

1984年夏季东海水团的聚类分析

苗育田 于洪华 刘清玉

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

提要 利用Q型聚类分析中的夹角余弦法,以相似矩阵为主要依据,对1984年夏季东海82个大面温盐测站,进行了水团的聚合归类。仅表层就二级分割为5个水团:黑潮表层水,台湾暖水表层水,大陆沿岸水,东海陆架变性水和黄海表层混合水。表层之下的水团类型与其上类似。该结果与T-S图解和地转流法获得的结果吻合良好,表明本文引用的方法是可行的。

东海系广阔的陆架浅海,受地理条件、气象因素等影响显著。水文要素时、空变异剧烈,均一性、保守性较之大洋差,故水体已有不同程度的变性。对这一变性水体的研究,引起国内外许多海洋学者的极大兴趣^{[1-7],1)}。其中将聚类法首次用于分析黄、东海变性水团的是苏育嵩等^[2]。其后,也有一些学者将此法用于其他海域水系的分析,均收到了良好的效果。本文拟采用与前人类似的处理方法,讨论1984年夏季水团的类型、水团配置、边界等特征,以求对东海水团有进一步的认识。与此同时,作者欲对文中所取方法与其他法作一对比。

一、海区范围和资料

1984年6月11日至7月18日,“向阳红九号”和“曙光七号”调查船共同完成的东海

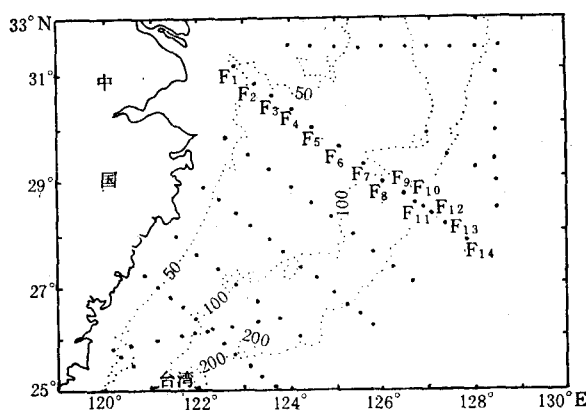


图1 调查海区站位图(1984.6.11—7.18)

收稿日期: 1986年5月6日。

1) 苗育田、苏纪兰、于洪华,1985。东海夏季水系的混合概况。(待刊稿)

大面积准同步调查,南起 $25^{\circ}20'N$,北至 $31^{\circ}30'N$,西邻岸边,东达 $129^{\circ}30'E$ 。计 8 个断面(其中 4 个断面自东海沿岸设站一直延伸到琉球海槽黑潮主逆流区内)、82 个大面 $T-S$ 测站、两个连续站、4 个锚系浮标站和 6 个深水 ($H \geq 100m$) 断面站的 GEK 表层测流(图 1)。上述断面之布设,为了解进入东海的黑潮水、陆架水及其他水系间的混合,提供了宝贵资料;其测区之广,为研究夏季东海水团之全貌,奠定了良好基础。这一点,恰是前人因受制于如此大范围的一次性准同步调查资料,难以做到的。

作者将校正到标准层次后的 $T-S$ 资料,分成 8 层: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100m 和底层以及各个断面,利用夹角余弦法对上述资料作聚类分析。

二、分析方法

假定有 N 个测站,每个测站测得 m 项指标(变量),将每个测站视为 m 维空间中的一个向量, $X_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}]$, $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 。于是 N 个测站构成了一个矩阵。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mN} \end{bmatrix}$$

其中, x_{ij} ($i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, N$) 为第 j 个测站的第 i 个指标的观测数据; X 即为原始资料矩阵,第 j 个测站 X_j 为矩阵 X 的第 j 列所描述,而第 i 个变量 x_i 为矩阵 X 的第 i 行所阐明,故任何两个测站 X_j 与 X_K 间的相似性即可通过矩阵 X 中的第 j 列与第 K 列的相似程度来表征。为定量进行分类,则需引进一些标志测站间相似程度的数量,称曰分类统计量。本文选用 θ 型聚类分析中的夹角余弦法,即把任何两个测站 X_j , X_K 视作 m 维空间的两个向量,它们的夹角余弦(即相似系数)用 $\cos \theta_{jK}$ 表示,写成

$$\begin{aligned} X_j &= [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}]' \\ X_K &= [x_{1K}, x_{2K}, \dots, x_{mK}]' \\ \cos \theta_{jK} &= \frac{\sum_{a=1}^m x_{aj} x_{aK}}{\sqrt{\sum_{a=1}^m x_{aj}^2 \cdot \sum_{a=1}^m x_{aK}^2}} \end{aligned}$$

