

冬季东海黑潮上层水变化特征的分析*

邢 成 军

(中国科学院海洋研究所)

东海黑潮水团是东海海域的主要水团。夏季, 东海黑潮水团一般划分为四层结构: 黑潮表层水、黑潮次表层水、黑潮中层水和黑潮深层水^[1,2]。在冬季, 由于大陆沿岸水系势力减弱, 以及强烈的表层冷却产生的垂直对流作用, 使黑潮表层水变性而和次表层水融为一体, 从而使海面至400米层左右的黑潮水体呈现高盐特征。因此, 冬季的东海黑潮水团变为三层结构, 即黑潮上层水、黑潮中层水和黑潮深层水。

东海黑潮水团的显著特征是高温高盐。夏季, 东海黑潮水团的最高盐度值出现在黑潮次表层水之中, 而冬季则出现在黑潮上层水范围内。本文作者在文献^[2]中, 曾专就黑潮次表

层水的变化特征进行了探讨。本文则着重对冬季黑潮上层水的变化特征进行分析。

一、资料和方法

本文用来进行分析的资料, 主要是东海 G 断面 1956—1983 年间冬季 (1—3 月) 的温、盐度观测资料。

在 G 断面上, 我们采用与文献^[2]相同的方法, 先在黑潮主轴附近选取三个代表站进行黑潮水系多年典型的典型 t-S 曲线的确定 (图 1)。

表 1 冬季黑潮各水团的温、盐特征值
Tab. 1 The temperature and salinity characteristic value of the Kuroshio Water Masses in the winter.

水团名称	要素特征值	温 度 (°C)	盐 度
黑潮上层水		20	34.85
黑潮中层水		8	34.32
黑潮深层水		4.5	34.42

按照 t-S 理论, 水团的边界应位于 t-S 曲线的拐点处, 即按 $\frac{d^2S}{dt^2} = 0$ 这一基本原则, 将

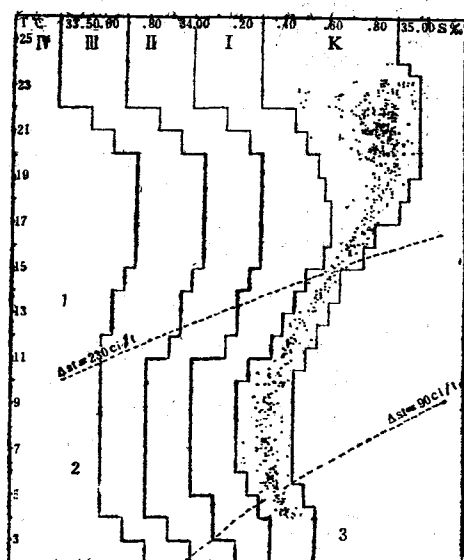


图 1 G 断面东海黑潮水的 t, S 图 (冬季)
Fig. 1 t, S diagram of the Kuroshio Water in the East China Sea on section G (winter)

* 本文承蒙翁学传副研究员的具体指导和帮助, 特此致谢。

中国科学院海洋研究所调查研究报告第1313号。

东海黑潮水团划分为三层结构,即黑潮上层水、黑潮中层水和黑潮深层水,并得出了各水团的温、盐度特征值(表1)。

此外,我们还确定了黑潮上层水下界处的温、盐度值(15°C , 34.62)。

二、黑潮上层水的变化特征

根据黑潮上层水下界面处的温、盐度值(15°C , 34.62),我们确定了1956—1983年间各年冬季(1—3月)黑潮上层水在G断面上的分布,统计了它的西界位置、上界顶深、下界底深、最高盐度值及其位置和所在深度,并计算了黑潮上层水的体积。

(一) 分布范围的变化

我们依据黑潮上层水的上界顶深、下界底深和西界位置来讨论它分布范围的变化。统计结果表明,黑潮上层水的上界面均为海面,而下界的底深则处于350—445米之间,多年平均值为402米(图2)。

