

东海北部陆架区底层冷水的初步分析*

蓝淑芳 顾传成 傅秉照

(中国科学院海洋研究所)

在东海北部陆架上, 济州岛西南, 大致以 $32^{\circ}00'N$, $126^{\circ}00'E$ 海区为中心, 自跃层所在深度到海底, 夏季有一个较冷水体存在, 本文称之为“东海北部底层冷水”(简称北部底层水)。国内外海洋学者, 特别是日本学者曾对东海陆架上的冷水作过研究^[1]。如日本海洋学者佐原勉^[2]认为, 东海陆架上的冷水来源于大陆沿岸; 深濑茂^[3]则将济州岛西南的冷水命名为中部底层水, 并确定了它的温、盐度指标, 讨论了它的来源。本文在前人工作的基础上, 根据我国 1976—1977 年标准断面资料, 以及日本气象厅 1963—1975 年调查资料, 对北部底层水的变化及其成因进行初步的分析。

一、东海北部底层冷水的形成、消衰及其温、盐度特性

根据我国标准断面调查资料, 绘制了 1976 年每双月的温度、盐度、溶解氧大面图, 同时绘制了北部底层水中心所在断面 ($32^{\circ}N$) 及其附近断面 ($31^{\circ}N$) 的温度、盐度、溶解氧断面图。对大面图和断面图的分析, 得出了北部底层水的分布范围、出现和消衰的过程及其温度、盐度、溶解氧特性。

1. 东海观测海区 (28° — $34^{\circ}N$, $127^{\circ}E$ 以西) 温度、盐度和溶解氧大面分布

从 2 月份温度大面图可以看出, 在调查海区内, 存在一由温度为 $9-15^{\circ}C$ 等温线构成的低温水舌, 从西北指向东南。近岸, 水温较低, 等温线大致与岸边平行。远岸海区, 温度逐渐向东升高。在温舌存在的海域, 有一由盐度为 $32-34\text{‰}$ 的等盐线构成的低盐舌与之相对应, 也是从西北指向东南。近岸等盐线与岸边也大致平行。

溶解氧的分布是, 近岸较高, 绝对含量在 7 毫升/升左右, 远岸较低, $126^{\circ}E$ 以东海区, 绝对含量在 6 毫升/升左右。从垂直方向看, 整个海区下层溶解氧的绝对含量较上层略低。

在夏季北部底层水存在的海区内, 温度范围为 $9-15^{\circ}C$ 左右, 盐度范围为 $32-34\text{‰}$ 左右, 溶解氧绝对含量范围为 $6-6.5$ 毫升/升左右。

