

# 中国沿岸的表面海流与風的关系的初步研究\*

管秉賢

(中国科学院海洋生物研究所)

## 一、引言

中国沿岸的表面海流,到现在为止,还没有詳細地加以研究过。苏联繪制的“北半球世界大洋表面海流及水温圖”[7]指出:在中国沿岸,冬季的盛行海流,其流向自北而南,沿着近岸一带的大陆棚,一直流向中印半島的东岸。夏季的盛行流向,在杭州灣以南的,自南而北;在杭州灣以北的,則自北而南。但在离岸较远处,例如在台湾东岸及自台湾至对馬海峡这一連綫的右側,流向則終年接近于东北,这就是台湾暖流——黑潮。根据上述,中国沿岸的表面海流的流向,在冬季全部与台湾暖流的流向相反或相异;在夏季,大部分与台湾暖流的流向相同或相近,也有一部分与它相异。

中国沿海冬季盛行西北風及东北風,夏季盛行东南風及西南風,所以除在夏季杭州灣以北沿岸一带外,盛行季風的風向与中国沿岸的盛行海流的流向是一致或相近的。

关于中国沿岸的海流与風的关系,目前虽尚無专論,但早在本世紀初,С. О. Мака-  
POB[8]就已注意到南中国海海流的流向与季風的風向彼此一致的关系。在“日本及中国沿岸的海流圖”[12]的說明中亦曾指出在这区域内的海流,由于受到两种主要力量即季風及黑潮的影响,是带有部分季节性的。說明中还指出季風及黑潮所起的作用,認為前者使表面海流随着季节的变換与每一地区的風向取得一致,而后者則抑制一切流向与它不同的風海流。并且認為由于这些情况才使华北中部沿岸及黄海海面,从10月至次年4月發生复杂多变的海流。

該說明所討論的区域較广泛,沒有針對中国沿岸的海流来分析,更沒有把季風及黑潮这两个重要因素对中国沿岸各区的海流的影响程度加以比較。此外,对于夏季黄渤海沿岸的海流比較复杂的情况也沒有提到。

本文目的是利用美、日过去刊行的資料,分析中国沿岸的風与海流,即風速風向与流速流向的关系,探討中国沿岸的海流的性質,并討論台湾暖流及中国沿海的地形对沿

\* 中国科学院海洋生物研究所調查研究报告第42号

岸的海流的影响。

## 二、资料及计算方法

由于目前中国尚缺乏海上观测资料,本文利用下列两种资料作为分析的基础。

名 称	出版者	观测年代	出版年份
(1) 日本近海的气象海流图 <sup>[3]</sup> (海軍海图第 6042 号)	日本水路部	1910—1919年(風) 1910—1921年(海流)	1925年
(2) 北太平洋西部海流图 <sup>[1]</sup> (H.O. Misc. No. 10,058 A)	美国海軍部 測量局	1935年以前	1944年

在这两种资料中,利用八位风向图或八位流向图的形式,逐月地将海面各区域上的風或海流在八个方位上的平均速度及频率表示出来。我们采用(1)作为计算風的资料,采用(2)作为计算海流的资料。

应该指出,在所引用的资料中存在着下列几个问题:

第一,资料(1)的测風记录及资料(2)的测流记录,显然不是在同时期内测定的。利用这样的资料来互相对照以寻求風与海流的关系,不能说是十分妥当的方法。不过这些资料都是从积累了约有十年以上的观测记录中整理出来的,实是多年的平均值,有其一定的代表性,在目前缺乏同时期的观测资料的情况下,我们认为尚有其一定的实用价值。

第二,资料(1)和(2),在分区上是不完全相同的。前者每一区包含 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (經緯度);后者不一定,每一区大致包含 $3^{\circ} \times 5^{\circ}$ 。所以八位风向图与八位流向图并不是一一对应的,其中八位风向图分布较密。因此,我们只能以资料(2)的分区为标准,而在资料(1)中选取最适宜的八位风向图,以便与其相应的八位流向图对照。选择八位风向图时,务使它所代表的区域尽可能地含在八位流向图所代表的区域内,并使两者的中心愈近愈好。这样选择的结果,八位流向图中心与八位风向图中心,緯度上相距最远者为 $1.5^{\circ}$ 。

第三,根据资料(2),代表 $3^{\circ} \times 5^{\circ}$ 区域内的海流情况的八位流向图,是从这区域内每 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的小区上所得的海流观测记录综合而成的。观测的方法是漂移法,就是停車不开,讓船随流漂移,计算在大约一昼夜时间内自漂移起点至终点所經直綫距离及方向,作为这两点的中点的流速及流向。显然,这一位移包括了風、浪及潮流等的作用在内。但原图指出,凡是在風、風浪、涌等超过六級及潮流較盛的地方所得的观测记录,都认为是不可靠的而未列入。所以这种流速可以近似地看作是常流与風海流的合成流速。

根据资料(2)的分区,中国沿岸的海流,本文拟分五个区域即 1、2、3、4、5 各区来討

論。同时为了比較沿岸的海流与离岸較远处的海流性質上的差异起見，也将論及与2、3、4、5各区并列(沿岸与外海)的五个其他区域(即2'、3'、4'、5'、5''各区)上的海流。各区位置如圖1所示。

由于(1)、(2)这两种資料都仅限于 $20^{\circ}$  N 以北的海区，对于南中国海，我們另外采用盛行流向与盛行風向的对照圖(圖2)来探討該区海流的性質。盛行流向系取自美国及英国刊行的海流圖[12、13]，盛行風向系取自陶詩言[1]的“逐月地面平均气流圖”。

根据八位風向圖及八位流向圖，計算出中国沿海各区逐月的合成風速風向及合成流速流向如表1。

原資料中八位風向圖上的風速用蒲氏風級表示，八位流向圖上的流速用流級表示。本文在計算时均取每一級速度的平均值，作为該級的速度見表2。

在習慣上，風向系指来向，而流向系指去向；为了便于互相对照，故在表1及表4中，風向流向均指去向而言。在計算合成向量时，考虑了平均速度与頻率(在某区某

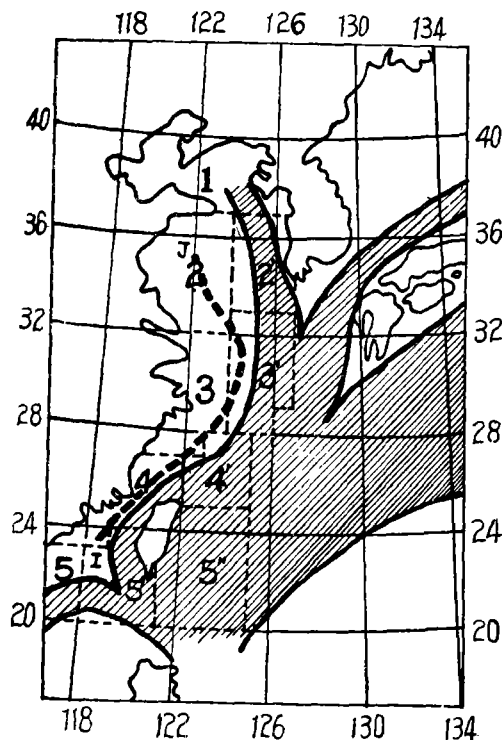


圖1. 区域分布  
影陰綫：台灣暖流——黑潮及其分支  
虛曲綫：台灣暖流——黑潮与中国沿岸的海流的边界

Fig. 1. The location of the subregions. Shaded area indicates the Taiwan Warm Current—the Kuroshio and its branches, dotted curve indicates the boundary between the Taiwan Warm Current—the Kuroshio and the currents along China Coast. (after[4]).

表 1. Tab. 1.

