134	0.094	138	67	0.094	137
Msf	0.020	62	0.025	111	0.029	96	55	0.029	94
Q1	0.017	240	0.017	289	0.021	271	45	0.021	264
O1	0.006	152	0.037	200	0.034	196	84	0.037	199
M1	0.006	201	0.011	84	0.008	101	286	0.011	257
K1	0.013	228	0.006	268	0.011	246	21	0.013	234
J1	0.007	66	0.002	200	0.003	97	347	0.007	63
OO1	0.013	351	0.005	68	0.008	19	5	0.013	352
P1	0.004	228	0.002	268	0.004	246	21	0.004	234
μ2	0.006	70	0.015	339	0.014	357	272	0.015	158
N2	0.013	21	0.020	19	0.024	20	56	0.024	20
ν2	0.003	21	0.004	19	0.005	20	56	0.006	20
M2	0.037	16	0.037	46	0.049	35	45	0.051	31
L2	0.009	133	0.012	56	0.013	76	74	0.013	66
S2	0.006	161	0.012	61	0.010	76	276	0.012	238
K2	0.002	161	0.003	61	0.003	76	276	0.003	238
M3	0.005	41	0.002	97	0.004	66	17	0.005	47
M4	0.004	193	0.008	345	0.005	334	296	0.009	170
M6	0.004	294	0.004	88	0.002	62	314	0.005	281
2SM2	0.005	204	0.008	254	0.009	241	64	0.009	243
Mo3	0.005	128	0.010	186	0.010	174	73	0.010	179
MK3	0.006	140	0.001	137	0.013	138	62	0.013	138
MN4	0.003	355	0.006	349	0.007	350	64	0.007	350
SN4	0.004	108	0.004	92	0.005	98	45	0.005	100
MS4	0.002	339	0.004	78	0.003	64	274	0.004	260
2MN6	0.004	359	0.005	244	0.004	271	299	0.006	46
MSN6	0.005	258	0.004	199	0.005	225	31	0.006	241
2MS6	0.001	108	0.002	260	0.002	250	294	0.002	85
2SM6	0.003	224	0.003	304	0.003	278	53	0.004	272

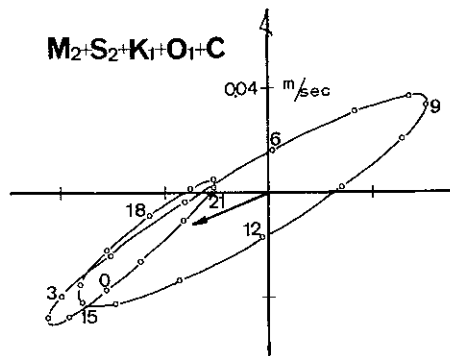
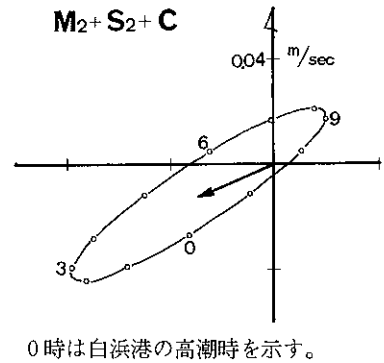


