

东海黑潮表层最大流速、表层流量 与热容量关系的初步分析*

于振娟 范继铨

(中国科学院海洋研究所)

在研究海流发生的机制及其变异规律时,有些学者是从风场对流场的作用出发,也有些是从温度、盐度、密度场的分布特征来研究的。本文利用日本气象厅出版的《气象厅海洋气象观测资料》中的表层流 GEK (电磁海流计)资料和水温资料^[1],分析了东海黑潮区域(G, Y 断面)表层最大流速、表层流量与热容量的关系,同时并与湾流中所发生的类似现象相比较,借以探讨产生这一现象的原因。这方面的工作,对于研究黑潮本身的变异及其对我国东海沿岸区域气候的变化以及农业生产的影响等均有比较重要的意义。

一、资料及分析方法

G 断面位于琉球群岛冲永良部岛的西北方,东起 $27^{\circ}24'N$, $128^{\circ}28'E$ (G_1), 西至 $29^{\circ}36'N$, $125^{\circ}09'E$ (G_{12})^[1], 跨越冲绳海沟和陆架区域,与纬线夹角为 34° (图 1)。

Y 断面位于琉球群岛那霸的西北方,东起 $26^{\circ}13'N$, $126^{\circ}36'E$, 西至 $28^{\circ}01'N$, $123^{\circ}54'E$, 与 G 断面平行。这两个断面相距约 100 海里。

本文应用《海洋气象观测资料》^[1], 以及日本长崎海洋气象台计算的黑潮流量资料^[2], 作为分析基础, 收集了 1956—1976 年 21 年间 G 断面 GEK 资料, 以及相应的水温资料, 共 61 次。G 断面一般每年有 2—4 次观测资料, 个别年份 (1956, 1959 年) 仅有一次相对应的表层最大流速和水温资料; 1973 年, 观测次数则多达 6 次, 仅秋季就有 3 次。黑潮流幅约为 90 海里 (G_4 — G_8)。G 断面被划分为 12 个测站, 其主流区一般分布在 G_4 — G_8 诸测站上, 测站间距约为 10 海里。1965—1976 年, 站位略有变动^[1], 一般划分为 6 个测站, 测站间距约为 15 海里。本文也收集了 Y 断面 1965—1978 年 14 年间共 22 次观测资料 (缺少 1970 年)。Y 断面一般每年只有 1, 2 次资料。黑潮在这一断面上的流幅约为 70 海里 (Y_1 — Y_3), 测站间距亦约为 10—15 海里。

在计算表层流量时, 取水深为 1 米, 流速取各测站上与断面正交分速的平均值, 两者乘积再乘以流幅, 即得表层流量。

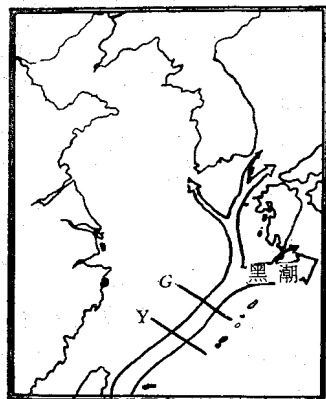


图 1 东海黑潮途径及 G, Y 断面位置示意图

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 670 号。本文得到管秉贤副教授的热情指导, 特此致谢。

收稿日期: 1981 年 2 月 28 日。

两条等温线之间水体的热容量,按下式计算:

$$\theta = C\rho VT$$

其中, θ 为热容量, C 为海水的比热, ρ 为海水的平均密度, V 为黑潮流幅内两条等温线之间所包围的面积 S 与断面厚度 1 米的乘积, T 为两条等温线之间水体的平均温度。等温线自海表面或 75, 100 米取起, 一直伸展到 17°C 等温线所在的深度。每两条等温线之间的热容量 θ 的累积数值, 即为 G , Y 断面上水体的热容量。

二、计算结果

本文采用回归分析方法, 分析了东海黑潮区域表层最大流速、表层流量、整个断面的总流量和热容量之间的关系, 其计算结果分别列举如下:

1. G 断面表层最大流速与表层流量的关系

G 断面表层最大流速 ($V_{0,\max}$) 与表层流量 (Q_s) 之间的相关关系见图 2, 其相关关系式为

$$Q_s = (10.05 + 50V_{0,\max}) \times 10^3 \text{ 米}^3/\text{秒} \quad (1)$$

$$r = 69\%$$

当观测次数 N 为 61 次时, 达到 α (可信度) 为 5% 显著水平的相关系数的最小值为 26%。所以, 表层最大流速与表层流量之间的相关关系是很密切的。

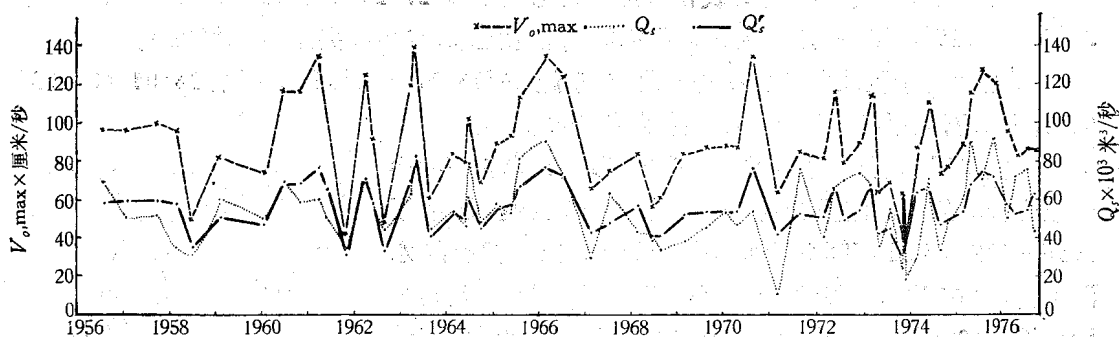


图 2 G 断面表层最大流速与表层流量之间的关系

注: Q'_s 系按(1)式计算的结果

若按(1)式计算 G 断面上的总流量, 如取断面主流区平均深度为 400—500 米, 其结果如表 1。

表 1 按 (1) 式计算的 G 断面总流量

海流要素 数值	表层最大流速 (厘米/秒)	表层流量 ($10^3 \text{ 米}^3/\text{秒}$)	总流量 ($10^6 \text{ 米}^3/\text{秒}$)
最大值	134	90	36—45
平均值	90	55	22—28
最小值	42	24	10—12

如根据 GEK 实测的表层流资料,取断面上的流速平均值,按(1)式计算表层流量,其结果如表 2。

表 2 根据 GEK 资料,按(1)式计算的总流量与文献[2]计算的流量

流量 数值	表层流量 ($10^3 \text{米}^3/\text{秒}$)	总流量 ($10^6 \text{米}^3/\text{秒}$)	流量 ^[2] ($10^6 \text{米}^3/\text{秒}$)
最大值	90	36—45	33
平均值	55	22—28	21
最小值	11	4—6	5

本文上述流量估算结果,与日本长崎海洋气象台计算结果^[2]相一致。

2. G 断面表层流量与整个断面流量(总流量)的关系

表层流量与总流量 Q_T 之间的相关关系见图 3 (Q_T 系日本长崎海洋气象台计算的结果^[2]),其相关关系式为:

$$Q_T = (15.27 + 0.11Q_s) \times 10^6 \text{米}^3/\text{秒} \quad r = 36\% \quad (2)$$

