

# 应用对应分析法划分夏季 东海水团的初步研究\*

张启龙 翁学传

(中国科学院海洋研究所)

本文所用资料主要是日本气象厅等单位于1966年7月10日—8月10日所收集的温、盐度和溶解氧的观测资料,共75个测站。测站分布均匀且遍及24°—32°N的整个东海海域(图1c)。

## 一、分析方法

设研究海域有n个测站,在每个测站某一层上测得m个水文要素(例如温度、盐度、溶解氧等),将这n个测站的m个水文要素按序排列,便得n×m阶数据矩阵X

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{pmatrix} = [X_{ij}] \quad (1)$$

其中,  $X_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ ) 为第i测站的第j个水文要素;若矩阵(1)是由某一断面的原始数据构成,则  $X_{ij}$  表示第i站层的第j个水文要素。

对于矩阵(1),采用如下的数据变换:

$$Z_{ij} = \frac{P_{ij} - Y_i S_j}{\sqrt{Y_i S_j}} \quad (2)$$

其中

$$P_{ij} = X_{ij}/t, \quad Y_i = \sum_{j=1}^m P_{ij}, \\ S_j = \sum_{i=1}^n P_{ij}, \quad t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}$$

$$i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$$

则得出关于样品和变量为对称的矩阵Z

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nm} \end{pmatrix} \quad (3)$$

其变量和样品间的协方差矩阵分别为

$$A = Z'Z \quad (4)$$

和

$$B = ZZ' \quad (5)$$

其中Z'表示Z的转置。

由于矩阵A是m×m阶对称矩阵,所以必存在一正交矩阵U,使

$$AU = \Lambda U \quad (6)$$

其中

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_m \end{pmatrix}$$

为A的特征值矩阵,U为相应的特征向量矩阵。

容易证明

$$V = ZU\Lambda^{-1/2} \quad (7)$$

是矩阵B的正交特征向量矩阵,Λ是B的特征值矩阵。

由式(7)可以推得

$$U = Z'V\Lambda^{-1/2} \quad (8)$$

式(7)与式(8)称为变量空间R<sup>m</sup>和样品

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1123号。

空间 $R^n$ 的二重性或偶性。

对于求解因子载荷问题，目前尚无统一的计算公式。本文根据文献(1)和(3)所提出的公式，并结合浅海水文状况复杂多变的特点，将R型和Q型的因子载荷分别取为

$$G = S^{-1/2} U \Lambda^{1/2} \quad (9)$$

和

$$F = Y^{-1/2} V \Lambda^{1/2} \quad (10)$$

其中

$$S = \begin{pmatrix} S_1 & & & 0 \\ & S_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & S_m \end{pmatrix}$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 & & & 0 \\ & Y_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & Y_n \end{pmatrix}$$

(这里 $S_j$ 和 $Y_i$ 的值与式(2)同)。

考虑到式(7)，将式(10)改写为

$$F = Y^{-1/2} Z U \quad (11)$$

从水团分析的角度来看，式(9)是表征水文要素间关系的系数矩阵，而式(11)则表征测站间关系的系数矩阵。由于二者具有相同的方差贡献 $\Lambda$ ，从几何意义上讲，即是 $m$ 维空间中诸测站点与 $m$ 维空间中各因子轴的距离和 $n$ 维空间中诸水文要素点与 $n$ 维空间中相对应的各因子轴的距离完全相同，因此，我们可以将测站点和水文要素同时表示在一个因子平面上，构成因子点聚图。

本文是根据特征值累积百分比的大小确定因子的个数(在 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ 的情况下)。

假定仅取 $\Lambda$ 中前 $k$ 个较大的值，而在 $U$ 中取相应的前 $k$ 列，则式(9)和式(11)可分别改写为

$${}_m G_k = {}_m S_k^{-1/2} U_k \Lambda_k^{1/2} \quad (12)$$

和

$${}_n F_k = {}_n Y_k^{-1/2} Z_k U_k \quad (13)$$

根据式(12)和式(13)算得的结果，可以得到 $k \times (k-1)/2$ 幅 $(f_i, f_{i+1}; g_j, g_{j+1})$ 因子点聚图。利用这些因子点聚图便可进行水团分析，其基本原则如下：第一，由于相对集中的测站点系表示这些测站的水文要素值相近，其理化性质基本相同，可把这些点子划归一类而视为一个水团。第二，对于群集的水文要素点，可认为这些水文要素之间的关系密切。第三，若一个(些)水文要素点和一组测站点靠近，可认为这个(些)水文要素是这组测站点所表征的水团的主要水文要素。第四，对于比较分散不能聚类的测站点，可认为测站位于水团间的过渡带，即混合区。