月 Month	分区 No. of Subregion	流速 C (节) Current Vel. (Knot)	風速 W (节) Wind Vel. (Knot)	$\frac{C^2}{W}$	流向 $\alpha_C$ Current direct. (度)	風向 $\alpha_w$ Wind direct. (度)	$\Delta\alpha^1$ (度)
1	1	—	5.9		(170) <sup>2)</sup>	160	+10
	2	0.34	6.6	0.0515	166	162	+4
	2'	0.14	8.2	0.0171	168	164	+4
	3	0.44	11.7	0.0376	199	183	+16
	3'	0.11	11.4		108	161	-53
月	4	0.46	15.3	0.0301	217	216	+1
	4'	0.20	12.8		41	212	-171
	5	0.50	10.7	0.0468	250	231	+19
Jan.	5'	0.32	14.1		321	217	+104
	5''	0.58	12.7		12	216	+156

月 Month	分区 No. of Subregion	流速 C (节) Current Vel. (Knot)	风速 W (节) Wind Vel. (Knot)	$\frac{C}{W}$	流向 $\alpha_c$ Current direct. (度)	风向 $\alpha_w$ Wind direct. (度)	$\Delta\alpha$ (度)
Feb.	1	—	4.3		(158) <sup>2)</sup>	160	-2
	2	0.10	6.2		179	195	-16
	2'	0.32	8.2	0.0391	188	170	+18
	3	0.22	9.6	0.0229	205	192	+13
	3'	0.08	9.6		72	160	-88
	4	0.27	14.7	0.0183	237	215	+22
	4'	0.38	11.8		57	210	-153
	5	0.47	10.4	0.0452	243	236	+7
Mar.	5'	0.37	—		345	—	—
	5''	0.47	10.6		3	220	+143
	1	0.13	2.8		82	168	-86
	2	0.19	3.6		339	192	+147
	2'	0.05	5.7	0.0088	189	166	+23
	3	0.26	6.3	0.0413	220	198	+22
	3'	0.12	7.3		82	167	-85
	4	0.09	12.8	0.0070	233	217	+16
Apr.	4'	0.49	9.8		35	219	+176
	5	0.42	9.8	0.0429	255	241	+14
	5'	0.35	11.6		337	215	+122
	5''	0.67	9.1		357	220	+137
	1	0.06	0.7		47	73	-26
	2	0.22	0.9		154	238	-84
	2'	0.29	1.7		306	210	+96
	3	0.05	3.1		119	216	-97
May.	3'	0.06	3.5		58	192	-134
	4	0.06	7.0		5	216	+149
	4'	0.59	6.1		43	225	+178
	5	0.23	7.3	0.0315	285	255	+30
	5'	0.65	7.7		335	254	+81
	5''	0.82	6.5		10	226	+144
	1	0.10	1.8		128	13	+114
	2	0.21	1.6		161	342	+179
May.	2'	0.07	0.2		2	153	-151
	3	0.06	2.4		38	219	+179
	3'	0.17	1.5		18	187	-169
	4	0.32	6.1		51	218	-167
	4'	0.57	4.8		47	233	+174
	5	0.05	6.1		2	254	+108
	5'	0.67	—		7	—	—
	5''	0.99	4.2		23	217	+166

月 Month	分 区 No. of Subregion	流速 C (节) Current Vel. (Knot)	風速 W (节) Wind Vel. (Knot)	$\frac{C}{W}$	流向 $\alpha_c$ Current direct. (度)	風向 $\alpha_w$ Wind direct. (度)	$\Delta\alpha$ (度)
6 月 June	1	0.32	2.9		183	1	-178
	2	0.06	2.6		0	311	+49
	2'	0.03	0.7		18	313	+65
	3	0.21	6.5	0.0323	45	10	+35
	3'	0.33	2.1	0.1570	30	345	+45
	4	0.59	3.6	0.1639	52	13	+39
	4'	0.58	4.7	0.1232	37	8	+29
	5	0.31	3.8		62	4	+58
7 月 July	5'	0.41	—		0	—	—
	5''	0.91	2.5		18	59	-41
	1	0.24	3.1	0.0773	14	350	+24
	2	0.12	2.6		47	320	+87
	2'	0.29	2.2	0.1318	359	328	+31
	3	0.44	6.2	0.0710	34	357	+37
	3'	0.41	3.7	0.1108	37	355	+42
	4	0.55	2.2	0.2500	49	18	+31
8 月 Aug.	4'	0.42	4.3	0.0976	28	0	+28
	5	0.34	2.8		68	358	+70
	5'	0.77	—		23	—	—
	5''	0.86	2.1		20	40	-20
	1	0.15	1.5		3	283	+80
	2	0.18	3.8		9	263	+106
	2'	0.05	2.7		67	263	+164
	3	0.22	2.7		52	343	+69
9 月 Sept.	3'	0.22	2.5		36	275	+121
	4	0.52	1.0		57	355	+62
	4'	0.40	1.8		57	323	+94
	5	0.31	3.0	0.1033	51	30	+21
	5'	0.65	—		27	—	—
	5''	1.16	3.1		28	59	-31
	1	0.20	1.9		96	191	-95
	2	0.09	4.8	0.0188	253	210	+43
Sept.	2'	0.35	3.3		325	221	+104
	3	0.10	5.1	0.0196	230	205	+25
	3'	0.09	5.2		352	227	+125
	4	0.09	6.2		28	223	+165
	4'	0.37	5.8		23	229	+154
	5	0.06	4.9		187	249	-62
	5'	0.26	4.5		346	213	+133
	5''	0.51	7.0		339	231	+108

月 Month	分 区 No. of Subregion	流速 C (节) Current Vel. (Knot)	风速 W (节) Wind Vel. (Knot)	$\frac{C}{W}$	流向 $\alpha_c$ Current direct. (度)	风向 $\alpha_w$ Wind direct. (度)	$\alpha$ (度)	
10 月 Oct.	1	0.16	2.3	0.0204	117	176	-59	
	2	0.10	4.9		248	216	+32	
	2'	0.07	3.9		41	189	-148	
	3	0.21	8.5		251	204	+47	
	月	3'	0.03	8.1	255	195	+60	
		4	0.37	15.5	0.0239	224	218	+6
		4'	0.42	10.7	38	215	-177	
		5	0.47	14.4	0.0326	255	233	+22
Oct.	5'	0.04	21.8	16	214	+162		
	5''	0.51	12.7	26	221	+165		
11 月 Nov.	1	0.20	4.5	0.0068	129	153	-24	
	2	0.05	7.4		224	191	+33	
	2'	0.14	6.7		310	171	+139	
	3	0.38	10.1		185	195	-10	
	月	3'	0.08	8.1	35	183	-148	
		4	0.39	17.0	0.0229	222	214	+8
		4'	0.66	15.2	46	213	-167	
		5	0.35	14.8	0.0237	262	230	+32
Nov.	5'	0.43	20.6	272	206	+66		
	5''	0.44	15.0	3	218	+145		
12 月 Dec.	1	0.37	6.5	0.0267	143	147	-4	
	2	0.16	6.0		220	185	+35	
	2'	0.50	8.2		300	160	+140	
	3	0.37	12.3		0.0301	216	189	+27
	月	3'	0.11	9.8	45	165	-120	
		4	0.48	16.7	0.0287	226	216	+10
		4'	0.51	16.4	44	205	-161	
		5	0.44	11.8	0.0373	245	227	+18
Dec.	5'	0.51	19.5	320	210	+110		
	5''	0.52	12.2	357	211	+146		

注 1.  $\Delta\alpha$  的符号: “+”号表示流向偏于风向之右;