当 N 为 59 时,达到 α 为 5% 显著水平的相关系数的最小值为 26%。所以,整个断面的总流量与表层流量的相关关系亦较密切。

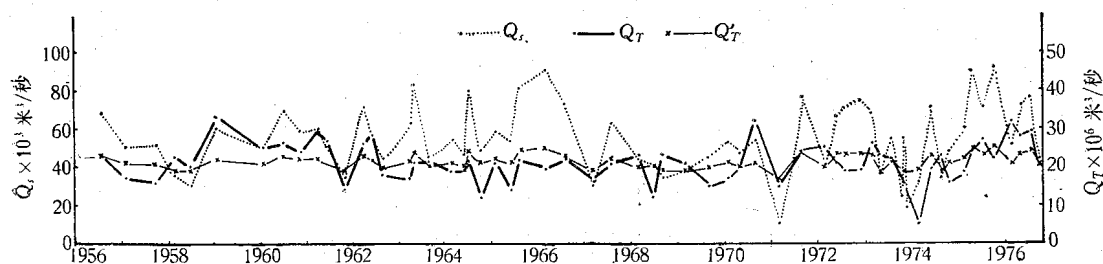


图 3 G 断面表层流量与整个断面总流量的关系

注: Q'_T 系按(2)式计算的结果

若按(2)式计算,其结果如表 3,估算的总流量与上述文献[2]计算的总流量也较为一致。

3. 表层最大流速与热容量的关系

为了研究流速场与温度场之间的相互关系,本文分析了 G, Y 两个断面表层最大流速与相应的热容量 θ_0 (系指自海面伸展到 17°C 等温线之间水体的热容量)之间的关系。

表 3 按(2)式计算的总流量与文献[2]计算的流量

流量 数值	表层流量 ($10^3 \text{米}^3/\text{秒}$)	总流量 ($10^6 \text{米}^3/\text{秒}$)	长崎计算流量 ^[2]
最大值	90	25	33
平均值	56	21	21
最小值	11	16	5

G断面表层最大流速与热容量 θ_0 的相关关系式为:

$$\theta_0 = (768.093 - 1.511V_{0,\max}) \times 10^6 \text{ 千卡} \quad (3)$$

$$r = -42\%$$

为了消除季节变化的影响,除去近表层,本文又分别计算了自 75 米,100 米伸展到 17°C 等温线之间水体的热容量,其相关关系式分别为:

$$\theta_{75} = (444.062 - 1.087V_{0,\max}) \times 10^6 \text{ 千卡} \quad (4)$$

$$r = -50\%$$

$$\theta_{100} = (342.925 - 0.887V_{0,\max}) \times 10^6 \text{ 千卡} \quad (5)$$

$$r = -50\%$$

对于 G 断面,观测次数为 61 次。从上述 (3), (4), (5) 式可以看出,其相关系数为 -42—-50%,绝对值都大于相关系数显著水平的最小值。所以,它们的负相关关系亦很密切。但是, θ_{75} 、 θ_{100} 与 $V_{0,\max}$ 的负相关比 θ_0 与 $V_{0,\max}$ 的负相关更为密切,从图 4, 5, 6 几种曲线的对比中,表现得很明显。