## 二、结果和讨论

本文将东海全区16个标准层(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000米层)和4个断面(T, G, C和123°E断面)的温、盐度，以及溶解氧观测资料作独立变量。利用上述方法在DJS-6机上进行了计算，并根据计算结果，对夏季东海的水团进行了研究。表1是几个具有代表性水团和断面的R型分析结果。

下面我们以太层和G断面为例，讨论因子点聚与水团配置的关系。

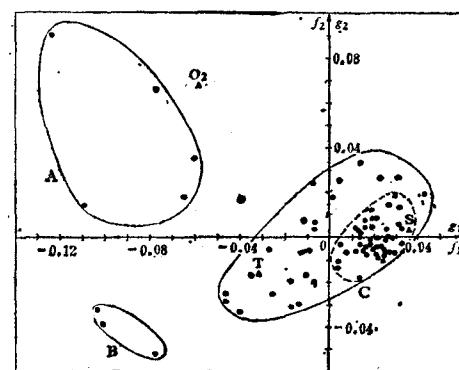


图1a 表层因子点聚图  
A为大陆沿岸冲淡水；B为黄海水；  
C为黑潮水系。

就测站点的位置而论，黑潮水系实际包括了黑潮主干表层水及其变性水。为了将它们区

别,需对图1a黑潮水系范围内的测点作次一级的划分。故首先据上节中所述的原则将比较密集的测站点(表征黑潮表层水和台湾暖流表层水)单独划出(图1a的虚线);其次结合地理学方法,在图1a中直接确定出表征对马暖流水的测站点。对于比较零散的测站点,因大多数都位于黑潮表层水及其变性水与其它水系的过渡带,即混合区域,故将这部分水体称之为东海混合水。

由于台湾暖流表层水的温、盐等特性与黑潮表层水较为相近,为了将它们区分开,对图1a中虚线部分的测站资料再次进行对应分析(在计算时,对数据作了正规化处理)。所得结果如图1b所示。由图1b可见,代表黑潮表层水的测站点集于一团,位于第二因子轴的左侧,且与S靠近;而代表台湾暖流表层水的测站点位于第二因子轴的右侧且与O<sub>2</sub>靠近。综合以上分析,得出了东海表层水团的配置概况(图1c)。

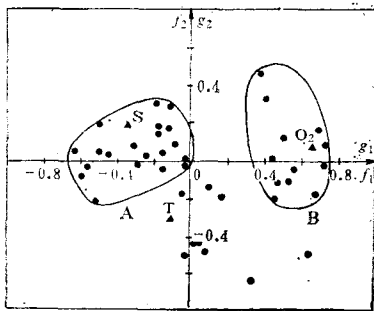


图1b 黑潮表层水和台湾暖流表层水  
A为黑潮表层水; B为台湾暖流表层水。

表1 R型结果、特征值及累积

层次 (断面)	因子 因子	变量 T	S	O <sub>2</sub>	特征值	累积 (%)
0米	F <sub>1</sub>	-0.0317	0.0361	-0.0581	0.0013	75.27
	F <sub>2</sub>	-0.0152	0.0038	0.0682	0.0004	100
30米	F <sub>1</sub>	0.0591	-0.0392	-0.0450	0.0024	71.68
	F <sub>2</sub>	0.0011	-0.0153	0.1067	0.0009	100
75米	F <sub>1</sub>	0.0769	-0.0528	0.0084	0.0038	93.06
	F <sub>2</sub>	-0.0054	-0.0040	0.0613	0.0003	100
150米	F <sub>1</sub>	0.0929	-0.0538	-0.0060	0.0047	97.92
	F <sub>2</sub>	0.0024	-0.0029	0.0361	0.0001	100
200米	F <sub>1</sub>	0.1092	-0.0566	0.0003	0.0057	98.06
	F <sub>2</sub>	-0.0029	-0.0029	0.0386	0.0001	100
400米	F <sub>1</sub>	0.1495	-0.0635	0.0939	0.0039	99.08
	F <sub>2</sub>	-0.0067	-0.0008	0.0320	0.0001	100
1000米	F <sub>1</sub>	0.1120	-0.0189	0.0684	0.0020	99.04
	F <sub>2</sub>	-0.0049	-0.0003	0.0190	0.0000	100