“-”号表示流向偏于风向之左。

2. 因资料(2)中缺 1 区的 1, 2 两月的记录, 这两个流向是由参考文献[13]中的合成流向量得的。

3. 当偏角不合乎风海流的规律时,  $\frac{C}{W}$  的值不予计算。

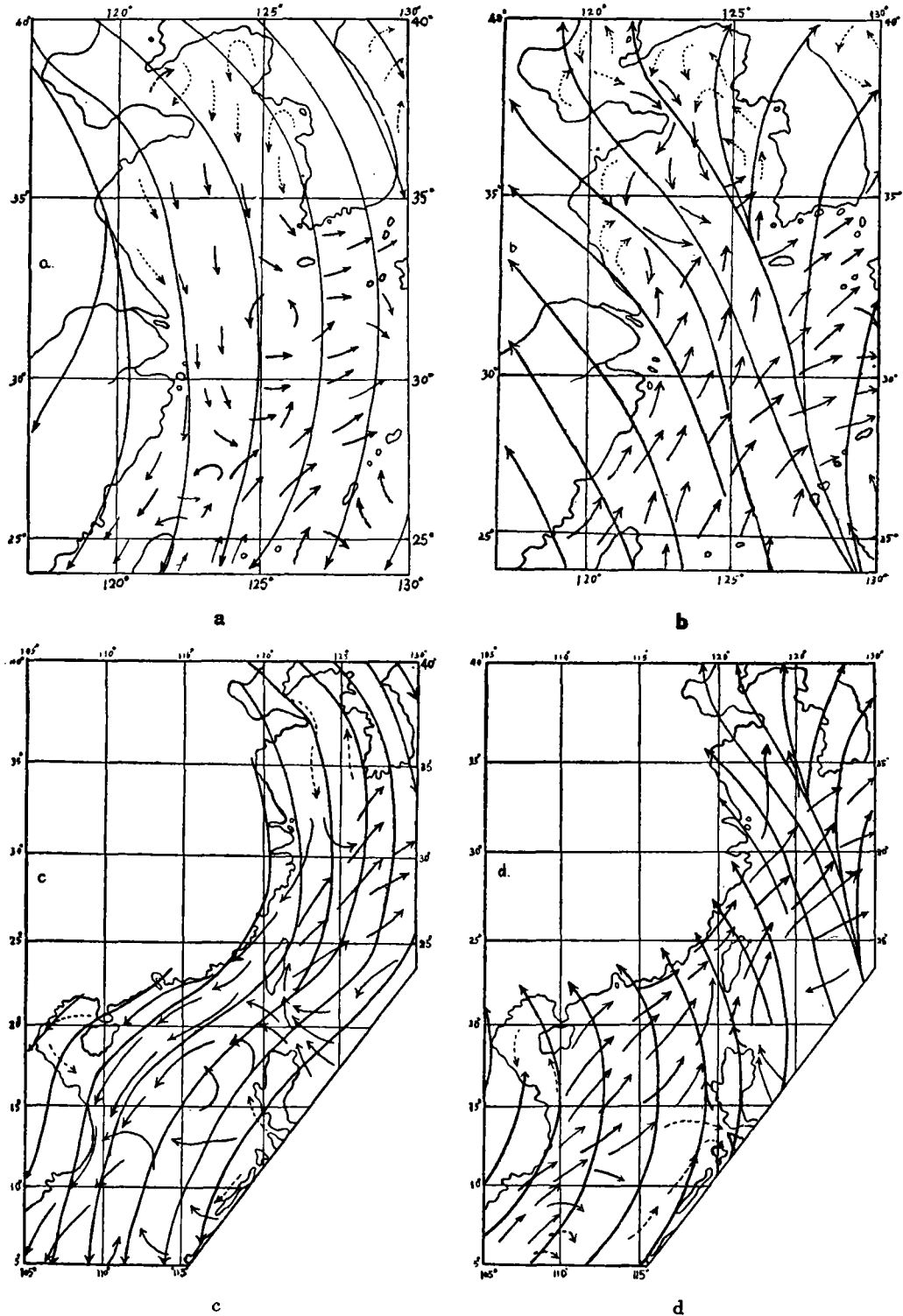


圖 2. 盛行流向(箭头)及盛行風向(流綫) a(1月), b(7月), c(1月), d(7月)  
 Fig. 2. The prevailing current directions (arrows) and the prevailing wind directions (stream lines). a(Jan.), b (July.), c (Jan.), d (July).

表 2 Tab. 2

風級 Wind Scale			流級 Current Scale		
級別 No.	風速(节) Wind Vel. (Knot)	平均風速(节) Average Wind Vel. (Knot)	級別 No.	流速(节) Current Vel. (Knot)	平均流速(节) Average Current Vel. (Knot)
1	1-3	2.0	1	0.00-0.33	0.165
2	4-6	5.0	2	0.34-0.66	0.500
3	7-10	8.5	3	0.67-0.99	0.830
4	11-16	13.5	4	1.00-1.33	1.165
5	17-21	19.5	5	1.34-1.66	1.500
6	22-27	24.5	6	1.66以上	

注：在本文所統計的資料中，風速及流速超過 6 級者甚少，故略去之。

月內，風向或流向在某一方位上的次數的百分數)兩方面。假定：風或流的每一個觀測記錄所對應的風力作用時間或海流流動時間都是相等的。因此，在某區某月內，風或流在某一方位上的頻率，與該月內風或流在該方位上的風時或“流時”成比例。計算合成向量時取各方位上的平均速度與頻率之積作為分量，並分別稱為風程<sup>[14]</sup>或“流程”。因此，這裡的程是指風或流在一個月內向八個方位上所吹過的或流過的路程的相互之比而言，或簡稱為“比程”。八個方位上的比程的合成向量，其量值除以總頻率，即得風或流在一個月內的合成速度，其方向即合成速度的方向。

這樣算得的合成風速風向及合成流速流向雖然不是實際觀測數值，但是，下面即可看出，它們在統計上却具有一定的代表意義。特別是合成速度的方向應與該月的盛行風向或盛行流向相接近。

本文擬從海流與風的這種統計數值之間的关系，來探討中國沿岸的海流和風的关系。

計算合成向量時所用的公式<sup>[14]</sup>為：

$$\text{合成流速 } C \text{ (或合成風速 } W) : C \text{ (或 } W) = \sqrt{\frac{\bar{N}^2 + \bar{E}^2}{100}}$$

$$\text{合成流向 } \alpha_c \text{ (或合成風向 } \alpha_w) : \alpha_c \text{ (或 } \alpha_w) = \tan^{-1} \frac{\bar{E}}{\bar{N}}$$

式中的  $\bar{N} = N - S + (NE + NW - SE - SW) \cos 45^\circ$ ;

$\bar{E} = E - W + (NE + SE - NW - SW) \cos 45^\circ$ ;

$N, S, \dots$  代表各方位上的流程或風程。



### 三、分析結果

#### 1. 中国沿海的風

由表 1 中所举的各区的風速風向(以下講到速度及方向时,均指合成向量的速度及方向而言),显然可以看出:在中国沿海,冬季为西北風及东北風,夏季为东南風及西南風,这与盛行季風的風向相同。風速冬强夏弱,其中又以 11 及 12 两月为最强。冬季南部較北部为强,夏季普遍地較弱。就区域言,以 4 及 5' 两区为最强,这可能与台灣海峡的地形(主要是風洞作用)有关。从这几点看来,用上述統計方法所得出的速度及方向,是具有实际的代表性的。

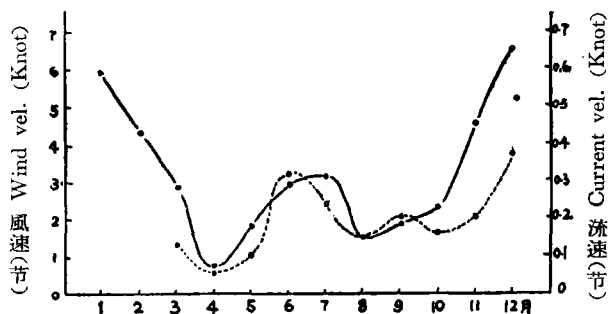
如將表 1 中所列的数值繪成圖解,便得風速及流速的年变化曲綫如圖 3。

由圖 3 可以看出,内外并列的两个海区的風速年变化曲綫具有近似的形状,可見風速随經度的变化比較小;但風速随緯度的变化比較显著,不但風速本身南大北小,即風速年变化的幅度(各区風速最大值与最小值之差)也是南大北小。这主要是由于在冬季,風速为南大北小,在夏季各区的風速普遍地較小,以及在風向轉变期各区的風速均劇降之故。在風速年变化曲綫上有一特点,即最低点均落在 4 或 5 月及 8 月(5、5'' 两区例外,落在 7 月),这与風向轉变期大致相符。此时,两种反向的風同时存在,故合成風速可能急剧减小,因此在曲綫上出現最低点。其中 4、4'、5、5'' 各区的風速年变化曲綫只有一个最低点,这点在時間上相当于風向由南轉北的时期。2、2' 各区也只有一个最低点,其時間却相当于風向由北轉南的时期。而在 1、3、3' 各区上才有两个最低点,其時間各相当于上述两个轉变期。

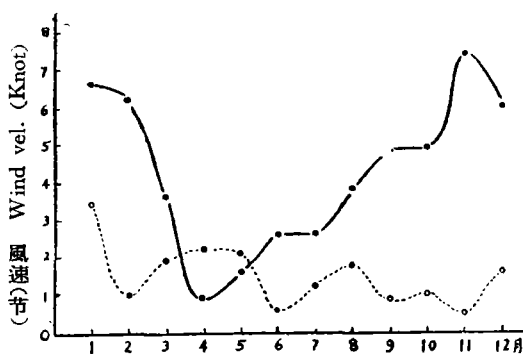
比較圖 3 上各区的風速年变化曲綫,可知曲綫分为两种类型:一种呈 V 型,另一种呈 W 型。我們試根据各区風向轉变期之早晚不同来予以解釋。

根据陶詩言<sup>[1]</sup>,一年的季节按季風可以分成三个时期即:冬季風盛行季节(10 月至次年 3 月),夏季風盛行季节(5 月至 8 月)及冬夏季風之轉变期(4 月及 9 月)。但是風向轉变期,各区早晚不一。

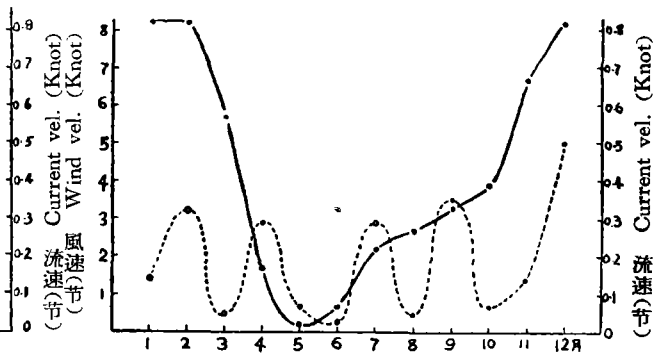
关于各区風向由北轉南的时期,前人頗多論及,如 Chevalier<sup>[2]</sup> 称 3 月間在渤海灣一带及山东半島南端各地即見东南風及西南風之盛行,4 月夏季風漸向南抵达长江流域,5 月始及台灣海峡及南部海岸。关于各区風向由南轉北的时期,尚少論及。今根据最大風程的風向(在本文所計算的例子中有 80% 以上,最大風程的風向即为頻率最大的風向,亦即为風速最强的風向)發生南北轉变的时期,提出中国沿岸各海区的風向轉变期如表 3:



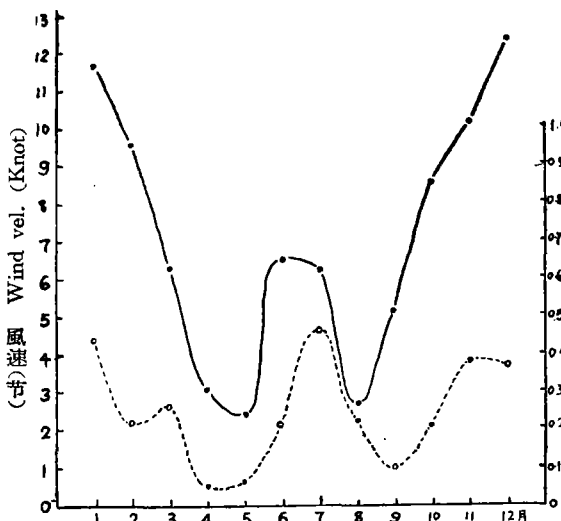
1 区 (原資料中, 1区的流速記錄缺1, 2两个月)



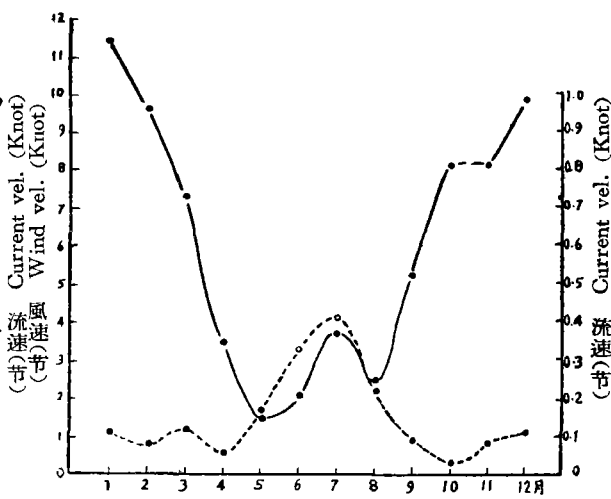
1' 区



2' 区



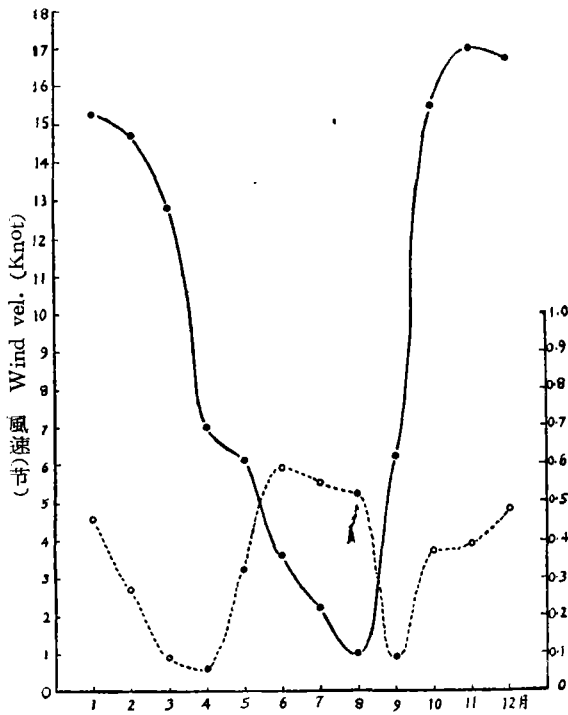
3 区



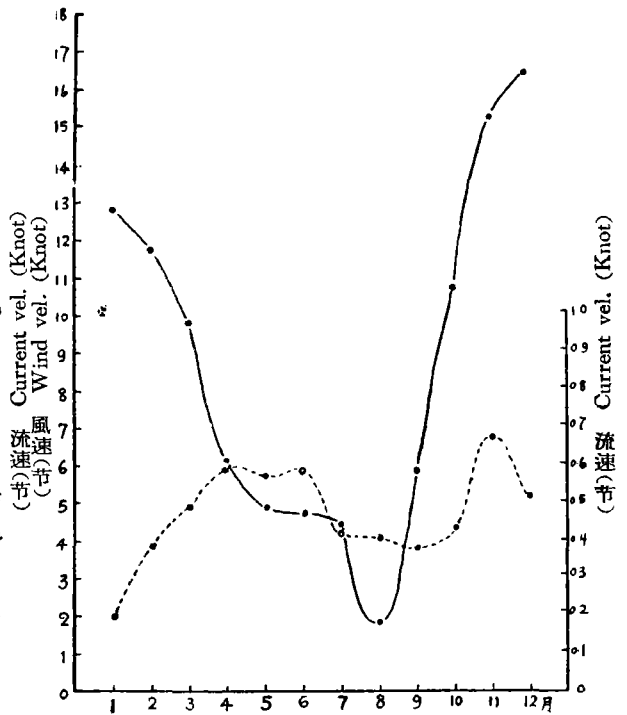
3' 区

圖 3. 中国沿海各区的合成流速(虛綫), 及合成風速(实綫)的年变化。○表示流向与風向之偏角在右偏 45° 以内之流速值。

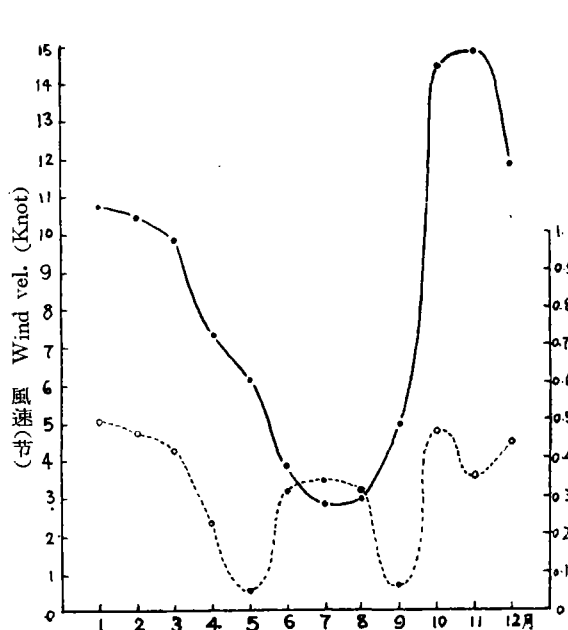
Fig. 3. Annual variations of the resultant current velocity (dotted lines) and those of the resultant wind velocity (full drawn lines) in the subregions off China Coast. ○ indicates the value of the current velocity which deflects within 45° cum sole from the wind direction.



