

东海黑潮变异研究的若干结果*

管秉贤

(中国科学院海洋研究所)

黑潮为北赤道流的延续体,起源于中国台湾省的东南海域,沿台湾东岸流向东北,并流过东海,然后向东流向日本以南的太平洋。黑潮及其变异,不仅控制着几乎整个东海及其邻近海域的水文情况,并且也对我国东南沿岸地区的气候变迁有着显著的影响。

六十年代初期以来,在我所曾呈奎、毛汉礼两位教授的热情指导与鼓励下,我们对黑潮及其变异的研究,给予了很大的关注。主要课题为:(1)台湾以东及东海区域黑潮的流速结构以及它和海底地形的关系;(2)黑潮流速流量的季节变化和多年变化;(3)黑潮邻近海域的海流。

这一研究旨在根据观测结果以及动力学的分析探求黑潮的变异规律,以期将来有可能开展黑潮变异的趋势预报。

通过水文和海流历史资料,特别是CSK资料的分析研究,我们在这方面完成了下列几项工作:

对于东海的黑潮,我们取G断面为例,研究了:黑潮流速、流量的分布和变化以及与地形的关系(管秉贤,1964)^[1],1956—1975年期间黑潮表层流速的变动(管秉贤等,印刷中)^[6]。

对于台湾以东的黑潮,研究了:台湾岛和附近海底地形对黑潮途径的影响(管秉贤,1978a)^[2];苏澳—与那国岛断面上黑潮的流速结构及其季节变化(管秉贤,印刷中)^[5]。对于台湾西岸海区,研究了台湾海峡中的月平均表层流速与两岸月平均水位差的关系(管秉贤,印刷中)^[4]。

此外,我们对黑潮邻近水域,例如南海的海流系统也甚感兴趣。通过对1966—1968年冬季所得CSK资料的分析,我们在地转流场上发现:大约在 19° — 22° N之间,即北回归线以南附近,存在着一支狭窄但流速相当大的呈带状结构的东北向流,亦即冬季逆风流动的海流。我们称之为“南海暖流”。

南海暖流出现在黑潮以西海域,而副热带逆流则出现在黑潮以东海域。通过对这两支海流的地理位置、水文特征和流速结构的比较分析,可以明显地看到,它们是十分相似的,从而南海暖流可以定性地认为是“南海的副热带逆流”(管秉贤,1978b)^[3]。

在本文中,重点是阐明东海G断面(位于琉球群岛的西北方,见图1)上二十年期间(1956—1975)黑潮表层流速的变动情况。这对整个黑潮流系变异问题的合作研究来讲,

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第504号;本文曾在黑潮及毗邻水域合作调查(CSK)第四次学术讨论会(日本东京,1979年2月14—17日)上宣读过。

本文得到我所路成铭、范继铨、刘举平、吕彩霞等同志在绘图、计算及准备文稿方面的热情帮助,谨此致以衷心的感谢。本刊编辑部收到稿件日期:1979年4月15日。

肯定是有意义的。

本文系作者研究东海黑潮变异问题的第二篇文章。流速资料全部来自日本气象厅出版的“气象厅海洋气象观测资料”(Nos.19—58; 其中缺 No.20 及 No.30 两册)。表层流用电磁海流计(GEK)观测,共54个航次,凡660余个海流记录。在本文中,将每一航次所观测到的最大流速($W_{o,max}$)的位置作为黑潮流轴所在处。本文主要是分析这种最大值的分布和变化。

在本文计算中,将自 G_8 到 G_1 站之间约长130余海里的断面划分为12个分区。每一分区内,与断面正交的表层流速分量的平均值(V_o)如图1中的点线所示。实线系在1956—1961年期间观测的相应的平均值(见管秉贤,1964,图1)^[1]。这两条曲线几乎完全重合。这一结果表明,如就气候式的平均状况而论,黑潮及其右侧逆流的表层流速的分布,实在是稳定的。6年及20年间观测到的结果,几乎是一样的。还有,最大流速都位于海底坡度最陡处亦即海底廓线的拐点附近。这一关系的动力学是值得我们进一步研究的。