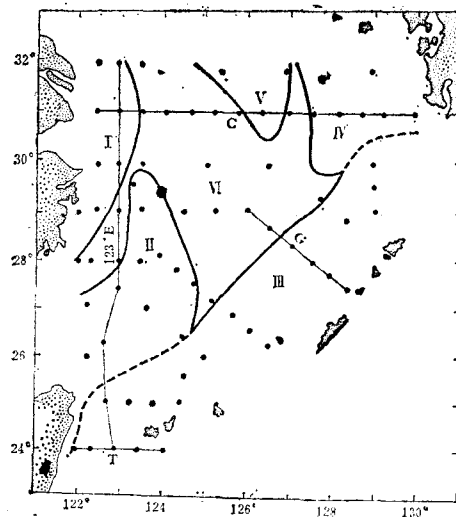


图1c 东海表层水团配置

I为大陆沿岸冲淡水; II为台湾暖流表层水; III为黑潮表层水; IV为对马暖流表层水; V为黄海水; VI为东海混合水。

图2a清晰地表示出在G断面上存在着五个水团。G断面上的水团配置如图2b所示。

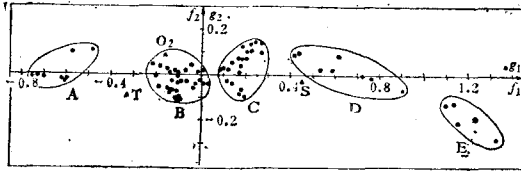


图2a G断面因子点聚图

A为东海混合水；B为黑潮表层水；  
C为黑潮次表层水；D为黑潮中层水；  
E为黑潮深层水。

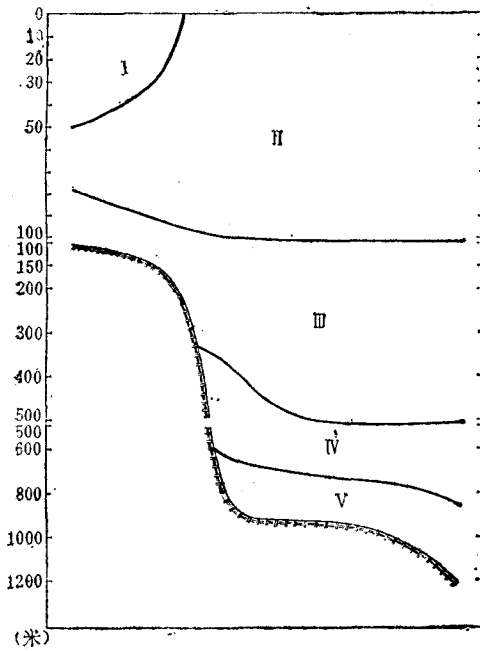


图2b G断面水团配置

I为东海混合水；II为黑潮表层水；  
III为黑潮次表层水；IV为黑潮中层水；  
V为黑潮深层水。

各水团的水文特征值列于表 2。

各水团的概况如下。

1. 大陆沿岸冲淡水：包括长江冲淡水和部分浙江沿岸水，主要特征是低盐、高溶解氧。从图1c可见，其表层向东扩展的范围不大，东界约在 123°23'E 附近，这可能与该年夏季长江径流偏小有关。该水团扩展深度在 10—25 米以内。

2. 黑潮表层水：约位于 0—75 米的水层，最大深度约 100 米（图 2b），具有高温、高溶解氧特性。该层水的盐度和溶解氧的垂直分布较均匀，而温度则随深度降低（表 2）。

3. 黑潮次表层水：位于黑潮表层水之下。在黑潮主干区，其上界在 75—100 米之间，下界大致位于 450 米，且呈现东部深西部浅（陆坡一侧）的分布趋势（图 2b）。在陆架边缘，黑潮次表层水还出现沿坡爬升的现象。该层水盐度较高，最高盐度值约在 200 米深附近（表 2），水层的温度和溶解氧均随深度降低。