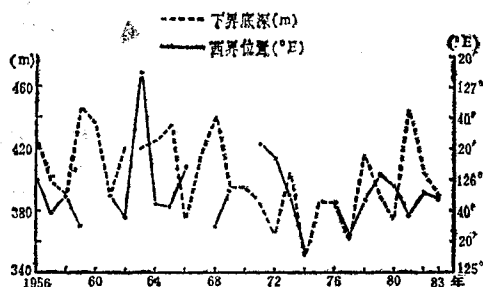


图2 黑潮上层水下界底深与西界位置的逐年变化

----下界底深(米)——西界位置(E)

Fig. 2 Year to year variation of the largest depth of lower boundary and the position of western boundary of the Kuroshio Upper Layer Water.

----the largest depth of lower boundary(m)
——the position of western boundary(E)

由图2可以看出,黑潮上层水西界,西伸距离最远的为 $125^{\circ}14'E$ (1974年),最近的为 $127^{\circ}09'E$ (1963年)。除这2年外,西界位

置均集中于 $125^{\circ}23'—126^{\circ}23'E$ 之间,其多年平均位置处于 $125^{\circ}51'E$ 。文献(2)中曾得出:夏季东海黑潮次表层水西界西伸距离最远的可及 $123^{\circ}E$,最近的为 $126^{\circ}15'E$,多数年份介于 $124^{\circ}17'—125^{\circ}55'E$ 之间(平均位置为 $125^{\circ}06'E$)。若将冬、夏季作一比较,不难看出,冬季黑潮上层水的西边界位置比夏季偏东,且年际变幅较夏季为小,这表明冬季黑潮上层水的西界比较稳定。

(二) 体积的变化

本文所称黑潮上层水的体积,是指它在G断面上所占的面积与断面单位厚度的乘积。由图3可见,黑潮上层水的体积,以1968年为最大($79.97 \times 10^6 \text{米}^3$);其次为1981年($78.66 \times 10^6 \text{米}^3$);最小的为1972年($53.32 \times 10^6 \text{米}^3$);次小的为1963年($56.42 \times 10^6 \text{米}^3$)。其余年份则介于 $59.87—72.53 \times 10^6 \text{米}^3$ 之间,其多年平均值则为 $66.78 \times 10^6 \text{米}^3$ 。

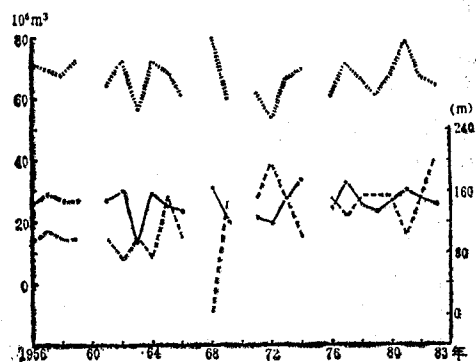


图3 黑潮上层水的总体积、上部体积与高盐核深度逐年变化

-----总体积 ——上部体积
.....高盐核的深度

Fig. 3 Year to year variation of the total volume, upper volume and the depth of the high salinity core of the Kuroshio Upper Layer Water

-----total volume
——upper volume
.....depth of the high salinity core

黑潮上层水在水深100米以上部分,与大陆沿岸水的混合激烈,变性较显著,其体积的

相对变化也较大。据此,我们以100米为界,将黑潮上层水分为上、下两部分(以下分别简称上部体积和下部体积)。这里,我们着重讨论黑潮上层水上部体积的逐年变化。

由图3可见,在1956—1983年间,黑潮上层水的上部体积介于 $13.12 \times 10^6 \text{米}^3$ — $33.59 \times 10^6 \text{米}^3$ 之间(平均值为 $26.35 \times 10^6 \text{米}^3$)。其中以1974年的体积为最大($33.59 \times 10^6 \text{米}^3$),其次为1977年($32.61 \times 10^6 \text{米}^3$),而以1963年的体积为最小($13.12 \times 10^6 \text{米}^3$)。总的说来,绝大多数年份(约92%),黑潮上层水的上部体积介于 20 — $35 \times 10^6 \text{米}^3$ 之间,只有1972年和1963年,其体积和多年平均值差别较大(图4)。