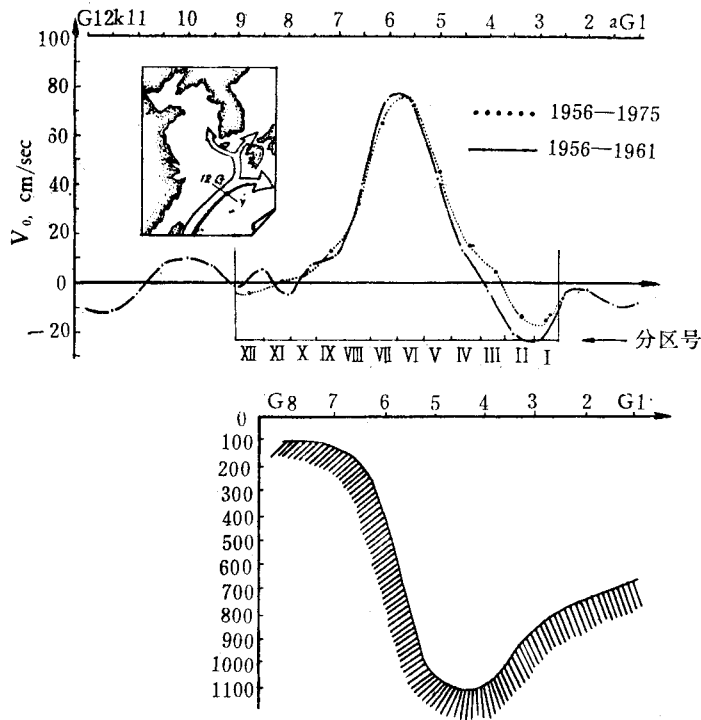


图1 G断面的位置、海底地形以及断面上表层流速的分布
(下图纵坐标为深度,米)

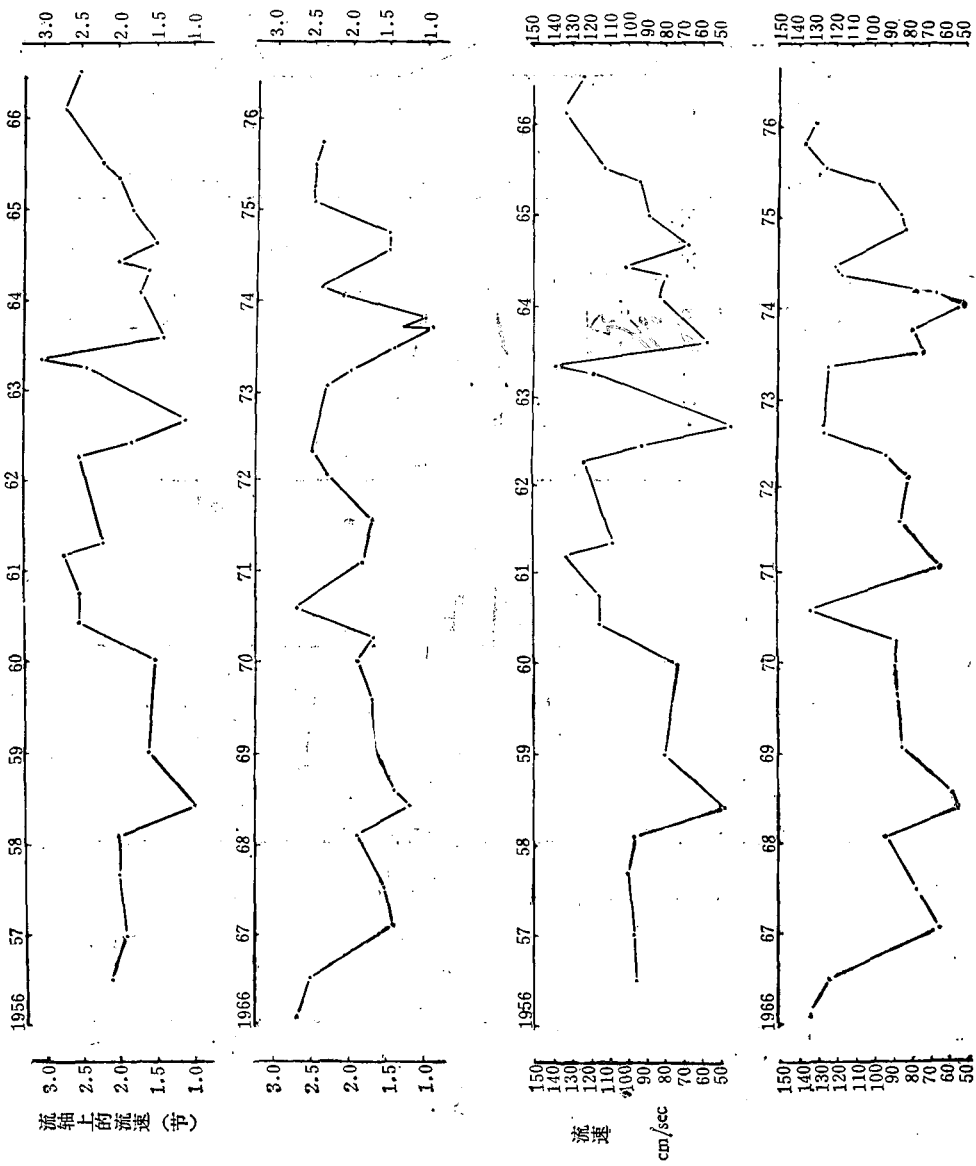
图2列举了二十年期间(1956—1975)黑潮的变动情况。从这些观测结果中可以明显地看出,如就黑潮流轴的位置,流向和流幅(指流速 ≥ 40 厘米/秒的部分)而论,在这期间东海黑潮的变动并不大,在这54个航次中,其变动幅度如下:

(1) 黑潮流轴均位于第IV—IX分区之间,其中,位于第VI—VII分区之间者47次,位于第VI分区上的28次;

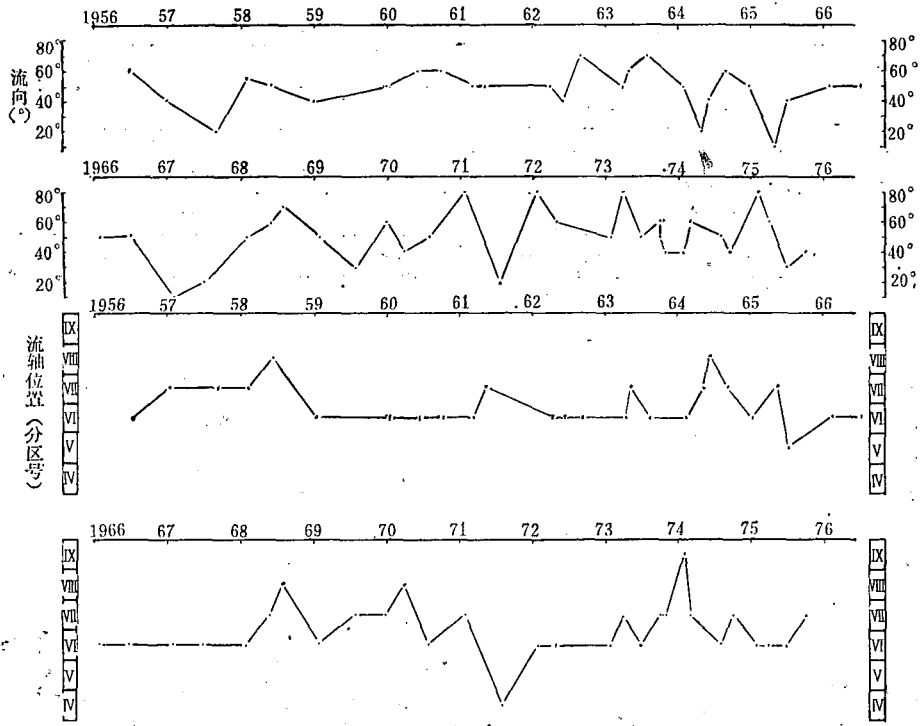
(2) 黑潮流向均落在 10° — 80° 之间,其中,指向 40° — 60° 之间的39次,指向 50° 的17次;