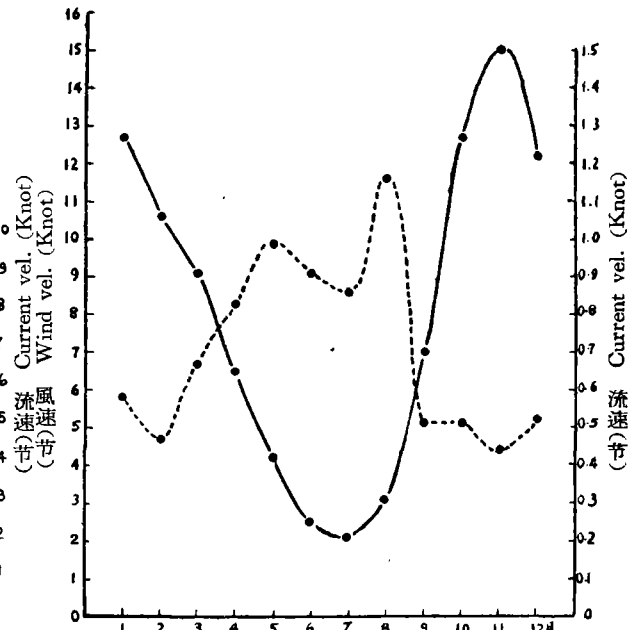
4 区



4' 区



5 区

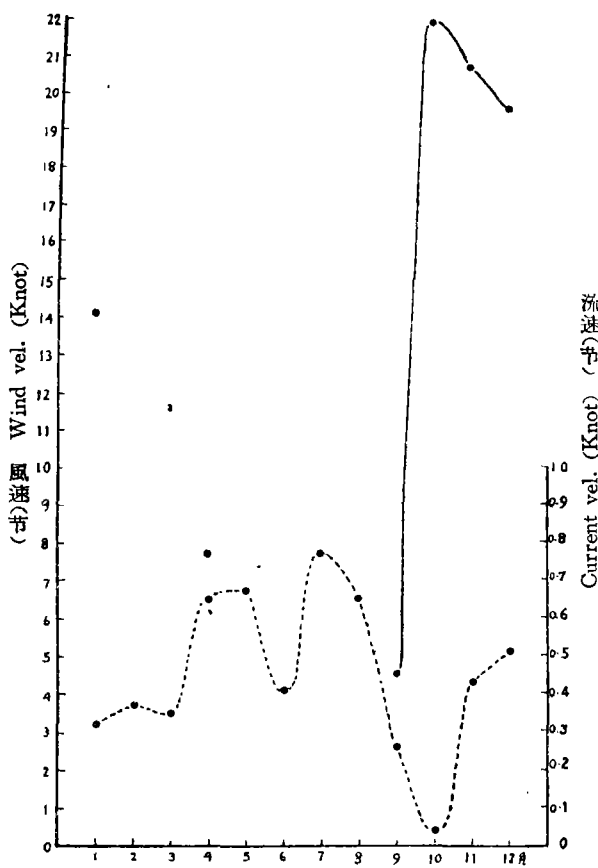


5'' 区

表 3. Tab. 3

分 区 No. of Subregion	風向轉变期 Period during which wind directions change			
	由北轉南 from N to S		由南轉北 from S to N	
1	3—4月	Mar.—Apr.	8—9月	Aug.—Sept.
2	4—5月	Apr.—May	7—8月	July—Aug.
3	5—6月	May—June	8—9月	Aug.—Sept.
4	5—6月	May—June	8—9月	Aug.—Sept.
5	5—6月	May—June	8—9月	Aug.—Sept.

風向的轉变發生在前后两月內的某一段時間，此时原方向的風已日趨削弱而反方向的風漸次增強。風向的这种交替时期，如落在同一个月內（前一月或后一月）且为期較长，則該月的合成風速急剧减小，相应地在風速年变化曲綫上出現一个最低点。如落在前后两个月之間（前一月底及后一月初）且为期較短，則前后两月的合成風速所受影响不大，因而在風速年变化曲綫的这一段上，便沒有最低点。因此，如果某区的两个風



5' 区

(原資料中, 5' 区的風速記錄缺 2、5、6、7、8 五个月)

向轉变期均發生在同一个月內，則風速年变化曲綫呈W型；如有一个轉变期發生在前后两个月之間，則曲綫呈V型。此外，在5、6、7三个月，各区風速的变化情况也不尽相同；黃、渤、东海各区的風速逐漸增強，台灣海峡以南各区的風速却逐漸衰減，这种情况对于風速年变化曲綫的形状也有影响。

## 2. 中国沿海的海流

与中国沿岸的海流有密切关系的洋流，是北太平洋里的北赤道流——台灣暖流——黑潮这一系統。北赤道流自东而西，在菲律宾东岸受阻后分成两支，一支沿Mindanao海岸南流，另一支沿菲律宾北部諸島北流<sup>[9]</sup>。后者除有一小部分流入巴士海峡外，主流沿台灣东海岸流向东北，这就是台灣暖流。流入巴士海峡的一个支流，一大部分沿台灣西海岸流向东北，出了台灣海峡

后又与其主流相合；也有一部分流入南中国海。台灣暖流的主流以后延伸为黑潮，流于日本諸島的东南岸。黑潮有两个分支：流入对馬海峡的称对馬海流，流于朝鮮西岸的称西朝鮮海流[4]。

根据表 1 的計算結果可以看出：3、4、5 各区的流向，一年之間有两次南北向的变动，其時間与風向轉变期相近；1、2 两区的流向变动較頻；但 3'、4'、5' 及 5'' 各区的流向則絕大部分時間或終年接近东北或西北。沿岸各区的流速，除風向轉变期外，南大北小，尤以台灣海峡夏季的流速为最强。5'' 区的流速終年均較各区为强，而夏季特强。这些情况均与上述海流圖相符。但必須指出，2 区(黄海东南部中国沿岸)6、7、8 三个月及 1 区(渤海及黄海北部)7、8 两个月的合成流向仍然是由南而北的。这点与苏联繪制的上述海流圖不同。可是在英国刊行的海流圖[13]上，2 区 6、7 两个月的合成流向及盛行流向也是由南而北的。

### 3. 流向与風向的关系

从上述風与海流的一般性叙述中，已可初步看出中国沿岸的海流与風的一些关系，今再比較詳細地从流向与風向的关系来加以研究。

根据上述，圖 2 中的盛行流向与盛行風向是由几种来源不同的資料重叠描繪而成的。除夏季黄渤海面的情况(圖 2b)以外，中国沿岸及南中国海的盛行流向大都略偏于盛行風向之右或互相一致，这一事实显然是与風海流的性質相符的。

試再就各区的合成風向与合成流向的計算数值来研究两者的偏角关系。沿岸各区的流向随着風向而轉变，流向大多数偏在風向之右。其中 3、4、5 各区的偏角关系最好，除風向轉变期外，大都在右偏  $45^\circ$  以內。在風向轉变期則偏角增大，而流速却相形减弱。4 区的偏角，大部分均較各区为小，尤其是在冬季，这显然是受了台灣海峡地形的限制，才使本区的流向与風向几乎趋向一致。其次是 2 区，冬季的偏角，大多数在右偏  $45^\circ$  以內，夏季的偏角不合乎規律。1 区的偏角关系很差，除个别月份外，其余的偏角均不合乎規律。外海各区，除 3'、4' 两区的夏季及 2' 区的冬季偏角关系尚好外，其余便無規律可言。尤其是 5'' 区，整年中沒有一个月，偏角关系是符合風海流性質的。

我們試更进一步从八位流向圖及八位風向圖上所表出的頻率及根据上述方法算出的風程及流程来研究流向与風向的关系。

为此，首先举出沿岸各区逐月的最大流程的流向  $\theta_c$  及对应的最大風程的風向  $\theta_w$ 。如表 4。

从表 4 可以看出：除風向轉变期外，各区最大流程的流向大多数偏在最大風程的風向之右  $45^\circ$  (因本文所利用的資料是八位向量圖，所以偏角却巧等于  $45^\circ$ )，或为一致。其中以 3、4、5 各区为最有規律，除風向轉变期外，几無例外。4 区由于地形的关系，除風向轉变期外，最大流程的流向与最大風程的風向完全一致。1、2 两区也有六个月是

合乎規律的。

其次，又将沿岸各区在八个方位上的“流頻”及其相应的“風頻”，画成“流頻多角形”与“風頻多角形”的对照圖如圖 4。海流或風在各方位上的頻率按自坐标中心至多角形各頂点的长度計算之。

我們發現 3、4、5 各区的流頻多角形与其相应的風頻多角形有这样的关系：如以最大頻率所在的方位为多角形的方向，則除風向轉变期外，前者大都偏在后者之右 $45^\circ$ ，或

表 4. Tab. 4.

分区 Subregion	1		2		3		4		5	
	$\theta_c$	$\theta_w$	$\theta_c$	$\theta_w$	$\theta_c$	$\theta_w$	$\theta_c$	$\theta_w$	$\theta_c$	$\theta_w$
1	(S) <sup>1</sup> .	S	S	S	S	S	SW	SW	W	SW
2	(S) <sup>1</sup> .	S	S	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW
3	SE	S	N	SW	SW	S	SW	SW	W	SW
4	N	N	S	S	NE	S	NE	SW	W	SW
5	SE	N	S	N	N	S	NE	SW	E	SW
6	SE	N	N	NW	NE	N	NE	NE	E	NE
7	N	N	N	NW	NE	N	NE	NE	E	NE
8	NW	NW	N	SW	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9	SE	S	S	S	SW	SW	NE	SW	E	W
10	E	S	S	SW	SW	SW	SW	SW	W	SW
11	SE	S	NW	S	S	S	SW	SW	W	SW
12	S	S	S	S	SW	S	SW	SW	SW	SW

注 1. 圓括弧內的流向，其意义見表 1 中的注 2。

为一致。而且这两种多角形多数又具有近似的形状。所以，就 3、4、5 三区而論，不但合成流向与合成風向的关系，最大流程的流向与最大風程的風向的关系符合風海流的性質，就是海流与風在八个方位上的頻率分布也大都显示出風海流的性質。

表 5. Tab. 5.