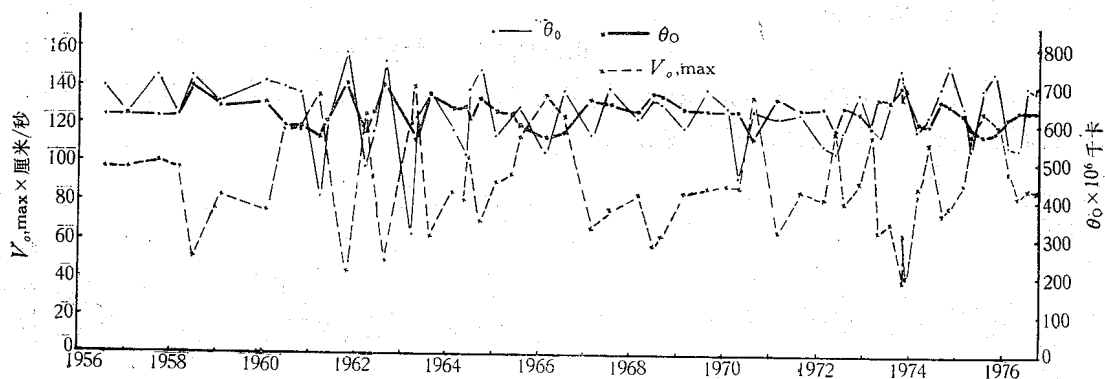


图 4 G断面表层最大流速与热容量 θ_0 的关系

注: θ_0 系按 (3) 式计算的结果

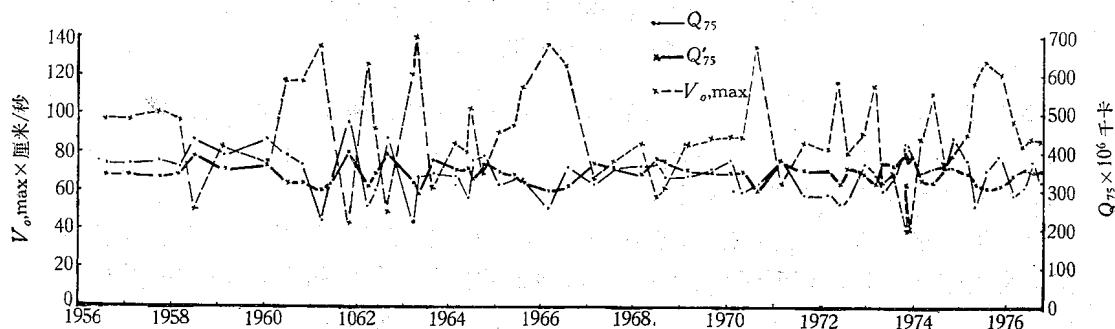


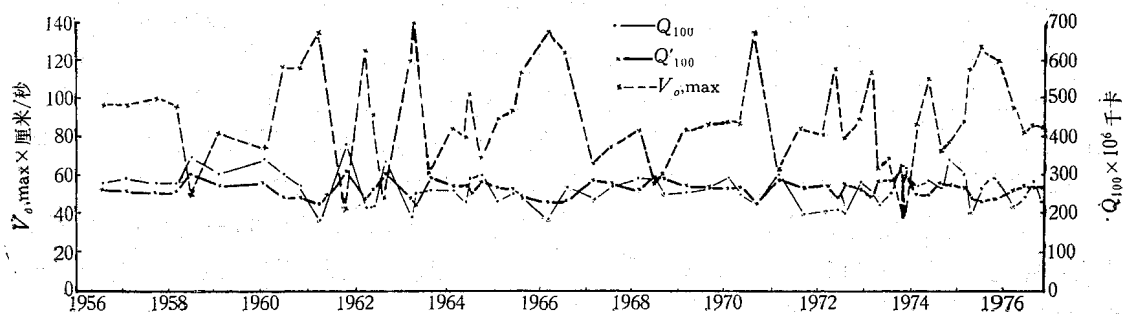
图 5 G断面表层最大流速与热容量 θ_{75} , θ'_{75} 的关系

注: θ'_{75} 系按 (4) 式计算的结果

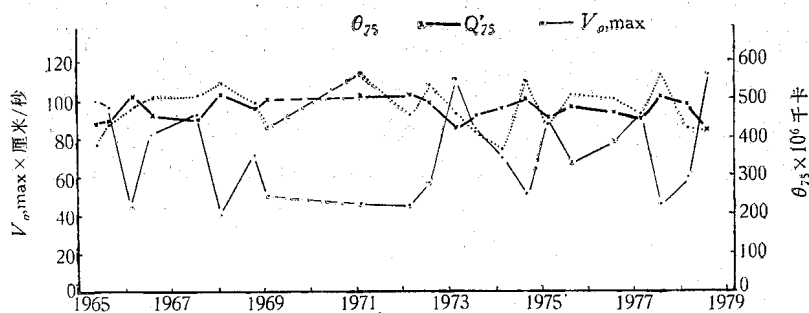
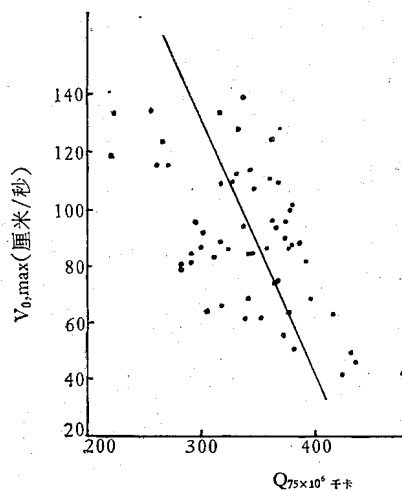
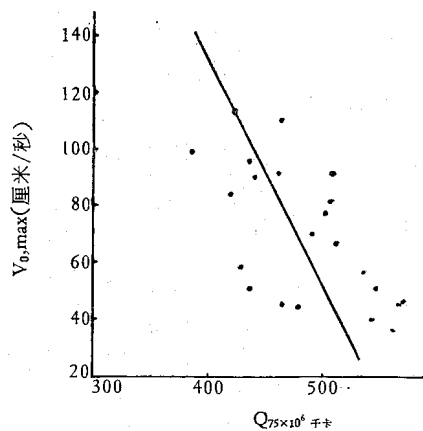
在 Y 断面,表层最大流速与热容量 θ_{75} (θ_{75} 系指自 75 米伸展到 17°C 等温线之间水体的热容量) 的相关关系式为:

$$\theta_{75} = (566.992 - 1.265V_{0,\max}) \times 10^6 \text{ 千卡} \quad (6)$$

$$r = -52\%$$

图 6 G 断面表层最大流速与热容量 θ_{100} , θ'_{100} 的关系注: θ'_{100} 系按 (5) 式计算的结果

当观测次数 N 为 22 时, 达到 α 为 5% 显著水平的相关系数的最小值为 42%。因此, Y 断面表层最大流速与 θ_{75} 之间的负相关关系亦较密切, 见图 7。

图 7 Y 断面表层最大流速与热容量 θ_{75} , θ'_{75} 的关系注: θ'_{75} 系按 (6) 式计算的结果图 8 G 断面 $V_{0,max}$ 与 θ_{75} 相关曲线图图 9 Y 断面 $V_{0,max}$ 与 θ_{75} 相关曲线图

在图 4, 5, 6, 7 中, 按照 $\theta = C_p V T$ 计算的热容量, 分别用 θ_0 、 θ_{75} 、 θ_{100} 表示, 按照 (3), (4), (5), (6) 式计算的热容量, 分别用 θ'_0 、 θ'_{75} 、 θ'_{100} 表示。

在 G 断面上, 按 (4) 式计算, 当表层最大流速增大时 ($V_{0,\max}$ 为 134—139 厘米/秒), 热容量减少 (θ_{75} 为 $221—335 \times 10^6$ 千卡)。反之, 当表层最大流速减弱时 ($V_{0,\max}$ 为 42—49 厘米/秒), 热容量增加 (θ_{75} 为 $423—474 \times 10^6$ 千卡)。其负相关关系见图 8。

Y 断面与之相同, 按 (6) 式计算, 当表层最大流速增大时 ($V_{0,\max}$ 为 100—113 厘米/秒), 热容量减少 (θ_{75} 为 $385—464 \times 10^6$ 千卡)。反之, 当表层最大流速减弱时 ($V_{0,\max}$ 为 40—46 厘米/秒), 热容量增大 (θ_{75} 为 $462—567 \times 10^6$ 千卡)。其负相关关系见图 9。

三、讨 论

前述表层最大流速与热容量的负相关关系, 与一般推测恰好相反。早在 1940 年, Iselin 曾推测: “当湾流流量增大时, 欧洲的气温反而比较寒冷”^[3]。H. Stommel 在《湾流》一书中也指出: “这一现象和一般推想——高温只和顺流的高速区域直接相关——的情况相反”^[3]。对此现象, Iselin 曾经作过如下推测性解释: 假定大西洋表层中央水团的各项物理过程并不随时间而有多大的改变; 那么, 根据地转关系, 当北大西洋流涡的流量增大时, 马尾藻海(位于湾流的右侧)温跃层的深度必随之增大, 而北大西洋的海流系统的范围必随着缩小, 这样, 表层暖水的范围将从北部退缩, 从而使欧洲的气候变冷。反之, 如湾流系统的流量减弱, 则整个马尾藻海温跃层的深度将减小, 多余的暖水迫使北大西洋海流系统向周围(即向北)扩大, 从而将大量的表层暖水带到高纬度区域, 使欧洲的气候变暖^[3]。