(3) 黑潮的流幅变动在 10—80 海里之间,其中,变动在 30—60 海里之间的共 42 次, 40—50 海里之间的共 26 次。

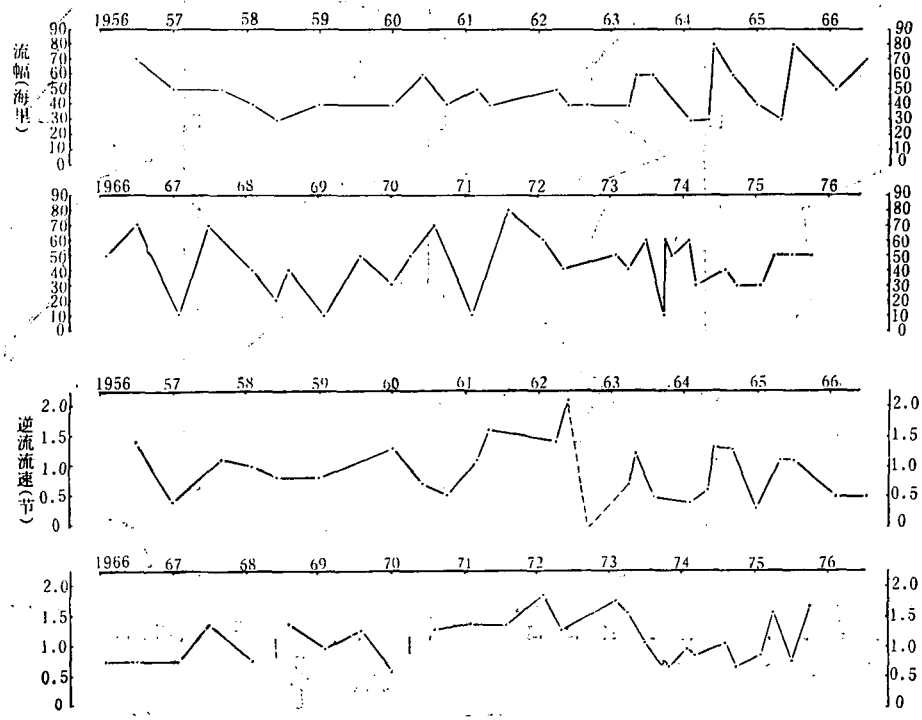
所以,黑潮确为一条非常狭窄的西部边界流。本文作者认为,黑潮的上述主要特征(即流速分布颇为稳定,流轴位置、流向和流幅的变动不大),是与东海的陆架和陆坡的地形效应紧密相关的。东海中的黑潮,其流动受到海底地形的强烈控制:顺流左侧毗连水深在 100—200 米之间的陆架外缘部分,右侧下有陆坡的隆起,稍远处又有琉球群岛作为屏障。因而,在这方面东海中的黑潮与日本以南的黑潮是颇为不同的。在后者,经常观测到大而比较稳定的弯曲;而在前者,除了在台湾省东北方的海域中秋、冬季可能出现小的