分区 No. of Subregion	平均緯度 Average latitude (度)	最大合成風速 (米/秒) Max. result- ant wind vel. (m/sec)	摩阻深度 D (米) Depth of frictional resistance (m)	$\frac{C}{W}$ 的理論值 Theoretical values of $\frac{C}{W}$	$\frac{C}{W}$ 的观测值 Average observed values of $\frac{C}{W}$	
					冬季平均值 in winter	夏季平均值 in summer
1	38.5	3.5	87	0.0161	--	0.0773
2	34.5	4.0	98	0.0170	0.0248	—
3	29.5	6.5	71	0.0182	0.0303	0.0517
4	25.0	9.0	105	0.0196	0.0218	0.2070
5	21.5	8.0	100	0.0211	0.0371	0.1033

但是在 1、2 两区的流頻与風頻多角形上，上述关系表现得明显。

最后，更就 Ekman 的風海流理論来討論中国沿岸的流向与風向的偏角。为此，根据沿岸各海区的最大合成風速及平均緯度（各区中心的緯度），按照公式<sup>[15]</sup>算出摩阻深度  $D$  如表 5 中的第 4 項。

根据偏角与  $H/D$  ( $H$  为海深) 的关系<sup>[10]</sup>，当  $\frac{H}{D} \geq 0.5$  时，在北半球，流向偏于風向之右  $45^\circ$ 。因此，由表 5 中的摩阻深度可知，中国沿海（3 区除外）大約在 50 米等深綫以外的地方，对应于各区的最大合成風速，風海流的偏角关系仍可按深海的情况来考虑；在此等深綫以內，偏角的度数会有不同程度的减小。但是，根据中国沿岸各海区的地形，在本文所划分的同一区域内，深度变化是相当大的；因此一区之中有些地方的偏角关系可按深海情况来考虑，而另一些地方則应按照不同的  $H/D$  的淺海情况而定。表 1 中所示的偏角关系比較复杂的原因可能与上述情形有关。

#### 4. 流速与風速的关系

現在再根据各区的風速年变化曲綫与流速年变化曲綫及流速与風速的比例  $\frac{C}{W}$  来研究中国沿岸的海流与風的关系。

为此，把沿岸各海区根据理論公式<sup>[15]</sup>計算所得的  $\frac{C}{W}$  值及根据本文資料計算所得的  $\frac{C}{W}$  的平均值（分冬季、夏季两值，只限于偏角合乎規律的各月）列于表 5，借資比較。

在依次討論各区的情况之前，首先必須指出一点，即在圖 3 中，內外并列的两个海区的流速年变化曲綫，其形状頗有差异。

1 区：根据上述，这区的偏角关系較差，所以，流速年变化曲綫与風速年变化曲綫的形状虽然比較接近，却不能据此以說明海流与風的关系。但是上面已經指出，本区最大流程的流向与最大風程的風向尚有六个月是一致的，而且个别月份的偏角也符合風海流的性質，这也不是偶然的事，因此，本区的海流，还是带有一部分風海流性質的。

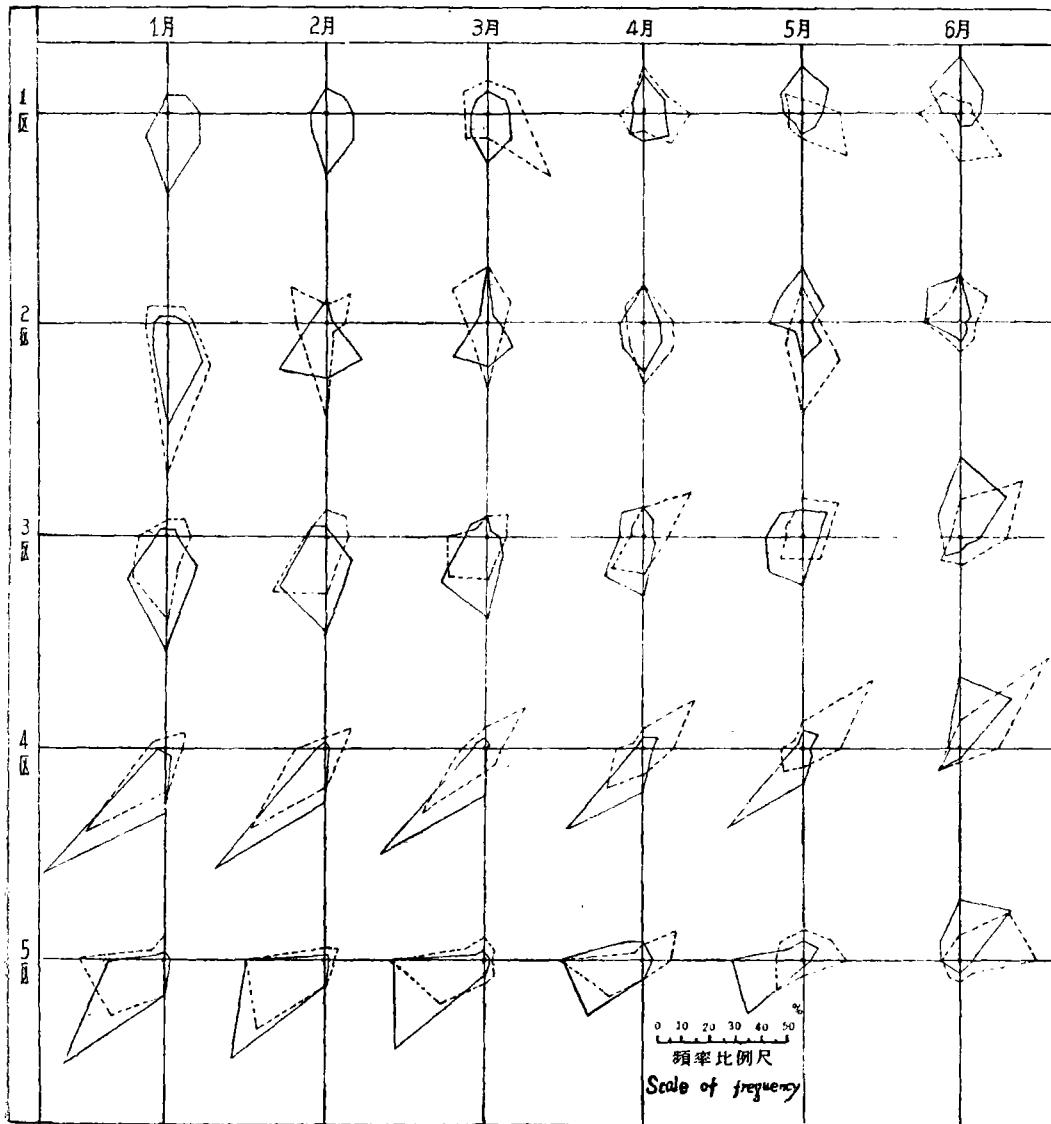
这里必須指出，即我們判断海流的性質时，主要是以流向与風向的关系为准，因为如果方向上没有关系，速度上的关系是没有意义的。此外，因当时觀測所采用的是漂移法，故記錄的可靠性不大，其中速度的可靠性又較方向为差，所以判断海流性質的标准更以方向的关系为宜。流速与風速的关系可以进一步肯定海流的性質或者闡明一些有关的情况，例如其他性質的海流的影响等等。

2 区：本区的两条年变化曲綫，虽然彼此的形状并不十分相似，但本区冬季的偏角关系較好，而且  $\frac{C}{W}$  冬季的平均值与理論計算值相当接近，所以本区在冬季，風海流的性質是比較明显的。在夏季，从偏角关系中就看不出風海流的性質，可是根据 6、7 两个月最大流程的流向偏于最大風程的風向之右  $45^\circ$  这一事实，本区夏季的海流还是带有一部分風海流性質的。

不过从流速年变化曲线的起伏情形可知,本区的海流是相当复杂的。

关于黄渤海沿岸各区的海流比较复杂的原因,作者初步推测,认为与这一带的地形特殊,因而引起其他非风力因素的海流有关,这点下面将予以探讨。

3区: 本区的两条曲线,形状很近似。再由表1、表5可知,不但  $\frac{C}{W}$  冬季的平均值及其夏季的平均值,都与理论计算值相当接近;而且冬季各月的  $\frac{C}{W}$  值与其平均值的偏