図5 平均大潮期と最大大潮期のホドグラフ

SUM
×
0.0
2
0.1
251
10.8
693
29.8
602
25.8
327
14.0
209
9.0
151
6.5
68
2.9
22
0.9
4
0.2
×
0.0
2329

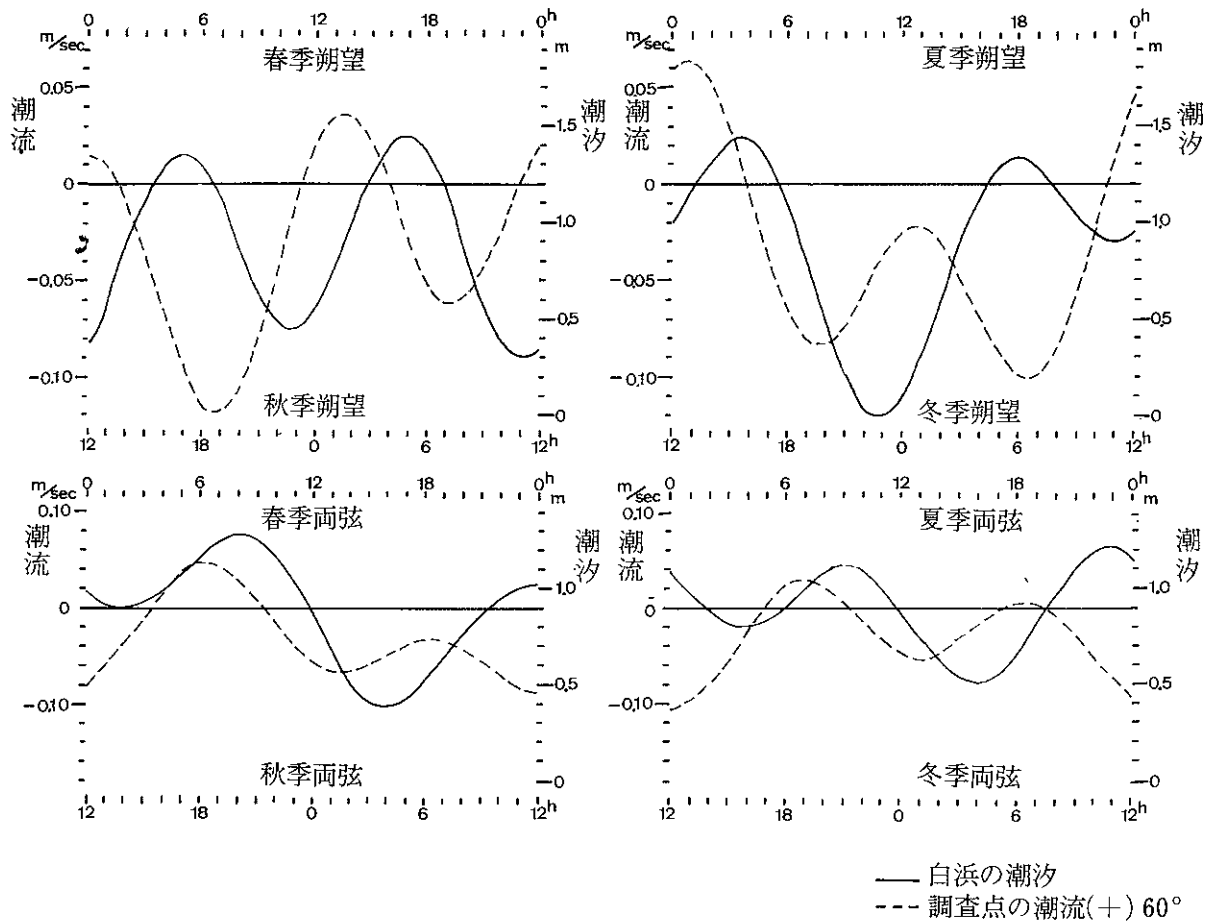


図6 四季の潮汐と潮流曲線

うち、半日周潮のM₂分潮の振巾が5 cm/sec、日周潮のO₁分潮の振巾が4 cm/sec と最も大きい値となっている。これに比較して、約1ヶ月周期であるM_m分潮の振巾が、9 cm/sec と比較的大きい。これはこの調査点付近の流れが、潮流に支配されるよりも、恒流に強く支配されているためと考えられる。

表2に示した各分潮の振巾は、1ヶ月間の平均的な

値として、計算で得られたものである。朔望時のみの短期資料を潮流調和分解計算すると、これらの振巾値より幾分大きな値となる。

平均大潮期(M₂+S₂+C)の流れのホドグラフと、最大大潮期(M₂+S₂+K₁+O₁+C)の流れのホドグラフを図5に示し、また季節ごとに朔望時および上・下弦時の流れを潮汐の干満に対応させた四季の潮流曲線を図6に示した。この四季の潮流曲線には、240°方向への恒流が加算されているために、全般的に南西流が強い傾向を示している。

4) 自己相関関数、パワースペクトル

オートコログラムを図7に、またパワースペクトルを図8に示した。オートコログラムでは、30時間に到ってもなお無相関にならず、持続性のある周期変動の存在することがうかがわれる。これは流れの中の恒流成分が大きいためであろう。また12時間、24時間の周期変動も顕著に現われているが、これは潮流成分のためである。このことはパワースペクトルでも12時間、24時間のところにピークがみられ、半日周潮、日周潮の流速変動が顕著であることを示している。