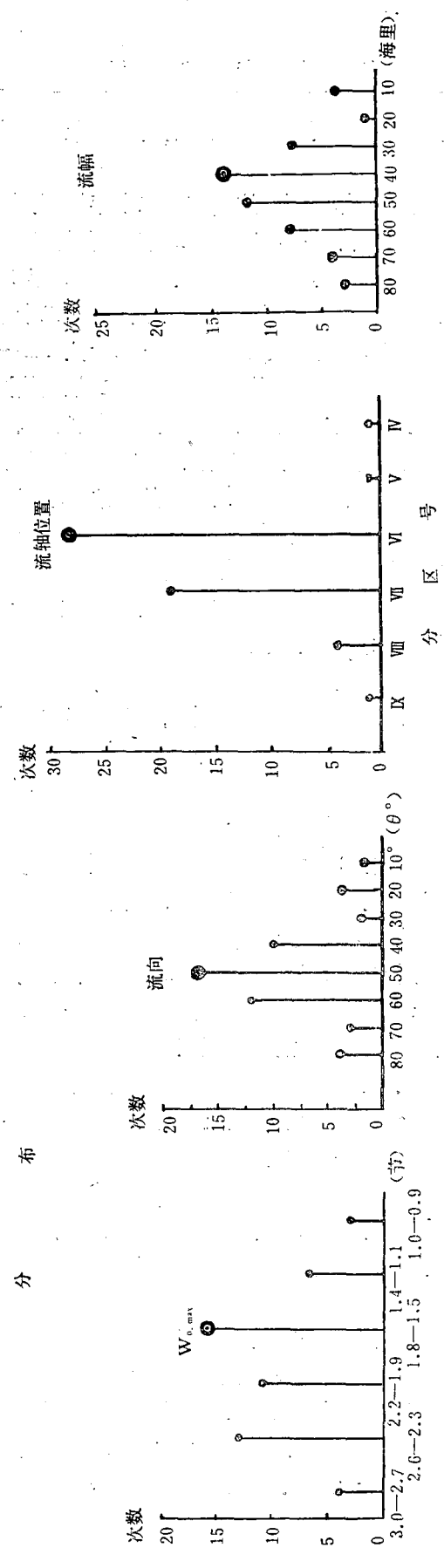
a



b



c



d

图2 黑潮流轴位置、流速、流向和流幅以及逆流流速的变动(1956—1975)和分布

弯曲外,在东海在这二十年间还没有观测到有显著的弯曲现象。作者认为,这主要也与地形的影响有关。

反之,黑潮流轴处流速的变化却是颇大的。在这二十年期间,表层最大流速($W_{o,max}$)的变动幅度超过 2 节(0.9—3.0 节),平均流速为 1.9 节。所以,变动幅度等于或略大于这一时期的平均速度。最大流速为 3 节,流向为 60° ,这是 1963 年 4 月在第 VI 分区上观测到的。根据观测结果,最小流速出现在 1973 年秋季,这是二十年间黑潮最弱的时期。再从流速分布的方直图来看,有两个峰值(分别为 1.5—1.8 节,2.3—2.6 节),出现次数共占一半以上。 $V_{o,max}$ 具有同样的变动情况(见图 2 中的第二组曲线)。

在 54 次观测中,有 51 次在黑潮右侧都观测到有逆流出现,只有 1962 年 8 月未观测到逆流,此时黑潮右侧仍为微弱的偏北向或东向流所占。其他两次在黑潮右侧未进行测流。所以,黑潮右侧所出现的逆流,实是一个经常性的现象。不仅如此,逆流流速还是比较大的。表层逆流的流速达到 2.1 节(出现在 1962 年 5 月,流向为 170°),最大逆流的平均值为 0.9 节,几乎达到了黑潮流轴处平均流速的一半。其变动幅度亦较大,变动在 0.3—2.1 节范围内。出现最频的流速为 1.1 节和 0.5 节,两者共占十分之三左右。

由于黑潮流速的变动比较大,本文着重对黑潮流速的多年变化和季节变化进行了分析研究,得出了下列一些有意义的重要关系。

在这二十年间,G 断面上黑潮表层最大流速($V_{o,max}$) 按年按月的平均值(厘米/秒)见表 1。总的来看,各年的观测次数,基本上是均匀的;各月的观测次数,除 12 月份没有观测,2 月观测较频,9 月及 11 月观测较疏外,大体上也是均匀的。根据这些资料,在这二十年间黑潮表层流速的多年变化及季节变化如图 3 所示。

1. 多年变化 这段时间内,G 断面上表层最大流速($V_{o,max}$) 的年平均值的时间序列曲线(见图 3a 中的第一条曲线)和日本以南海域中黑潮平均流速的相应曲线(见图 3a 中的第二条曲线,根据 Nitani, 1975)^[7]具有相似的变动趋势。但 G 断面上黑潮变动的位相却比日本以南海域中的黑潮约早两年。例如,在 G 断面上,黑潮流速在 1958—1959 年偏低,在 1960—1966 年偏高;而在日本以南海域,则为 1959—1962 年偏低,1962—1968 年偏高。这一关系比较清楚地表明,黑潮各段甚至副热带流涡各分流系之间的变动是趋向于相互联系的(White, 1975)^[8]。如果这种关系将来也存在的话,则东海黑潮的变动,也许可以作为大约两年以后日本以南海域中黑潮变动的一个征兆。当然,出现为期约为两年这一位相差的原因,是值得注意和研讨的。

2. 季节变化 根据多年资料平均得出的黑潮表层最大流速,其最大值出现在春季(3 月),最小值出现在秋季(11 月,见图 3b 的第一条曲线)。这种流速值的每两个月(如 1 月及 2 月,3 月及 4 月,等等)的平均值,也具有类似的变动趋势,即春强而秋弱(见图 3b 中的第二条实线)。

为了探索 G 断面上黑潮表层流速季节变化的原因,再将上述每两个月的平均流速和相应时期北太平洋上夏威夷群岛附近的每两个月的风应力涡度的平均值($\text{Curl}_z \tau$)作了比较(见图 3b 的中部)。我们发现,当风应力涡度值的位相较黑潮流速值向前移动(即提早)两个月时,两者的相关关系颇为显著,相关系数达 81%。当然,这仅是一个平均或气候式的图景。为了进一步验证这一关系,再取观测时期为 1—2 月份的各个航次所得的