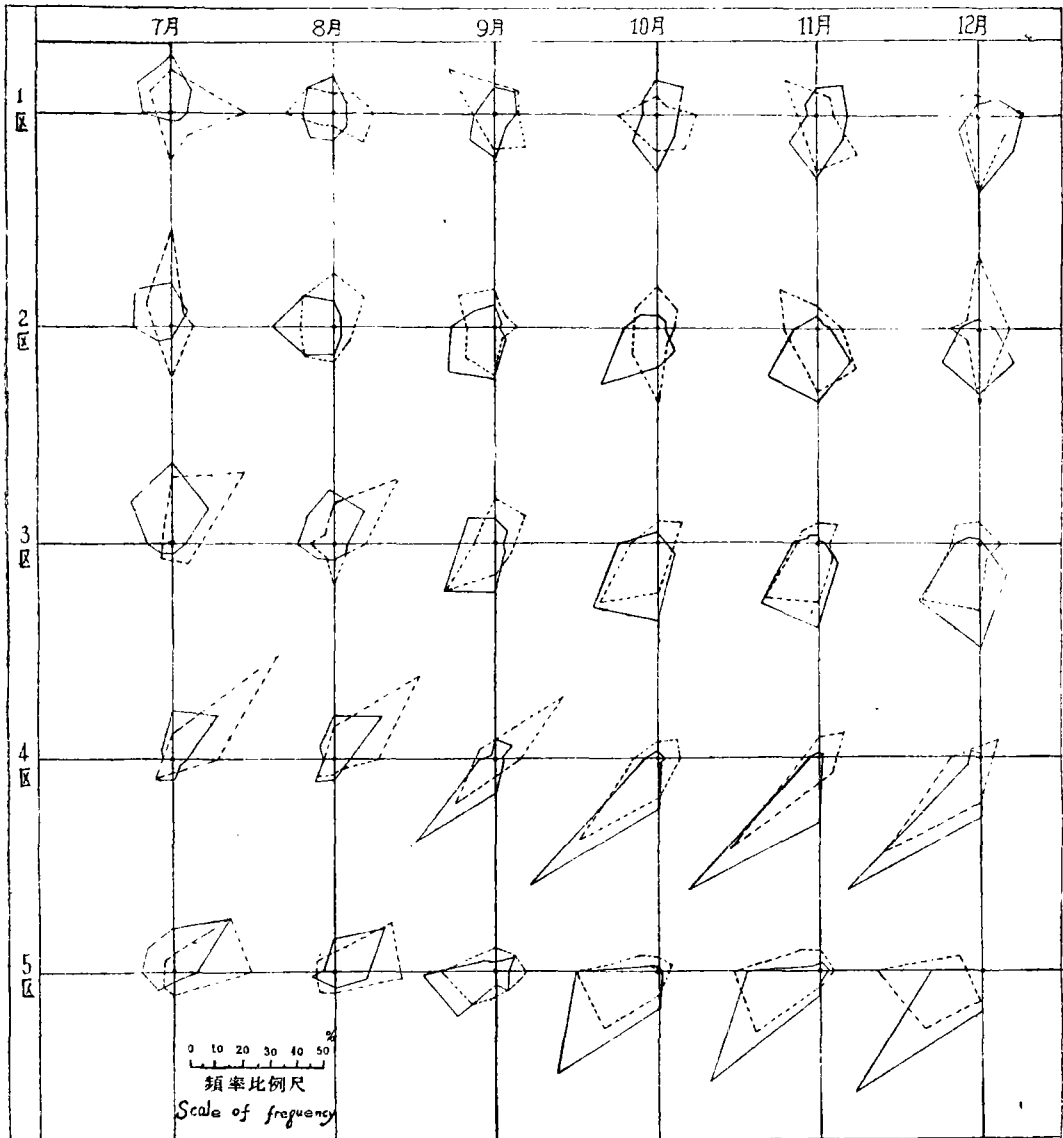


圖 4 中国沿岸各海区的流頻多角形(虛綫)及風頻多角形(實綫)。  
 Fig. 4 "Polygons" of the current frequency (dotted lines) and those of the wind frequency (full drawn lines) in the subregions along China Coast.

差也很小。所以本区的海流不但在方向的关系上，而且进一步在速度的关系上表现出明显的風海流性質。另一方面，从  $\frac{C}{W}$  的平均值冬季較小，夏季較大的情形可以看出，本区的風海流多少也受到台灣暖流的一些影响。在冬季，季風所引起的海流的流向与台灣暖流的流向相异或相反，故  $\frac{C}{W}$  减小；在夏季，季風所引起的海流的流向与台灣暖流的流向相近或相同，故  $\frac{C}{W}$  增大。

3' 区与 3 区并列，由表 1 可知，在冬季这两区的風速風向相差是很小的，但海流的情况两区頗有不同。3' 区在冬季却完全看不出有風海流的性質。由圖 3 及海流圖<sup>[12]</sup> 可知，这区整个冬季的合成流速均極微弱，且常有渦流形成；又根据表 1，2' 区（黃海中南部朝鮮沿岸）1、2、3 三个月的合成流向偏南，而且这几月的偏角关系均合乎風海流的性質；所以 3' 区可能是北上的台灣暖流与冬季沿朝鮮西岸南下的風海流交会之处。在夏季，也由于台灣暖流的影响，3' 区的風海流得到很大的增强， $\frac{C}{W}$  夏季的平均值 (0.1339) 較 3 区的大得多。

台灣暖流对 3 及 3' 两区的海流的影响所以有这样大的差异，主要是由于这两区的位置使然。由圖 1 可知，3 区位于台灣暖流“流域”的边緣，而 3' 区有一大部分正位于“流域”的中心<sup>[4]</sup>，所以 3' 区所受的影响显然較 3 区为大。

4 区：本区两条曲綫的冬季部分其形状比較近似， $\frac{C}{W}$  冬季的平均值与理論計算值也相当接近（但較 3 区的为小）。所以在冬季，4 区的海流也呈现出明显的風海流性質。两条曲綫的夏季部分其趋势仍然相似，但  $\frac{C}{W}$  夏季的平均值甚大，約为理論計算值的 10 倍。显然，其他性質的海流此时已占主导成分。上面業已指出，由巴士海峡流入的台灣暖流，一大部分是沿台灣西海岸流向东北的，所以本区的位置正是首当其冲，本区海流所受台灣暖流的影响当然要比 3 区的大得多， $\frac{C}{W}$  的平均值的变动也远較 3 区的为大。

5 区：本区的流速年变化曲綫，在形状上与 3、4 两区的頗近似，均呈 W 形。在冬季， $\frac{C}{W}$  的平均值与理論計算值比較接近；在夏季， $\frac{C}{W}$  的平均值增大，約为理論計算值的 5 倍。显然，本区的風海流也受了其他性質的海流的影响。作者推测，这可能与台灣暖流入南中国海的分支有关。

如上所述，中国东南海沿岸的風海流，在夏季因台灣暖流而增强，各区  $\frac{C}{W}$  的觀測数值，此时固然应較理論計算值为大（尤其是 4 区相差更大）；可是，在冬季，虽然風海流因台灣暖流而削弱，但各区  $\frac{C}{W}$  的觀測数值此时仍然稍大于理論計算值。同时根据日本近海的觀測結果<sup>[4]</sup>， $\frac{C}{W}$  的值在 0.02—0.05 之間。所以作者初步認為就中国沿岸及日本近海而論，純風海流的  $\frac{C}{W}$  的經驗系数，当較 Mohn, Nansen 及 Ekman<sup>[15]</sup> 所得出者为大。

5'' 区是台灣暖流的起点，流向終年無大变动，流速均較各区为大。从这区的流速年变化曲綫可以看出，台灣暖流是夏强冬弱，并且流速相差約有一倍。这点，除了与台

灣暖流本身季节变化有关以外，强劲的冬季風对它是有一定影响的。可惜，关于台灣暖流本身季节变化，我們沒有具体的資料，因此上面的論述也有待进一步的研究。

比較 3、4、5 三区的風速年变化曲綫与流速年变化曲綫可知，它們之間有一个重要的共同点，就是流速年变化曲綫的最低点与冬、夏季風速最小值的位置有这样的关系：在風向由北轉南时期，流速年变化曲綫的最低点落在冬季風速最小值的同一个月或前一个月；在風向由南轉北时期，流速年变化曲綫的最低点落在夏季風速最小值的后一个月。其中的原因可以根据台灣暖流的影响来加以解釋。

在夏季，这三区風速的最小值都出現在 8 月（其中 5 区例外，出現在 7 月，但只稍小于 8 月），所以在本月夏季風所能产生的風海流甚弱，但此时台灣暖流的流向与風海流的流向相近或相同，而且 8 月又是台灣暖流特强之时，故流速得到增加。9 月是風向开始由南轉北的时期，風速尚弱，其量值只略大于 8 月，因此在本月冬季風所能产生的風海流也弱，同时受到流向相异或相反的台灣暖流的影响，流速才更形削弱（4 区所受影响最大，台灣暖流变为主要成分，以致流向几乎与風向相反，見表 1）。因此这一段流速曲綫上的最低点落在 9 月而不在 8 月。到了 10 月，冬季風迅速增强，它所产生的風海流足以克服台灣暖流的影响而有余。类似地我們也可以用来解釋風向由北轉南时期的情形。

最后我們把沿岸各海区的流速年变化的幅度与对应的風速年变化的幅度加以比較，如圖 5 所示。

由圖可知，两者都有南大北小的情形，其中 4 区又因受台灣海峽地形的影响而特大。此外，流速年变化的幅度几乎是按比例地随着風速年变化的幅度而增大。

5. 中国沿岸的海流与沿海的地形及季風，台灣暖流本身性質的关系。

根据上面盛行流向与盛行風向的对照，合成流

速流向与合成風速風向的比較以及合成向量的各相应分量等等的分析，可以看出中国沿岸各海区的海流都在不同程度上表现出風海流的性質。其中 3、4、5 三区表現得相当明显，尤其是 3 区；1、2 两区表現較差，特别是 1 区。

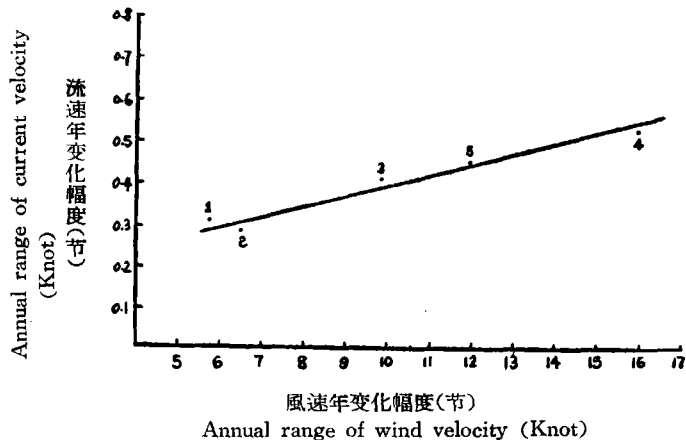


圖 5 中国沿岸各海区合成流速的年变化幅度及合成風速的年变化幅度

Fig. 5 Annual ranges of the resultant current velocity and those of the resultant wind velocity in the subregions along China Coast.