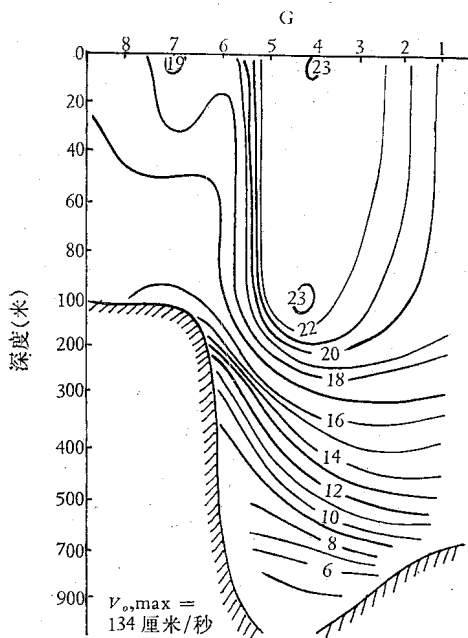


图 10 G 断面 1961 年 3 月温度分布图

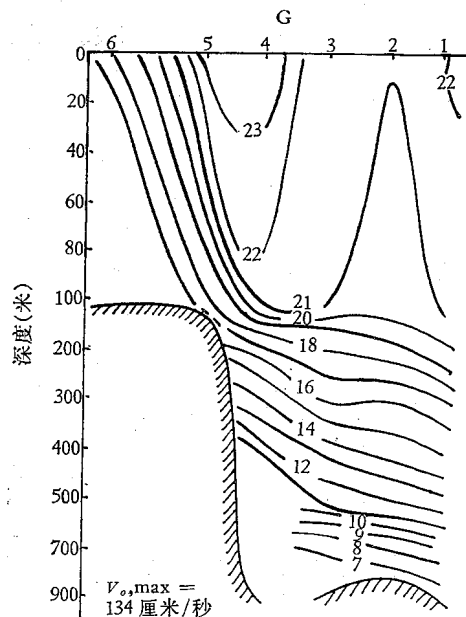


图 11 G 断面 1966 年 2 月温度分布图

另外,也可以从温度场分布图来解释表层最大流速与热容量的负相关关系。G断面表层最大流速值在 134—139 厘米/秒之间的共有 4 次,在 42—49 厘米/秒之间的也有 4 次。Y 断面表层最大流速在 111—113 厘米/秒之间的只有 2 次,在 40—46 厘米/秒之间