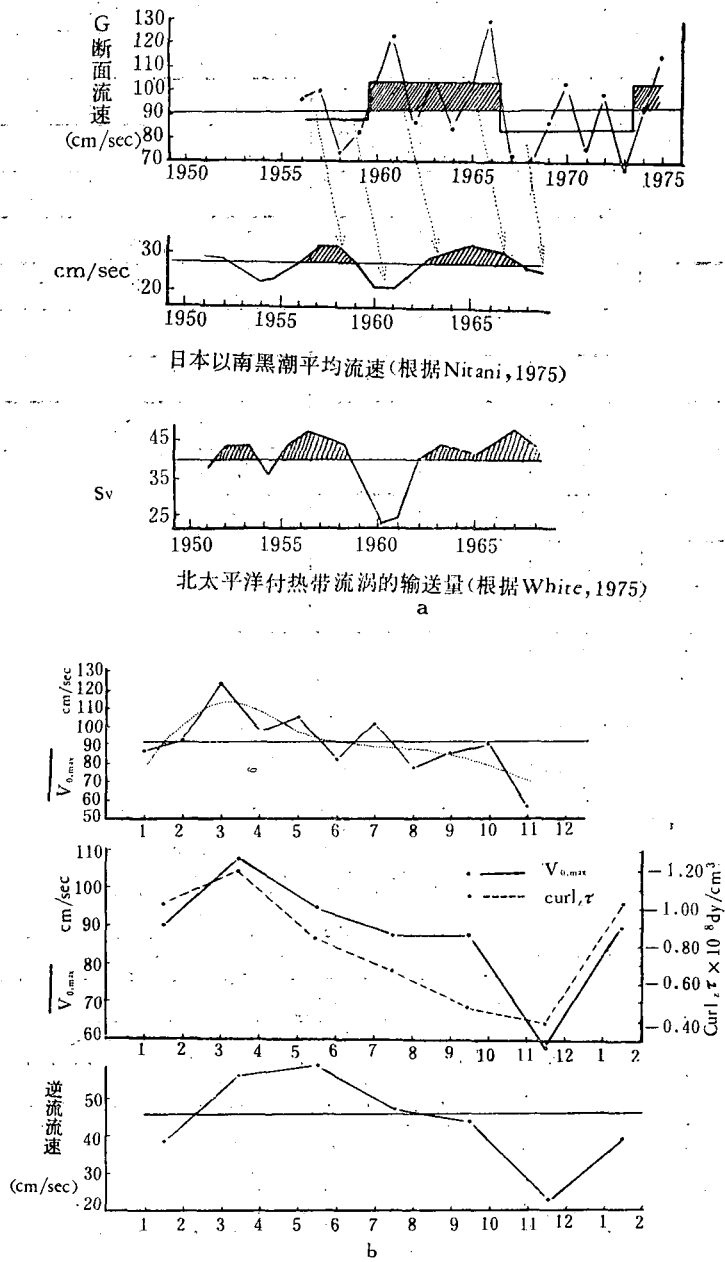


图3 黑潮及其逆流表层最大流速的多年变化及季节变化

$V_{o,max}$ 值与前两个月(即前一年的11—12月份)的海面风应力涡度的平均值(区域范围为 $20^{\circ}\text{--}28^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E--}130^{\circ}\text{W}$)作了比较,如图4中的两条曲线所示。在1957—1973年期间内,这种例证共有17对。其中1961—1963年因在1—2月份没有进行观测, $V_{o,max}$ 值系3—4月份观测,风应力涡度值则取同年的1—2月份值。由图可知,这两组数值的相关关系也是比较显著的,相关系数达62%。

上述风应力涡度的量值系根据 Wyrтки 和 Meyers (1975) 发表的太平洋上信风场的

表 1 黑潮表层最大流速按年按月的平均值(厘米/秒)

黑 潮						逆 流		
年份	$\overline{V_{o,max}}$	观测次数	月份	$\overline{V_{o,max}}$	观测次数	月份	$\overline{W_{o,max}}$	观测次数
1956	96	1	1	86	5	1—2	39	16
57	99	2	2	92	11	3—4	56	7
58	73	2	3	123	3	5—6	59	8
59	82	1	4	97	4	7—8	47	12
1960	102	3	5	105	6	9—10	44	6
61	121	2	6	81	4	11—12	23	2
62	87	3	7	101	6	平均值	46	共 51 次
63	105	3	8	77	7			
64	84	4	9	85	2			
65	99	3	10	90	4			
66	129	2	11	58	2			
67	72	2	12	—	—			
68	69	3						
69	86	2						
1970	103	3						
71	75	2						
72	99	2						
73	67	6						
74	92	4						
75	114	4						
平均值	91.5	共 54 次						