这里必然会提出这样一个问题：风海流的性质，从地区言，为什么与台湾暖流比较接近的因而受其影响较大的东南海沿岸各区反而相当明显，而距离台湾暖流较远的黄渤海沿岸各区却较不明显？再就东南海沿岸一带而论，为什么在季风的风向与台湾暖流的流向相反的冬季里，反而要比在两者的方向一致的夏季里明显？要答复这个问题，必须从中国沿海的地形及季风与台湾暖流这两者的性质各方面来加以考虑。

讲到中国沿海的地形，首先必须考虑台湾的位置。上面已经提到，北赤道流北上的主流是沿着台湾东海岸经过的，及于东南海沿岸各海区的是主流的边缘及由巴士海峡流入的支流。根据巴士海峡内外流速的比较[5'区最大合成流速为 1.16(节,下同),最小为 0.44; 5'区最大合成流速为 0.77,最小为 0.04],可以看出台湾的位置显然是起着屏障作用。如果没有台湾作为东南海沿岸各海区的屏障,则 3、4、5 三区的海流,至少是 4 区,可能会引起根本的变化,流向也许像 5''、4'区一样地终年无大变动了。其次,如上所述,季风是冬强夏弱,而台湾暖流则是夏强冬弱,故东南海沿岸一带的风海流所受台湾暖流的影响冬季较夏季为少,因而风海流的性质亦以冬季比较明显。

由上述可知,台湾暖流对于 3 区的影响已不大,并且长江口以北的海岸线是逐渐向西偏斜,而台湾暖流是向东偏转的,所以台湾暖流不易深入 2 区。但是 1、2 两区却受到其他海流的影响。例如,在夏季,当西朝鲜海流沿朝鲜西岸北上经过黄海北部而进入渤海的同时,由于渤海地形的半封闭性,会有另一部分海水随着自各河口流入渤海的陆水经渤海海峡流出,再沿山东半岛及江苏北部的海岸南下,因此就产生了与夏季风向相反的沿岸流[5]。其次,2 区正位在山东半岛及长江口两个突出尖端之间,中间的海岸线形成内凹状,所以沿东海海岸北上的海流以及自山东半岛东端南下的海流,经过本区时,在内凹区域都容易引起小环流[6],兹举出比较明显的两个例证[12]如图 6a,b 所示。

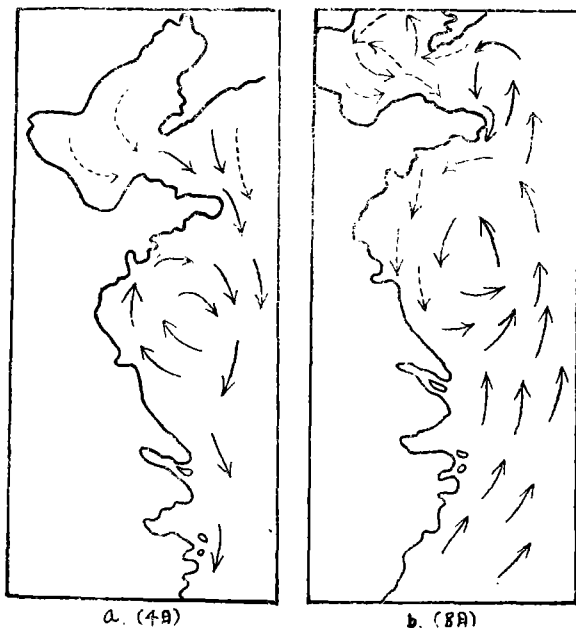


图 6 2区的小环流

Fig. 6 An eddy in subregion 2.(after[12]).  
a. (Apr.), b. (Aug.).

这两点可能就是使 1、2 两区的  
风海流受到相当大的干扰的一部分  
原因。

#### 四、結 論

(1) 根据盛行流向与盛行風向的对照，合成流速流向与合成風速風向的比較以及合成向量的各相应分量的分析等等的初步研究，本文作者認為：北起渤海南至南中国海，中国沿岸的表面海流，在性質上是一个以風海流为主的流系。台灣暖流以及因沿海地形所引起的其他性質的海流是主要的两个干扰因素。

(2) 中国沿岸各海区的流向与風向的偏角：在东南海沿岸各海区，除風向轉变期外，偏角大都在右偏  $45^\circ$  以內；在黃海中南部沿岸海区，冬季的偏角大部分合乎風海流的規律，夏季的偏角不合乎規律；渤海及黃海北部海区的偏角合乎規律的很少。

(3) 东南海沿岸各海区虽然接近台灣暖流，但由于台灣的屏障以及冬季風的強勁，風海流的性質仍然相当明显，其中更以 3 区为最明显。又因季風是冬强夏弱而台灣暖流却是夏强冬弱，故东南海沿岸一带的風海流所受台灣暖流的影响冬季較夏季为少，因而風海流的性質亦以冬季較为明显。

(4) 黃渤海沿岸各海区因受渤海半封閉地形以及长江口与山东半島之間的海岸綫形状的影响，引起其他性質的海流，所以風海流的性質表現較不明显，尤其是 1 区。

(5) 中国沿岸各海区的  $\frac{C}{W}$  的觀測数值：在偏角合乎規律的各月內，冬季的平均值在 0.02—0.04 之間，与理論計算值接近而稍大；夏季的平均值均較理論計算值大得多，最大为 4 区，約为理論計算值的 10 倍。

(6) 中国沿岸各海区的流速年变化幅度及相应的風速年变化幅度都是南大北小，尤以 4 区(台灣海峽)的为最大；而且流速年变化幅度几乎是按比例地随着風速年变化幅度而增大。

(7) 为了进一步探討这个問題，除了必須在中国沿岸各海区进行表面海流与風的同时觀測以外，还須調查海面下各層的海流以及温盐度等其他水文要素，以便再从各層海流及水团的分析来研究沿岸海流的性質。同时为了从海流觀測資料中将潮流成分予以分离，更須擇点进行海流的連續(最好达 15 昼夜的)觀測。

致謝：本文承赫崇本先生热忱指导与啓發，毛汉礼先生多方帮助与鼓励，赵九章、景振华先生提出寶貴的意見，王彬华先生审閱全文，金鼎华同志切磋討論以及在計算上的帮助，作者在此謹致以衷心的感謝。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 陶詩言, 1948. "中国近地面層大气之运行", 气象研究所集刊, 15 卷 4 号。
- [ 2 ] 涂长望、黃仕松, 1944. "中国夏季風之进退", 气象学报, 第 18 卷, 81—92 頁。
- [ 3 ] 日本水路部, 1925. "日本近海の气象海流圖"。
- [ 4 ] 須田皖次, 1933. "海洋科学", pp. 405, 459—460 及 99—101 圖。

- 
- [5] 宇田道隆, 1932. “日本海及ひ其邻接海区の海況”, 水产試験場報告第5号, 第48圖。
- [6] 野滿隆治, “海洋”, 第94圖(1950, 蔡源明等中譯本)。
- [7] Введенский Б. А., 1954. “Большая Советская Энциклопедия”, Том 30, стр. 578—581.
- [8] Макаров С. О., 1950. “Океанографические Работы”, стр. 213.
- [9] Добровольский А. Д., 1949. “Карты Поверхностных Течений Северной Части Тихого Океана, Труды Института Океанологии. Том III.
- [10] Истошин Ю. В., 1953. “Океанография” стр. 128.
- [11] U. S. Hydrographic office, 1944. “Current Charts Northwestern Pacific Ocean.”
- [12] U. S. Hydrographic office, 1945. “Ocean Currents in the Vicinity of the Japanese Islands and China Coast”.
- [13] Gt. Brit. Meteorological office, marine branch, 1949, “Quarterly Surface Current Charts of the Western North Pacific Ocean (Second edition).”
- [14] Conrad V. & Pollak L. W., 1950. “Methods in Climatology,” pp. 178—184.
- [15] Sverdrup-Johnson-Fleming, 1946, “The Oceans” p. 494.