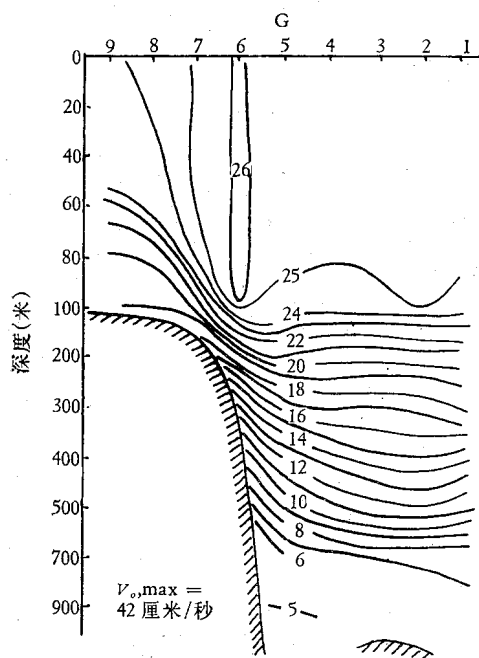


图 12 G断面 1961 年 10 月温度分布图

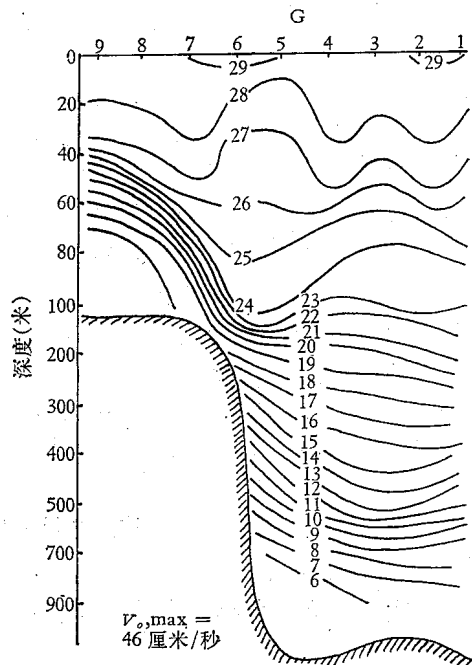


图 13 G断面 1962 年 8 月温度分布图

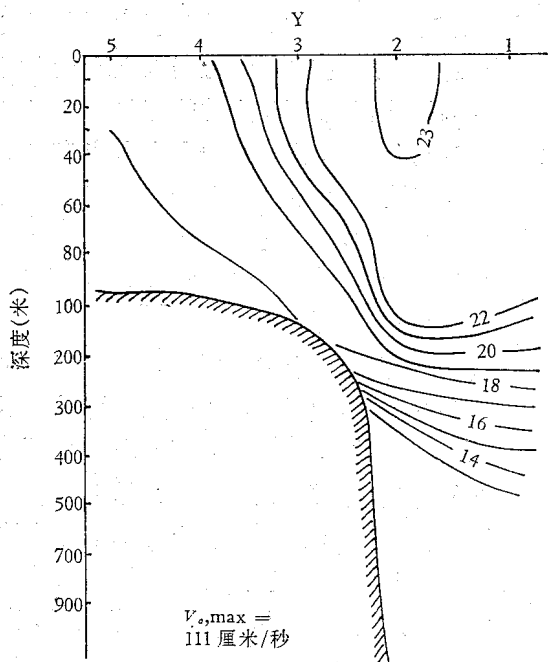


图 14 Y断面 1973 年 2 月温度分布图

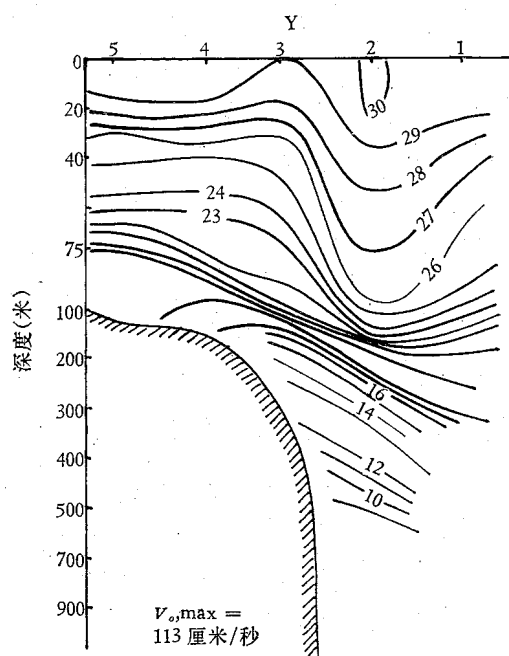


图 15 Y断面 1978 年 7 月温度分布图

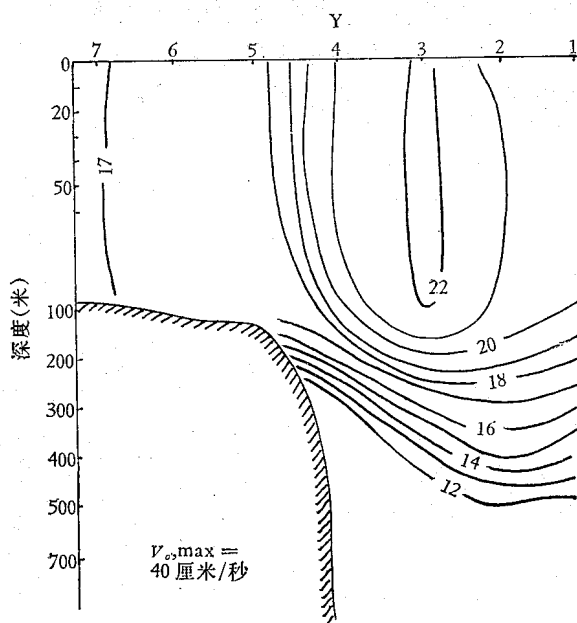


图 16 Y断面 1968 年 1 月温度分布图

的有 5 次。现分别各举两次为例,其温度断面图见图 10—17。

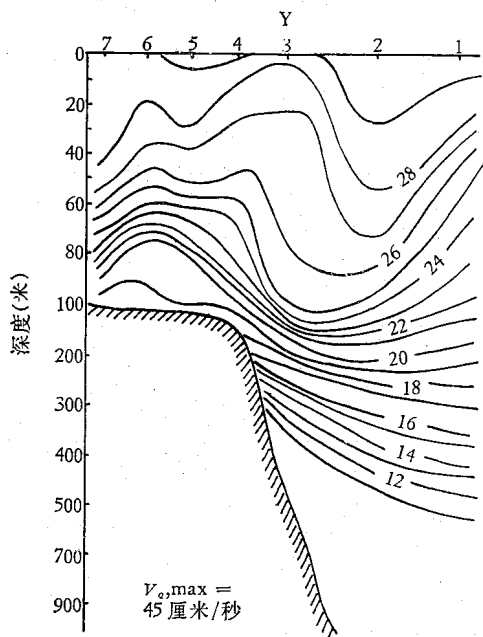


图 17 Y断面 1977 年 8 月温度分布图

从上述温度断面分布图上可以看出,当黑潮表层最大流速增强时,断面上的温度水平梯度大,特别是在邻近陆架、陆坡处,等温线坡度向上倾斜甚陡,有的几乎达到海面或近表层,从而迫使 17°C 等温线以上的水体范围缩小,因此,通过断面上的热容量也相应地随着减少。反之,当黑潮表层最大流速减弱时,等温线坡度比较平缓,温跃层所在的深度亦比较大,因此,断面上 17°C 等温线以上的水体范围亦随着向深水区域扩展,所通过的热容量也相应地增大。

从表面上看,上述解释似乎与 Iselin 的解释不一致,然而细加分析,这两种解释并不矛盾。本文所述,当黑潮表层最大流速增强或减弱时,热容量的减少或增大,是由于黑潮流轴处附近温跃层深度随着上升或下降的结果。而 Iselin 指出,当湾流流量增大时,欧洲

的气温反而比较寒冷,这与湾流右侧马尾藻海温跃层的深度加深有关;可以反过来说,当湾流流量增强(或减弱)时,湾流左侧(即其流轴处附近)海区的温跃层深度必将随着减小(或增大),这与本文所作的解释是一致的。至于其他原因,有待进一步探讨。

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。
 [2] 小長俊二, 1978。過去の冷水域発生時に生じた他の現象について黒潮大蛇行と大冷水塊——との消長と予測に関する研究。黒潮総合研究グループ。
 [3] 斯多美耳, 1958。湾流。毛汉礼译, 1963。国家科委海洋组办公室编辑出版, 45—140 页。
 [4] 日本气象厅, 1956—1978。气象厅海洋气象观测资料。No. 19—64 (缺 No. 21, 26)。

A PRELIMINARY ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN THE MAXIMUM SURFACE VELOCITY AND THE HEAT CAPACITY OF THE KUROSHIO IN THE EAST CHINA SEA*