其中, $-1 \leq \cos \theta_{jK} \leq 1$ 。

当 $\cos \theta_{jK} = 1$, 则说明 X_j 与 X_K 两站水体之理化性质完全相似,同属一类。

当 $\cos \theta_{jK}$ 接近于 1, 则 X_j 与 X_K 两站相似密切,亦可归属同类。

当 $\cos \theta_{jK} = 0$, 则意味着两站全然不同,无法聚合为同属,只能各自独立。

若 $\cos \theta_{jK}$ 接近于零,那么两站 X_j 与 X_K 差异大,难以聚合为同类。

将所有两两测站相似系数 $\cos \theta_{jK}$ ($j, K = 1, 2, 3, \dots, N$) 求出后,排成一个相似系数矩阵:

$$\theta = [q_{jK}] = \begin{bmatrix} \cos \theta_{11} & \cos \theta_{12} & \dots & \cos \theta_{1N} \\ \cos \theta_{21} & \cos \theta_{22} & \dots & \cos \theta_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \cos \theta_{N1} & \cos \theta_{N2} & \dots & \cos \theta_{NN} \end{bmatrix}$$

上式中, $\cos \theta_{11} = \cos \theta_{22} = \dots = \cos \theta_{NN} = 1$ 。上述为一对称的实矩阵。据 θ 可对 N 个

测站进行分类,把较为相似的站归为一类,相似程度差的则属另类。本文参与聚类的测站 N 数最大为 82(表层、10m 层),最小为 37(100m 层),其余介于两者之间,指标变量选择 T, S , 系二维空间的向量聚类分析。

因各变量的单位、量级、绝对值大小之不同,若将原始数据直接代入计算,势必会突出绝对值大的变量,而压低绝对值小的变量作用,从而导致结果不真实。为此,计算前作者对原始数据作了如下三种方法的预处理,以消除量纲等之干扰。

(1) 标准差标准化法

对第 i 个变量进行标准化,变换式为

$$x'_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i / S_i,$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, N; \bar{x}_i$ 和 S_i 分别为变量 i 的平均值和方差值。

(2) 极差标准化法

将 x_{ij} 变换为

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\max_{1 \leq j \leq N} \{x_{ij}\} - \min_{1 \leq j \leq N} \{x_{ij}\}}$$

(3) 极差正规化法

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq N} \{x_{ij}\}}{\max_{1 \leq j \leq N} \{x_{ij}\} - \min_{1 \leq j \leq N} \{x_{ij}\}}$$

这时 $\{x'_{ij}\}$ 的极差为 1,消除了量纲的干扰,且 $0 \leq x'_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, N$ 。

通过对以上三种方法比较证明,第三种方法处理结果较为理想。

三、分析和讨论

以算出的相似矩阵为主要依据,对测站进行聚合归类。现以表层及 10, 100m 层和 F 断面为例,讨论聚类划分水团的结果。并将文中所采用的方法与文献中^[3]应用 $T-S$ 点聚类划等的结果和据 $T-S$ 要素得到的地转流场分布进而划出的测区各水团分布状况予以比较。

(一) 聚类分析和水团分布

由聚类树最小值始,逐级划分各层水团。表层二级划分为 5 个水团:东海黑潮表层水,台湾暖水表层水,东海陆架变性水,东海大陆沿岸水^[3]和黄海表层混合水(见图 2)。

1. 黑潮表层水和台湾暖水表层水

从图 2 显见,位于测区最外侧的是黑潮高温、高盐水,它自西南流向东北,在 $29^{\circ}30'N$ 附近,回流太平洋。台湾暖水表层水,自台湾岛北方缘起,大致沿 50m 和 100m 等深线之间,成舌状向东北偏北方向延伸,舌端可及 $30^{\circ}N$ 附近,具有高温、次高盐的特征。以上两种水,温度相近,盐度前者略高于后者。聚类中,作者针对这一差别,将这两个相似系数接近的水团区分开来。两者温、盐特征的近似,阐明了台湾暖水系自黑潮分出的一个变性水团。此处只要将表层二级划分的水团分布(图 2)和表层盐度分布(图 3)稍加对比,则聚类