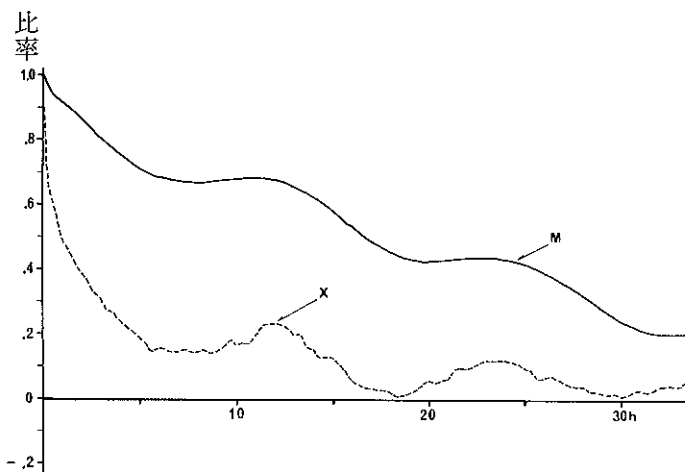


図7 オートコログラム (実測値)

パワースペクトルでみると、6時間以上の周期の流れでは主流向成分のエネルギー密度が大きいですが、6時間以下の周期の流れでは、反対に法線方向成分のエネルギー密度が大きくなっている。これは流れの中の6時間以上の周期成分のものは、主流向方向への流れが卓越しているが、6時間以下の周期成分のものは、これとほぼ直交する方向への流れが卓越しているからであろうと推測される。

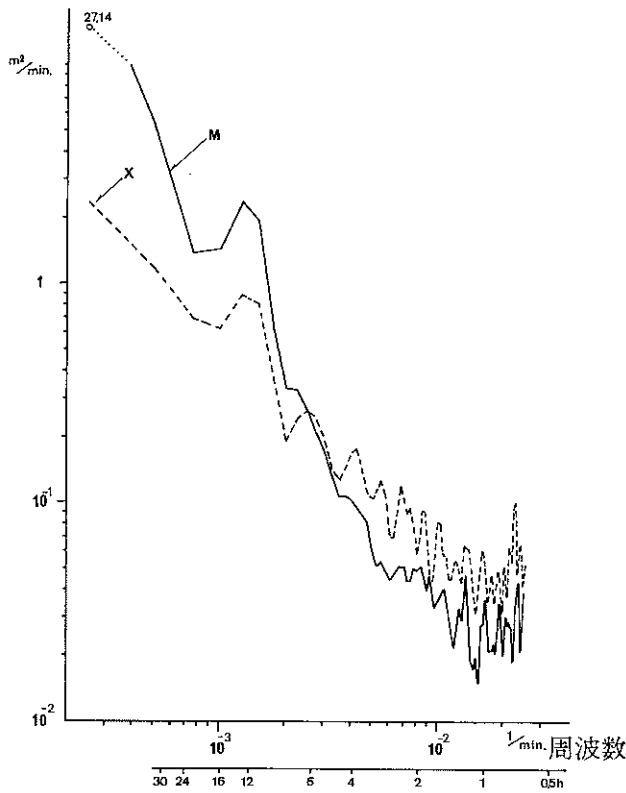


図8 パワースペクトル (実測値)

5) 拡散係数

流れの実測値から算出された拡散係数は、表3に示した。これによると、主流向成分が $10^7 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、法線方向成分が $10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーと比較的に大きな値となっている。

そこで、流れの中の3時間周期成分から25時間周期

表3 拡散係数

資 料	主流向成分	法線方向成分
	K	K
実測値の資料による	$2.194 \times 10^7 \text{ cm}^2/\text{sec}$	$1.340 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$
3時間～25時間の周期成分を除去した資料による	9.931×10^4	2.681×10^4

成分までのものを除去した資料から算出した拡散係数を参考に併記しておくが、この値の方が瞬間点源状態の染料拡散実験から得られた係数に極めて近く、妥当な値であると考えられる。

6) 風と恒流との相関

恒流は、ベクトル値の方向が第1象限値の場合はこれに 180° を加え、流速の加重平均を行なって主流向 $\theta = 239^\circ$ を求めた。風は、吹き去る方向に変換してから同様に主流向 $\theta = 225^\circ$ を得た。