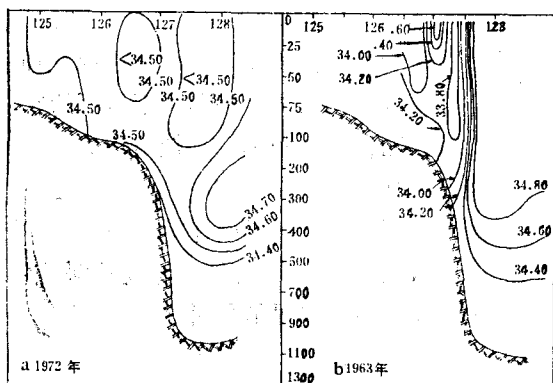


图4 1972年及1963年G断面冬季盐度分布
Fig. 4 Distribution of salinity on the section G in winter of 1972 and of 1963

在1972年(图4a),整个断面的盐度普遍偏低。在100米以浅,几乎各站、层的盐度值都低于34.60,上层水的体积很小。1963年(图4b),G断面上的水文状况比较特殊:G₅站(28°12'N, 127°12'E)以东,盐度普遍偏高,且垂直均匀;而在G₆站(28°25'N, 126°53'E),上下各层盐度均为33.77,相距不到39千米的G₅和G₆站,盐度相差1。这一年黑潮上层水的西边界东移,仅处于127°09'E处,故东海黑潮上层水的体积明显偏小。

需要指出的是,1960年和1967年整个G断面的盐度普遍偏高,这两年断面最西端测站的盐度分别超过了34.83和34.65;1970年和1975

年观测资料不全,只分别进行了4个和5个站的观测,最西端测站的盐度都大于34.60。在以上4年中,黑潮上层水的西边界难以确定,故以上讨论的1956—1983年间黑潮上层水的年际变化特征时,未涉及这4年的情况。

(三) 盐度特征的变化

统计黑潮上层水各年的最高盐度值得出,盐度的最大值为34.99(1962年),最小值为34.80(1972年),平均值为34.89。在1956—1983年这28年中,最高盐度值的变幅仅为0.19。由文献(2)可知,在1955—1981年间,夏季黑潮次表层水的最高盐度值在34.80—34.98之间,其变幅为0.18。由此可见,东海黑潮高盐水(冬季的黑潮上层水和夏季的黑潮次表层水)的高盐特性比较稳定,不仅季节变化小,而且年际变化也较不明显。

为了分析G断面上黑潮上层水高盐核处的最高盐度值与冬季东海黑潮流量⁽⁴⁾之间的关系,我们作了高盐核处最高盐度值3年滑动平均曲线与东海黑潮冬季流量3年滑动平均曲线(图5)。

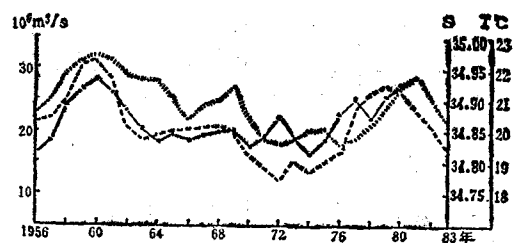


图5 冬季东海黑潮流量、黑潮上层水最高盐度值和相应的温度值的逐年变化 ——流量 ——温度 ----盐度

Fig. 5 Year to year variation of the Kuroshio rate of flow in the East China Sea in winter, the salinity maximum of the Kuroshio Upper Layer Water and the corresponding temperature
——rate of flow ——temperature ---- salinity

图5表明两者的变化趋势基本一致,其相

关系数为0.53,超过了1%的显著水平。这种关系是容易理解的。因为黑潮流量大时,黑潮比较强,这时黑潮所固有的高温高盐特征比较明显,故高盐核处的最高盐度值也较大,反之亦然。由图5还可以看出,自1957—1965年,连续9年,最高盐度值大于平均值;1970—1978年,连续9年最高盐度值小于平均值。这似乎表明,高盐核处的最高盐度值一旦超过平均值,并不能很快变小,而是要持续几年。反之,一旦低于平均值,也不能很快变大,仍需持续几年。关于这一问题,尚需进一步探讨。