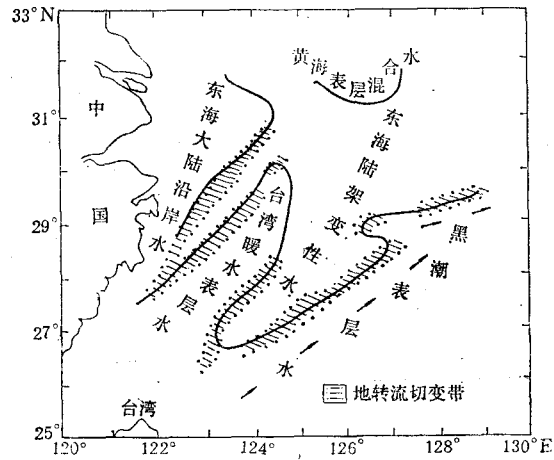


图 2 表层聚类水团分布

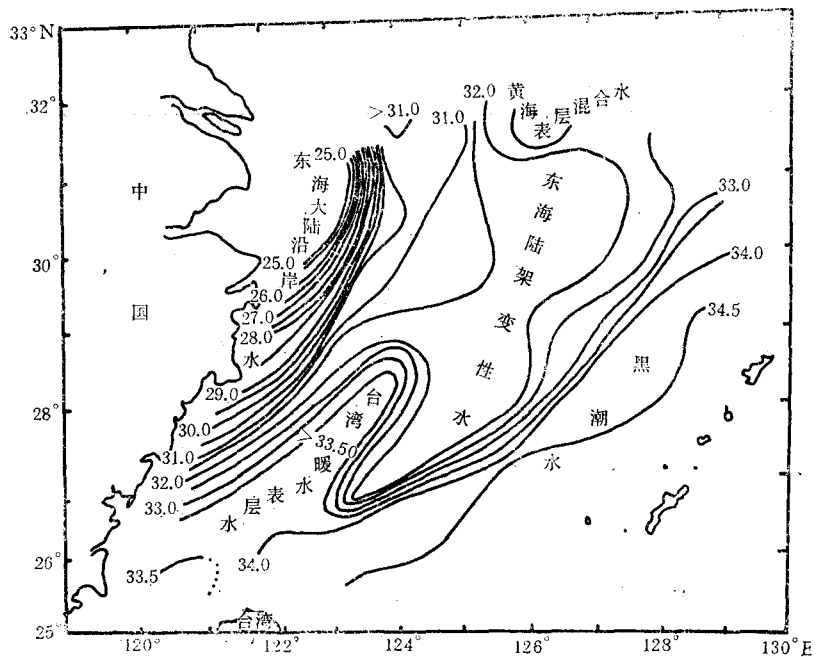


图 3 表层盐度分布图

中盐度的贡献,就不言而喻了。

2. 东海陆架变性水

由图 2 获知,该水团的范围广阔,占据了大部分的东海陆架区。它是由右侧的黑潮水、左侧的大陆沿岸水、北伸的台湾暖水以及自北而南进入东海的黄海水,几种水团复杂混合而成的。该水团的性质,既不同于高温、高盐的黑潮水,亦别于左侧的低盐大陆沿岸水。其温、盐特性介于两者之间,它与毗邻水团的联接处,存在着较大的水平梯度,成为过渡带^[3](见图 3)。这种过渡带强度的区域性差异,在二级聚类结果中,是辨认不出来的,不

象 $T-S$ 点聚图分析的水型那么直观。

3. 东海大陆沿岸水

该水团主要是由长江、钱塘江等入海径流及其与东海陆架变性水、台湾暖水混合而成的一支沿岸水(见图 2), 以低盐为主要特征。它与毗邻水团的界面处, 存在着一个强的盐度过渡带。

4. 黄海表层混合水

在测区的北部、济州岛南和西南还划出一块中盐、低温水, 本文称曰黄海表层混合水。以上各水团的温、盐范围及特征值, 见表 1。

表 1 各水团的温、盐范围及特征值

水团名称	温、盐度范围		特征值	
	温度 ($T^{\circ}\text{C}$)	盐度 ($S_{\text{‰}}$)	\bar{T} (平均)	\bar{S} (平均)
黑潮表层水	25.80—29.30	34.00—34.70	28.20	34.40
台湾暖水表层水	25.79—28.30	33.03—34.06	27.43	33.63
东海陆架变性水	25.54—28.17	30.53—33.03	27.38	32.12
东海大陆沿岸水	23.84—27.48	24.20—30.45	25.64	28.40
黄海表层混合水	24.98—25.97	32.27—32.75	25.26	32.52