风应力资料(1950—1972)^[9]计算而得。

这两个相关系数的量值都分别达到或超过 5% 的显著水平。因此,可以认为,G 断面上黑潮流轴处的表层流速和北太平洋副热带区域风应力涡度场之间,不仅在多年平均情况下,也在冬季和早春的各次事例中存在着某种相关关系。至于在其他月份,由于黑潮流速和风应力涡度值都比较小,各次事例中两者的相关关系没有冬季和早春那样显著,这方面的原因有待今后进一步探讨。

综上所述,可以初步肯定地说,G 断面上黑潮表层流速的季节变化(特别是冬季和早春)主要是由于夏威夷群岛附近,亦即北太平洋副热带区域海面上大约前两个月的风应力涡度的变化所引起的。

这一重要结果表明,东北信风边界处(或者,严格地说,东北信风和西风之间的边界)的风应力场及其纬向移动几乎控制了东海黑潮的变异。

黑潮右侧逆流的季节变化亦为春季和初夏较强,秋、冬季,特别是秋季最弱(见图 3b 的底部)。如就每两个月的平均流速来讲,逆流最大流速的季节变化和黑潮流轴处的颇为一致,即当黑潮流轴处的流速增强时,逆流亦随之增强;反之亦然。当然,这也是指多年平均状况而言。

本文用较长时间序列的流速和风速实测资料的分析结果支持了著名的 Sverdrup 关系(1947)。不仅如此,本文也为海洋-大气的远距离相关提供了一个较好的例子。

除上述初步结果以外,我们还发现:如就各年同一月份流速和水位的关系而言,黑潮

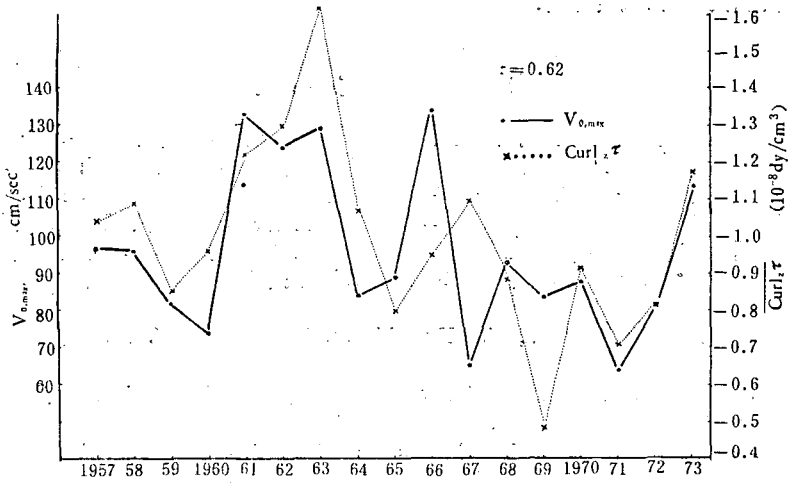


图 4 G 断面上黑潮 1—2 月或 3—4 月的表层最大流速 ($V_{0,max}$) 与北太平洋副热带区域前两个月风应力涡度平均值 ($Curl_x \tau$) 的关系