恒流と風の各主流向成分値を $V_M(d)$ とすると、 $V_M(d)$ は次式で与えられる。

$$V_M(d) = V(d) \cos(\theta(d) - \theta^0)$$

風の主流向線上成分値を、期間平均値 \bar{W} からの偏差量 $\Delta W(d)$ におきかえると、

$$\Delta W(d) = W(d) - \bar{W},$$

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N W(d) \text{ となる。}$$

ここで恒流の主流向線上成分値 $V_M(d)$ を ΔW に対応すると考えて、

$$V_M(d) = \bar{V}_M + K \Delta W$$

とにおいて最小自乗法で相関係数 K を求めた。この結果、風と恒流の相関式

$$V_M(d) \text{ cm/sec} = 1,532 + 2.4332 \Delta W \text{ m/sec}$$

を得た。上式に観測値 $\Delta W(d)$ を代入して、 $V_M(d)$ を求めて観測値 $V_M(d)$ と比較し、これを図9に示した。

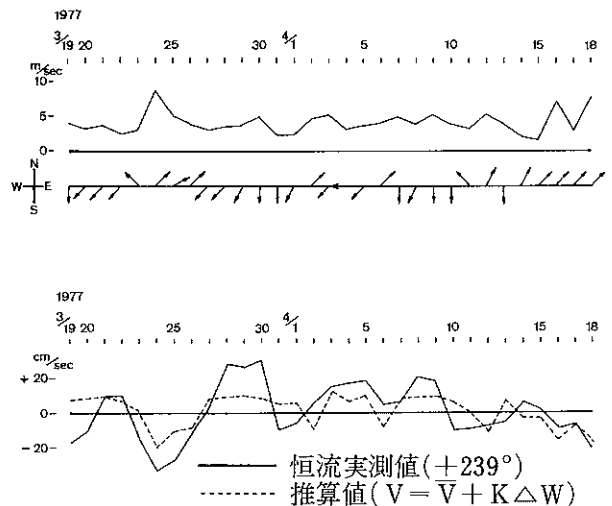


図9 風向、風速(上図)と風と恒流の相関(下図) (風向は吹き去る方向とし、 225° を+方向とした)

これによると、偏南風の時は、北東方向へ、反対に偏北風の時は、南西方向への恒流が出現しており、明ら

かに恒流の変化と風の変化には対応がみられている。そして風の作用もまた恒流成因の大きな要素の一つである。

$K=2.4332$ は、勝浦測候所観測の風が 1 m/sec 変化するのに対して、調査点付近の恒流が 2.4 cm/sec 変化することを表わしているものである。例えば、恒流の成因を風だけとした場合、調査点付近の海面に 10 m/sec の風が連続して吹くと、その海面にはやがて 24 cm/sec の恒流が発生することになる。

要 約

- 1) 本県外房総和田沖で、昭和52年3月18日から32日間におよぶ流況調査を、NC-II型流速計で行なった。
- 2) 流れは、海岸線にほぼ平行する流向で、 $10 \sim 20 \text{ cm/sec}$ の流速が最も多く出現している。
- 3) 恒流は、北東流、南西流が2～4日の周期でみられており、その流速は2)と同様 $10 \sim 20 \text{ cm/sec}$ が多くみられた。
- 4) 潮流の潮型は、混合潮型である。
- 5) 流れの中の潮流成分は弱く、 M_2 分潮でも 5 cm/sec 、 O_1 分潮でも 4 cm/sec の振巾となっている。しかし M_m 分潮の振巾は 9 cm/sec となっており、比較的に大きい。これは恒流に支配されているためと考えられる。
- 6) オートコレログラムでは、30時間に到っても無相間にならず、流れの中の恒流成分のためと考えられる持続性のある周期変動の存在がうかがわれる。
- 7) 流れの中の潮流成分のためである12時間、24時間周期の変動が、オートコレログラムやパワースペク

トルに顕著に示されている。

- 8) パワースペクトルでは、ほぼ6時間周期の点を境にして、主流向成分と法線方向成分のエネルギー密度が逆転している。
- 9) 拡散係数は、主流向成分が $10^7 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、法線方向成分が $10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーと比較的に大きい値となっている。
- 10) 瞬間点源の染料拡散実験から得られた係数に近い値は、流れの中の3時間～25時間の周期成分のものを除去した資料から算出したものが妥当な値と考えられる。
- 11) 偏南風時には北東方向へ、偏北風時には南西方向への恒流が出現し、明らかに風の変化と恒流の変化には対応がみられている。
- 12) 風が 1 m/sec 変化するのに対して、恒流は 2.4 cm/sec 変化する。

おわりに

この調査点付近の流況を解析するにあたっては、測得資料をもとに種々な計算を行なったが、この計算はすべて、「株式会社、調和解析」に委託して電子計算機(CDC 6600)で処理した。また取りまとめにあたり同社社長の山田紀男氏に、多くの御指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 彦坂繁雄：潮汐、海洋科学基礎講座3、海洋物理Ⅲ、東海大学出版会。
- 2) 山田紀男：非潮流海域の流動解析法、株式会社調和解析、プリント。