从整个调查海区看, 各水文要素, 其上、下层分布趋势基本一致 (如图 1)。

4 月份, 除近岸水温和远岸上层水温略有增高外, 温、盐度总的分布趋势与 2 月份类似。溶解氧的绝对含量则较 2 月份低, 且呈现北高南低, 西高东低的趋势。

到 6 月份, 从 $15-20$ 米深度以下, 直至海底, 大致以 $32^{\circ}N$, $126^{\circ}E$ 海区为中心, 出现

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 659 号。

收稿日期: 1980 年 10 月 7 日。

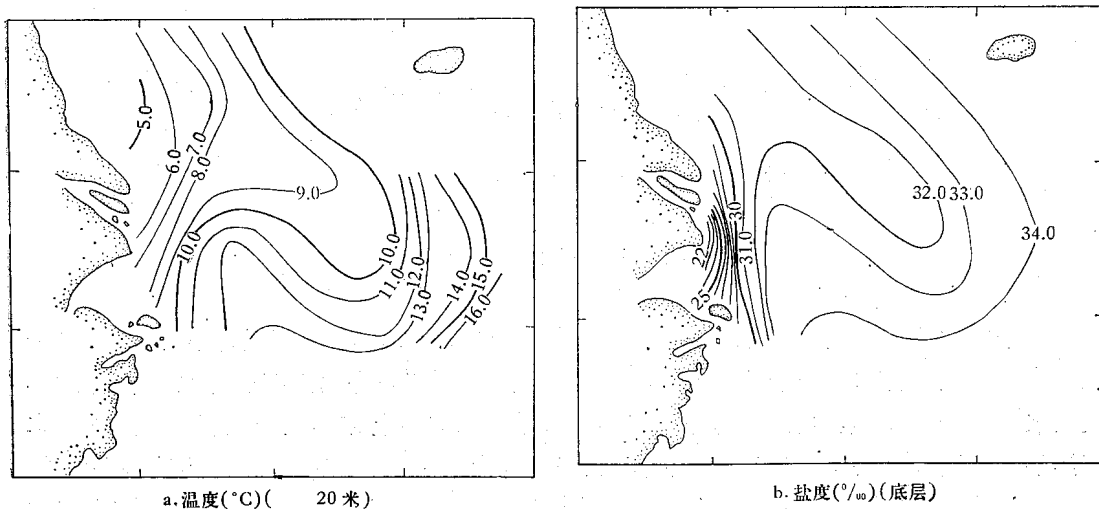


图1 1976年2月东海温、盐度大面分布

一低温冷水区域。其东西约占一个半经度,向南可达 30°N 以南。冷水区域的温度在 14°C 以下,盐度在 32—34‰ 之间。这一冷水即本文所讨论的北部底层水(如图2)。溶解氧含量继续降低,但在北部底层水所在区域,在 15—20 米左右深度上,溶解氧绝对含量却升高,中心超过 7 毫升/升,而其上、下层则均在 6 毫升/升以下。