黑潮上层水高盐核处的最高盐度值与相应的温度有较好的正相关关系。我们统计了G断面上高盐核处最高盐度值3年滑动平均曲线与相应的温度3年滑动平均曲线(图5),得出两者的变化趋势相当一致,正相关系数为0.73,远远超过了1%的显著水平。这是因为冬季黑潮

的高温高盐特征比较明显。当黑潮流量增大时,即黑潮强,变性小,故盐度高,温度亦高。这也进一步表明了黑潮的高温高盐特征。

由统计可知,高盐核所在深度的多年平均值为122米,深度最大的年份为1972年和1983年(200米);所在深度最小的年份为1968年(0米),其余年份均位于75—150米之间。高盐核所在深度与黑潮上层水的上部体积有较好的负相关关系(图3),其相关系数为-0.43,超过了5%的显著水平。这表明,高盐核所在深度变浅时,黑潮上层水上部体积变大,反之亦然。

综上所述,我们可以按照黑潮上层水上部体积(亦即总体积)的大小,将黑潮上层水划分为强、平、弱三种情况(图6)。

其相应的各示性特征列于表2。

由表2可知,黑潮上层水强、平、弱三种类型的主要特征可归结为:强年,下界面的底深较深,西界西伸距离较远,高盐核的最高盐度值较高,高盐核所在深度较浅。弱年反之,即下界面的底深较浅,西界西伸距离较近,高盐核的最高盐度值较小,且所在深度较深。平年的情况则介于强年和弱年之间。

三、东海黑潮水系与大陆沿岸水系的混合

由于黑潮上层水的变化与大陆沿岸水系和黑潮水系的混合密切相关,故对其混合情况作简要讨论。由图1可以看出,水温低于 15°C 时,t, S点密集成一狭带,说明水温低于 15°C 的黑潮水温、盐特性比较恒定,且与大陆架上的海水不发生直接的混合。水温高于 15°C 的t, S点较分散,并可明显看出,黑潮水向低盐水方向作扇形扩散,说明这部分黑潮水受大陆沿岸水的影响较大,黑潮水系和大陆沿岸水系的混合是在水温高于 15°C 的水层内进行的。但与夏季相比^[2],冬季水温高于 15°C 的t, S点远不及夏季相应的t, S点分散得厉害,这表明,大陆沿岸水的影响,冬季不如夏季明显。另外,从图1还可以看出,在黑潮水系中,深度

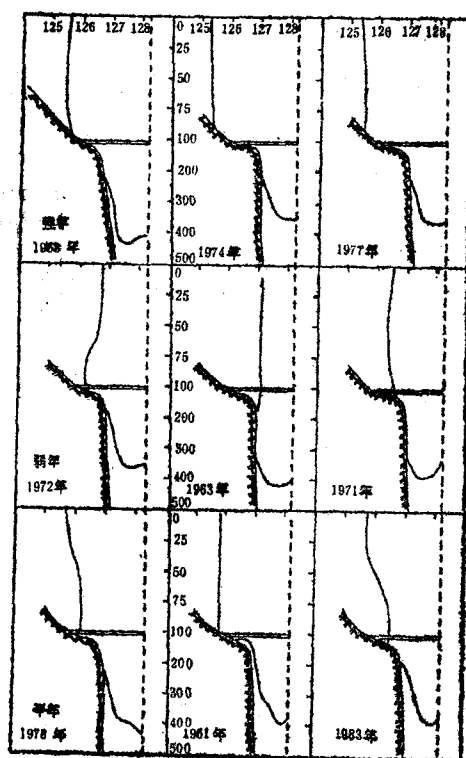


图6 东海黑潮上层水的分布

Fig. 6 The distribution of the Kuroshio Upper Layer Water in the East China Sea

表 2 各类型黑潮上层水的指示性特征

Tab. 2 The indicative characteristics of the different types of the Kuroshio Upper Layer Water