Yu Zhenjuan and Fan Jiquan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Data used in this paper are from "The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations" published by the Japan Meteorological Agency. The surface current data of "GEK" and data of temperature were calculated by means of the regression analysis method. The relationships between the maximum surface velocity ($V_{0,max}$) and the surface transport (Q_s) in the section G , and between the $V_{0,max}$ and the heat capacity (θ) of the water column between 75 m layer and 17°C isotherm in the section G and Y were analysed.

The results are as follows: (1) the correlation equation between $V_{0,max}$ and Q_s in the section G is $Q_s = (10.05 + 50 V_{0,max}) \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$, $r=69\%$ (correlation coefficient); (2) the correlation equations between $V_{0,max}$ and θ_{75m} in the section G and Y respectively are $\theta_{75m} = (444.062 - 1.087 V_{0,max}) \times 10^6 \text{ K Cal}$, $r = -50\%$ and $\theta_{75m} = (566.992 - 1.265 V_{0,max}) \times 10^6 \text{ K Cal}$, $r = -52\%$; (3) all the above mentioned correlation coefficients are at or above the corresponding significant levels.

The negative correlation coefficient between the $V_{0,max}$ and θ_{75m} means that the heat capacity of the Kuroshio decreases as its velocity increases, and vice versa. This result agrees with the idea suggested by Iselin (1940) on his study of Gulf Stream.

*Contribution No. 670 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.