4. 黑潮中层水：大致位于 450—800 米水层，分布范围不如表层水和次表层水那么广，主要存在于黑潮主干区。它的温、盐度和溶解氧的性质较稳定。它比黑潮其它水团的盐度都低。

5. 黑潮深层水：盘踞于黑潮主干区约 800 米以深海域。在 G 断面，其下界约在 1200 米处（图 2b）。该层水的水文要素分布均匀，温度和溶解氧值较黑潮中层水低，而盐度却稍高。

6. 台湾暖流水：存在于东海陆架西部海域，据温、盐度等特性可划分为表层水和深层水。台湾暖流深层水与表层水的界面深度自南

表 2 各水团的温、盐、溶解氧特征值

水团名称	水层 (米)	$\bar{T}$	$\bar{S}$	$\bar{O}_2$
大陆沿岸冲淡水	0	27.92	24.75	5.53
黑潮表层水	0	29.15	34.53	4.51
	30	28.68	34.54	4.52
	75	25.01	34.59	4.48
黑潮次表层水	150	22.64	34.79	4.35
	200	20.50	34.87	4.25
	400	14.48	34.59	3.95
黑潮中层水	400	9.28	34.39	2.84
黑潮深层水	1000	4.45	34.41	1.75
台湾暖流水	0	28.33	33.71	4.65
	50	23.73	34.19	4.41
对马暖流水	0	30.35	33.23	4.50
黄海水	0	30.67	28.21	4.50
	30	19.81	33.08	5.55
东海混合水	0	28.66	32.84	4.64

向北减少,在南部约为50米,而在舟山外海减至30米左右。台湾暖流表层水是由黑潮表层水和来自台湾海峡的海水混合而成;台湾暖流深层水则源于黑潮次表层水<sup>(2)</sup>。

7. 对马暖流水:如图1c所示,海域的东北一隅存在着对马暖流水的部分水体。其表层的盐度比黑潮表层水低,而溶解氧则基本相近。

8. 黄海水:存在于本文研究海域北部的黄海水,只是它的边缘部分(主体位于黄海)。其表层的南界在 $31^{\circ}\text{N}$ 附近;在30米层处,南界已向南扩至 $30^{\circ}\text{N}$ 附近。从水文特征分析,这部分水大致以20米为界可分为上、下两层:上层水具高温、低盐、低溶解氧特性,下层水具低温、中盐、高溶解氧特性(表2)。

9. 东海混合水:由东海黑潮水与大陆沿岸冲淡水和黄海水混合形成,因位于东海中部广大海域,故称为东海混合水。它的盐度高于大陆沿岸冲淡水和黄海水,温度则较相近(表2)。

综上所述,应用对应分析法对夏季的东海水团进行分析,得出比较满意的结果。

### 参 考 文 献

- (1) 朱盛明, 1982. 因子分析的综合方法——对应分析。气象4:35—37。
- (2) 翁学传、王从敏, 1983. 台湾暖流水(团)夏季T-S特征和来源的初步分析。海洋科学集刊21:113—133。
- (3) 煤炭科学研究院地质勘探研究所、西安矿业学院数学教研室, 1981. 数学地质基础与方法。煤炭工业出版社, 482—499页。

## A PRELIMINARY INVESTIGATION ON DIVIDING THE WATER MASSES IN THE EAST CHINA SEA IN SUMMER BY USING THE COMPARISON ANALYSIS METHOD

Zhang Qilong and Weng Xuechuan

(Institute of Oceanology, Academia [Sinica])

### Abstract

Data of temperature, salinity and dissolved oxygen were obtained mainly from July 10 to August 10, 1966. Comprehensive analysis of the factor diagrams on sixteen standard layers and four sections shows there are nine water masses in the whole sea area, i. e., the Kuroshio Surface Water, the Kuroshio Subsurface Water, the Kuroshio Central Water, the Kuroshio Deep Water, the Continental Coastal Water, the Taiwan Warm Current Water, the Yellow Sea Water, the Tsushima Warm Current Water and the East China Sea Mixing Water, of which the first six water masses are the chief ones in this area. The paper has also investigated in detail the distribution characteristics of the every water mass.