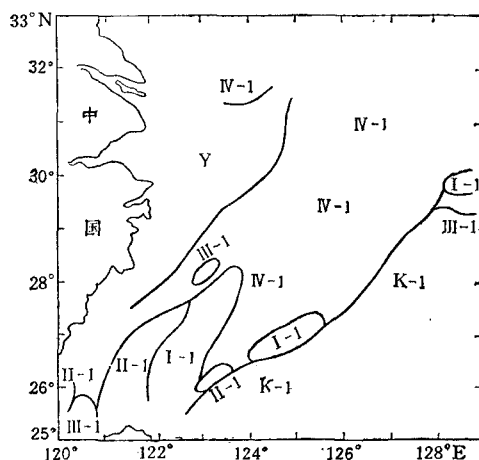


图 4 表层水系分类分等图^[3]

将聚类分析结果与 1984 年夏季的表层盐度分布图(图 3)和表层水系分类分等图(图 4)^[3]予以对照, 可见, 三种情况的水团分布趋势是颇为相似的, 只是此处所给出的台湾暖水表层水向北伸展的范围更远一些而已。

10m 层聚类的水团分布类型(图 5)与表层基本相似。随深度增加, 海水理化性质受径流、气象等外界因素影响程度减弱, 故使依赖于温、盐度两个变量指标的聚类分析结果, 对揭示水团分布的真实面貌, 比起表层, 具更好的代表性。

图 6 为深度增至 100m 处, 聚类分析结果的水团分布。二级分割是 4 大类: 东海陆架下层变性水; 黑潮次表层水(20 $^{\circ}\text{C}$ 等温线似乎正好将以上两种水团划分开来); 位于测区

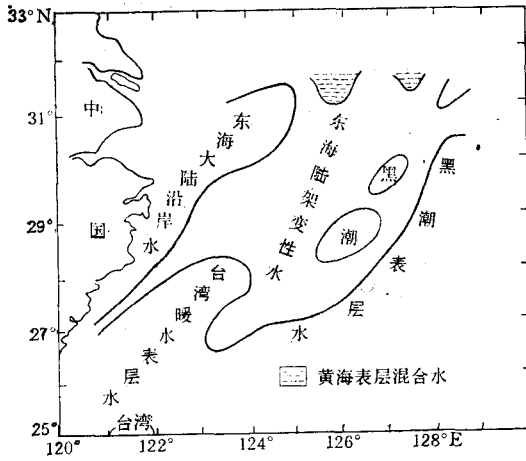


图 5 10m 层聚类水团分布

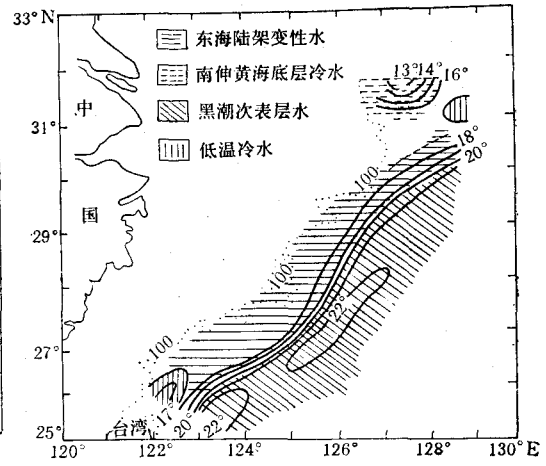


图 6 100m 层聚类水团分布

北端的还有南伸的黄海底层冷水；台湾东北彭佳屿附近涌升的黑潮低温水、日本宇治群岛西南的冷水。

各断面聚类水团配置情况不尽相同。以最长的 F 断面为例，描述水团的断面聚类分布特点(F 断面的地理位置见图 1)，同样取二级分割，由其结果可见，在 F 断面左侧上层为东海大陆沿岸水，下层为陆架混合水；断面的右侧上层是高温、次高盐的黑潮表层水，而下层是高盐、次高温的黑潮次表层水。以上两种水团之间的广阔陆架区，均为陆架变性水，只是在 5—7 站的近底层，才见到南伸的黄海底层冷水。在此断面上，未见台湾暖水，这种情况与 T-S 点聚划分结果雷同(见图 7)。