项 目 类 型	年 份	代表年	代表年的黑潮 上层水下界底深 (米)	代表年的黑潮上 层水的西界位置 (E)	代表年的高盐核 的最高盐度值	代表年的高盐 核所在深度 (米)
强 年	1957, 1962, 1964, 1968, 1974, 1977, 1981	1968	440	125°30'	34.98	0
弱 年	1963, 1966, 1969, 1971, 1972, 1976, 1979	1972	365	126°14'	34.80	200
平 年	1956, 1958, 1959, 1961, 1978, 1983	1978	415	125°48'	34.86	150

较大的黑潮水受大陆沿岸水的影响较小, 随着深度变浅, 大陆沿岸水的影响增大。为便于分析黑潮水系和大陆沿岸水的混合情况, 我们参照日本学者佐原勉^[3]的方法, 把黑潮水系的本体记为K, 根据混合程度, 我们把黑潮水系和大陆沿岸水系的混合情况划分为K, I, II, III, IV五个阶段。根据热比容偏差 Δst 等值线的分布趋势, 并参考各水团边界处的温、盐度值, 在垂直方向上将其分为三个等级: 把大于230c.l/t的部分记为1, 90—230c.l/t记为2, 小于90c.l/t记为3。这样, K-1, K-2, K-3基本上表征了冬季黑潮的三个水团, 即黑潮上层水, 黑潮中层水和黑潮深层水。我们根据1956—1983年的观测资料, 由图1得出了各年G断面上黑潮水系和大陆沿岸水系的混合情况。以下仅以黑潮上层水的强年、弱年和平年这三种情况为例, 简要地讨论黑潮水系和大陆沿岸水系的混合情况(图7)。

1. 强年: 1962年, 黑潮上层水较强, 中层水涌升现象比较明显。由图7a可知, K-1型水下界面约在420米处, 西界面达125°35'E; 在K-1型水以西是I-1, II-1型水, 即I, II级混合水, 分布范围较小, 且混合区域比较偏西。该年无III, IV型水, 说明该年混合较弱。

2. 弱年: 1969年, 黑潮上层水较弱, 涌升现象也不太明显。由图7b可知, K-1型水的下

界面位于395米处, 西界面在表层位于125°54'E, 而在75米层则位于126°45'E, 即仅及大陆架的边缘。K-1型水以西, 依次是I-1, II-1, III-1和IV-1型水。这四类混合水在垂直方向上基本上呈带状分布, 表明该年的混合较激烈, 混合区比较偏东, 且各级混合过程是在陆架上依次进行的。

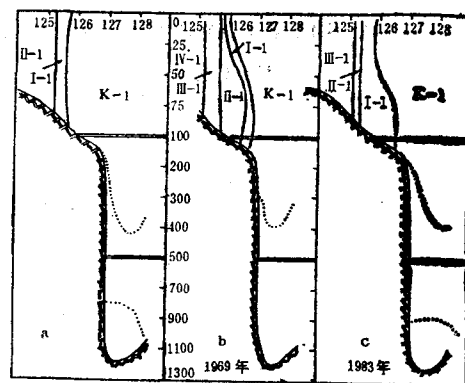


图 7 G断面冬季水型分布

Fig.7 The distribution of the water type on the section G in winter

3. 平年: 我们将1983年作为平年的代表年。其水型配置如图7c所示。该年K-1型水的分布范围比强年小而比弱年大。下界达390米处, 西界面, 在25米层仅及125°48'E附近, 在75米层以深为126°30'E。在此以西, 依次

是 I-1, II-1, III-1 型水; 无 IV 型水存在, 且混合水的范围比弱年的范围小, 但较强年的范围大。说明该年的混合不及弱年激烈, 但较强年复杂。