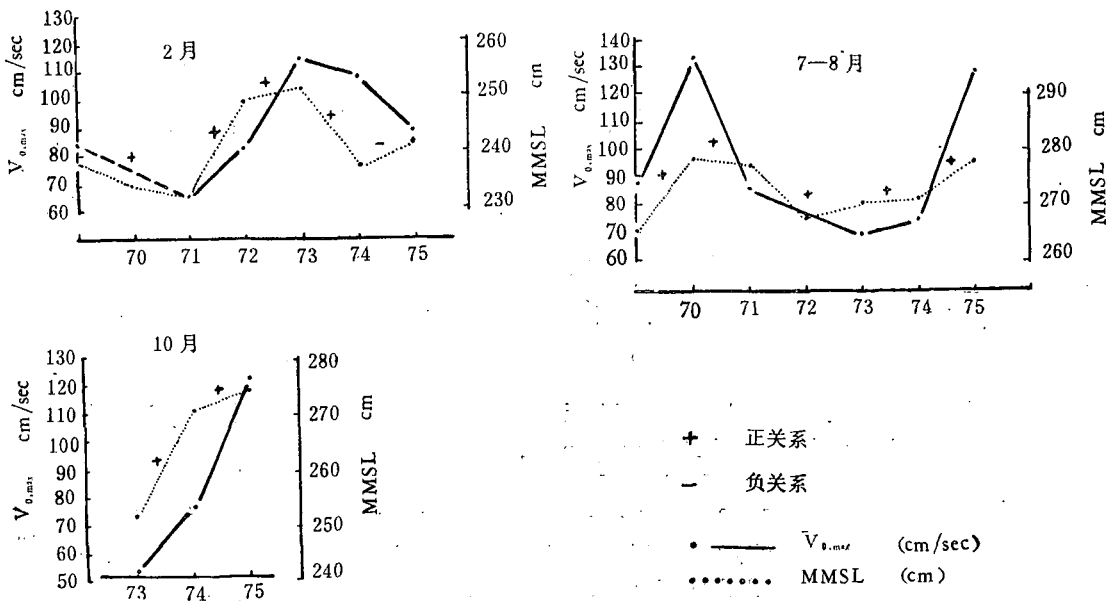


图 5 黑潮表层最大流速和那霸港月平均水位两者变化的关系

表层流速的变动趋势和黑潮顺流右侧岛屿(例如,那霸)上月平均水位 (MMSL) 的变动趋势颇为相似(见图 5,图上那霸港月平均水位资料根据日本气象厅出版的“气象要览”)。例如,在 1969—1975 年期间的 2 月、7—8 月和 10 月,极大多数情况下,相邻两次黑潮流速和那霸港水位的变动趋势相同,即黑潮流速增强时,那霸月平均水位也随之增高,反之亦然(“正关系”);只有个别情况,才出现相反的关系(“负关系”)。这一例子为进一步应用沿岸和岛屿上的月平均水位偏差来探索东海黑潮的变动趋势提供了线索。

作者认为: 本文所得出的上述各项关系为进一步研究东海黑潮的变异及其趋势预报

提出了一些初步的有意义的结果。

参 考 文 献

- [1] 管秉贤, 1964. 黑潮流速流量的分布、变化及其与地形关系的初步分析。海洋与湖沼 6(3): 229—251。
- [2] 管秉贤, 1978a. 我国台湾及其附近海底地形对黑潮途径的影响。海洋科学集刊 14: 1—21。
- [3] 管秉贤, 1978b. 南海暖流——广东外海一支冬季逆风流动的海流。海洋与湖沼 9(2): 117—127。
- [4] 管秉贤, 1979. 台湾海峡表层月平均流速与两岸月平均水位差的关系。海洋科学集刊(印刷中)。
- [5] 管秉贤, 1979. 苏澳—与那国岛断面上黑潮流速结构的特征及其季节变化。海洋科学集刊(印刷中)。
- [6] 管秉贤、刘举平、范继铨、于振娟, 1979. 东海G断面上二十年来(1956—1975)黑潮表层流速的变动。科学通报(印刷中)。
- [7] Nitani, H., 1975. Variation of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanog. Soc. Japan* 31: 16—35.
- [8] White, W. B., 1975. Secular variability in the large-scale baroclinic transport of the North Pacific from 1950—1970. *J. Mar. Res.* 33: 144—155.
- [9] Wyrtki, K. and G. Meyers, 1975. The trade wind field over the Pacific Ocean, Part II. Bimonthly fields of wind stress: 1950 to 1972. *Rep. HIG-75-2*, Hawaii Inst. Geophys. University of Hawaii, 16pp.

SOME RESULTS FROM THE STUDY OF THE VARIATION OF THE KUROSHIO IN THE EAST CHINA SEA*

Guan Bingxian

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Works on the study of the Kuroshio in the East China Sea carried on in this Institute since early sixties are briefly reported.

Based on the GEK data obtained by JMA on a section north-west to the Ryukyu Islands in the period of twenty years (1956—1975), some results from the study of the variation of the Kuroshio in the East China Sea are presented. The ranges of the fluctuation of the velocity, direction, position of the axis, and width of the Kuroshio, and those of its counter current are shown in some detail. Especially, variations of the surface velocity of the Kuroshio on this section are compared with those of the wind-stress curl over the sea near Hawaiian Islands in the same period (1950—1972). With a lag of about two months, a close relationship between them is obtained. It is considered that this result strongly supports the well-known Sverdrup-relation, and may be useful for the further study of the tendency prediction of the Kuroshio.

* Contribution No. 504 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.