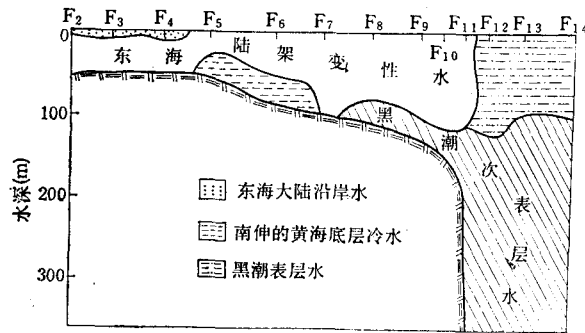


图 7 F 断面聚类水团分布图

(二) 地转流场与水团分布

东海夏季海水层化现象显著，除河口海域外，对广阔的东海陆架浅海，地转流理论是适用的^[1]。据此，作者估算了测区的地转流场^[1]。从计算的结果看，流向的总趋势，大致沿

1) 零面选为 200m, 只计算垂直于断面的流速分量, 不计风因素影响。

等深线进行,且能粗略地反映出测区内各水团的配置、混合域和边界位置。为比较方便,将显著的流速切变带,以点横形式绘于图2中,可见切变带两侧,分别是两种不同性质的水团,该切变带大致对应着上述不同水团的过渡带。故从地转流场的结果看,水团分布形势与聚类分析结果亦较吻合。至此,作者认为,本文所取之方法是可行的。

尚须指明,在资料处理过程中,曾有少数测站(如高温、高盐和低温、低盐水的部分站)其相似系数尽管都很大,亦颇接近,然而,它们实际上并非同群。

对于测区内那些来源不同而温、盐性质相近的水体,单凭温度和盐度两个指标量,欲理想地划分出各水团的真实面貌,看来是不够的,还应加上 O_2 、渗透压等其他指标量。但到目前为止,限于现有资料,仅能如此而已。殷切期望获得更多的同期资料,以丰富本文的内容。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、任允武、万国铭,1964。应用 $T-S$ 关系定量地分析浅海水团的初步研究。海洋与湖沼 6(1): 1—22。
- [2] 苏育嵩、喻祖祥、李风岐,1983。聚类分析法在浅海水团分析中的应用及黄、东海变性水团的分析。海洋与湖沼 14(1): 1—11。
- [3] 翁学传、王从敏,1984。台湾暖流水夏季 $T-S$ 特征和来源的初步分析。海洋科学集刊 21: 113—131。
- [4] 管秉贤,1983。黑潮源地区若干冷暖涡的主要特征。第二次中国海洋湖沼科学会议论文集, 19—29 页。
- [5] 管秉贤,1978。我国台湾及其邻近海底地形对黑潮途径的影响。海洋科学集刊 14: 1—22。
- [6] 赫崇本、汪园祥、雷宗友等,1959。黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨。海洋与湖沼 2(1): 11—15。
- [7] 佐原勉、半沢洋一,1979。東シナ海の水系分布。海と空 54(4): 135—148。

CLUSTER ANALYSIS OF WATER MASSES IN THE EAST CHINA SEA IN SUMMER 1984

Miao Yutian, Yu Honghua and Liu Qingyu

(Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou)

ABSTRACT

Authors used the Kuroshio experiment investigation data in the East China Sea in summer 1984, adapted the included angle cosine method of Q type in cluster analysis, by means of computing the similar matrix, made water mass classification from temperature and salinity on 82 stations, discussed characteristics of the water mass distribution status and cluster results about surface, 10 m, 100 m layer and F section. The water masses are divided into five kinds in second stage: the surface kuroshio water of high temperature and high salinity located on the right side of the observation area; the Taiwan Warm Surface Water was a high temperature and higher salinity water mass which expanded toward northeast direction with tongue-like along 50—100 m isobath and its tongue-peak reached near 30°N; the Coastal Water of the East China Sea was mainly consisted of runoff Changjiang and Qiantang rivers and was mixed up with adjacent waters, it was a coastal water of low salinity; the continental shelf modified water mass was a complicated mixture product of three kinds of waters mentioned above, it occupied a large part of observation area; a small part of the surface water in the Huanghai (Yellow) Sea was in the north of observation area. Types of cluster analysis of water masses below the surface were similar to the surface layer.

As compared with T - S diagram method and geostrophic flow, the cluster analysis result coincided with them. Therefore, the introducing method in this paper was available. If there are other index values except temperature and salinity (but unfortunately authors have not gotten those data), an idea result will be derived by using more than two demension cluster analysis.