四、结 论

通过以上分析, 得出以下几点初步看法。

1. 黑潮上层水的变化可归结为强、平、弱三种类型。强年, 下界面的底深较深, 西界西伸距离较远, 高盐核的最高盐度值较高, 高盐核所在深度较浅。弱年反之, 平年居中。

2. 黑潮上层水的上部体积与高盐核所在深度有较好的负相关关系, 相关系数为 -0.43 。

3. 黑潮上层水高盐核处的最高盐度值与冬季黑潮流量有较好的正相关关系, 两者 3 年滑动平均值的相关系数为 0.53 。高盐核处的最高盐度值与相应的温度有较好的正相关关系, 两者 3 年滑动平均值的相关系数为 0.73 。

4. 黑潮水系和大陆沿岸水系的混合是在水温 15°C 以上的水层内进行的。水温低于 15°C

的黑潮水与大陆架上的海水不发生直接的混合过程。总的说来, 黑潮水系受大陆沿岸水系的影响, 冬季不如夏季明显。

5. 黑潮上层水与大陆沿岸水的混合可分为三种情况。强年, 主要发生 I-II 级混合, 混合区域比较偏西, 涌升现象较明显。弱年, 依次发生 I-IV 级混合, 混合区域比较偏东, 涌升现象不明显。平年, 依次发生 I-III 级混合, I-1 型混合水的范围比弱年 I-1 型水的范围大, 但较强年 I-1 型水的范围小, 混合情况不及弱年激烈, 但较强年复杂。

参 考 文 献

- [1] 杨天鸿, 1984. 东海黑潮水团的初步分析. 海洋科学集刊 21: 179—199.
- [2] 邢成军, 1986. 夏季东海黑潮次表层水变化特征的分析. 海洋与湖沼 (增刊)。
- [3] 佐原勉、半沢洋一, 1979. 东シナ海の水系分布. 海と空 54(4): 135—148.
- [4] 藤原伊佐美, 1981. 东シナ海の海況. 海洋科学 33(4): 264—270.

A STUDY ON THE VARIATIONAL CHARACTERISTICS OF THE KUROSHIO UPPER LAYER WATERMASS IN WINTER

Xing Chengjun

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

Abstract

In this paper, based on the temperature and salinity data obtained in 1956—1983 on section G in the East China Sea in winter, the temperature and salinity ranges and distribution of the Kuroshio Upper Layer Watermass (KULW) on section G are determined by t-S method. Its indicative characteristics are illustrated, its volume is calculated. The variational characteristics of KULW and the mixing circumstances of the Kuroshio with Continental Coast Water System are also studied with the following results.

1. KULW in the East China Sea can be classified by author into three types. In the strong years, the largest depth of lower boundary is deeper, western boundary extends further westward along the continental shelf, the salinity maximum in the core of high salinity larger, the depth of the core shallower. In the weak years just the opposite.

2. The correlation of the volume of water body above 100m of KULW in the East China Sea with the depth of high salinity core is remarkable, the correlative coefficient being -0.43 .

3. The correlation of the salinity maximum in the high salinity core of KULW with the rate of flow of the Kuroshio in winter is remarkable, the correlative coefficient of the 3-years running mean of both being 0.53, that with corresponding temperature is also remarkable, the correlative coefficient of the 3-years running mean of both being 0.73.

4. The mixing process of the Kuroshio and Coastal Water System takes place mainly at those layers where the water temperature is higher than 15°C , no mixing is found where the temperature of the Kuroshio Water is below 15°C . Generally speaking, Kuroshio Water is affected by Continental Coastal Water System more remarkably in the summer than in the winter.

5. The mixing process of the Kuroshio and Coastal Water System is classified by author into three types. In the strong years, mixing of first and second order take place mainly. The mixing region shifts westward. Upwelling is more remarkable. In the weak years, mixing of first, second, third and fourth order take place, the mixing region shifts eastward, upwelling is not remarkable. In the normal years, the mixing of first, second and third order take place. The mixing region of I-1 type water is bigger in the normal years than in the weak years, but smaller than in the strong years. The mixing circumstances is no intenser in the normal years than in the weak years, but is more complicated than in the strong years.