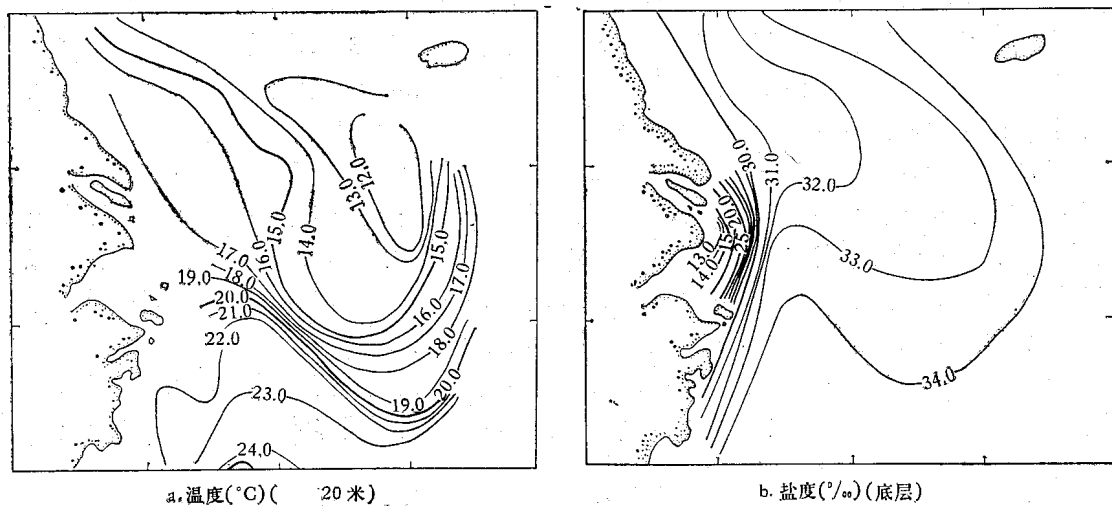


图2 1976年6月东海温、盐度大面分布

8 月份,由于近岸和远岸上层水继续急剧增温的影响,北部底层水开始增温,从而冷水范围逐渐收缩。

10 月中旬,北部底层水只存在一些痕迹。约到 10 月下旬或 11 月初全部消失。

2. 东海 32°N 和 31°N 断面上的温、盐度和溶解氧分布

(1) 32°N 断面

2 月份,断面上的等温线呈垂线状,水温由岸边向外海递增,最低等温线值为 6°C ,最

高等温线值为 15°C ，近岸和断面东部水平梯度较大(如图 3a)。

4 月份,断面西半部从表层到底层普遍增温,东半部仅上层略有增温。

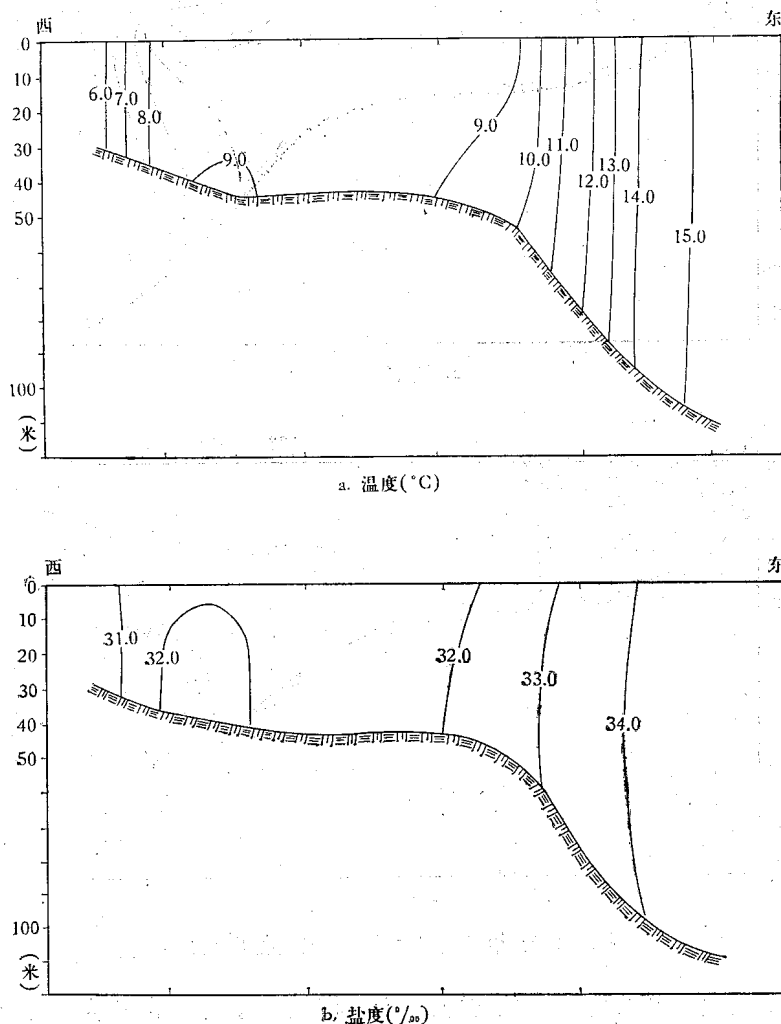


图 3 1976 年 2 月 32°N 断面温、盐度分布

到 6 月份,整个断面上层普遍迅速增温。断面西半部由于近岸边,水浅,混合作用可达海底,所以下层也迅速增温。断面东半部,上层增温,在 10—20 米深度范围内等温线密集,这就是跃层所在处。跃层以下,水温与冬季接近。温度在 14°C 以下的底层冷水中心位于 4038 站和 4039 站附近。中心最低温度在 $10\text{—}11^{\circ}\text{C}$ 左右(如图 4a)。

8 月,北部底层水仍维持在原处,因上层急剧增温的影响,跃层进一步向深处发展,冷水范围略有缩小,其中心温度略微升高。

10 月中旬,北部底层水尚有些痕迹,但很快就全部消失。

这一断面上的盐度,自西向东逐渐递增。东半部海区,2—6 月期间(除 6 月上层盐度较低外)均为 32—34‰ 的等盐线所控制(如图 3b, 4b)。

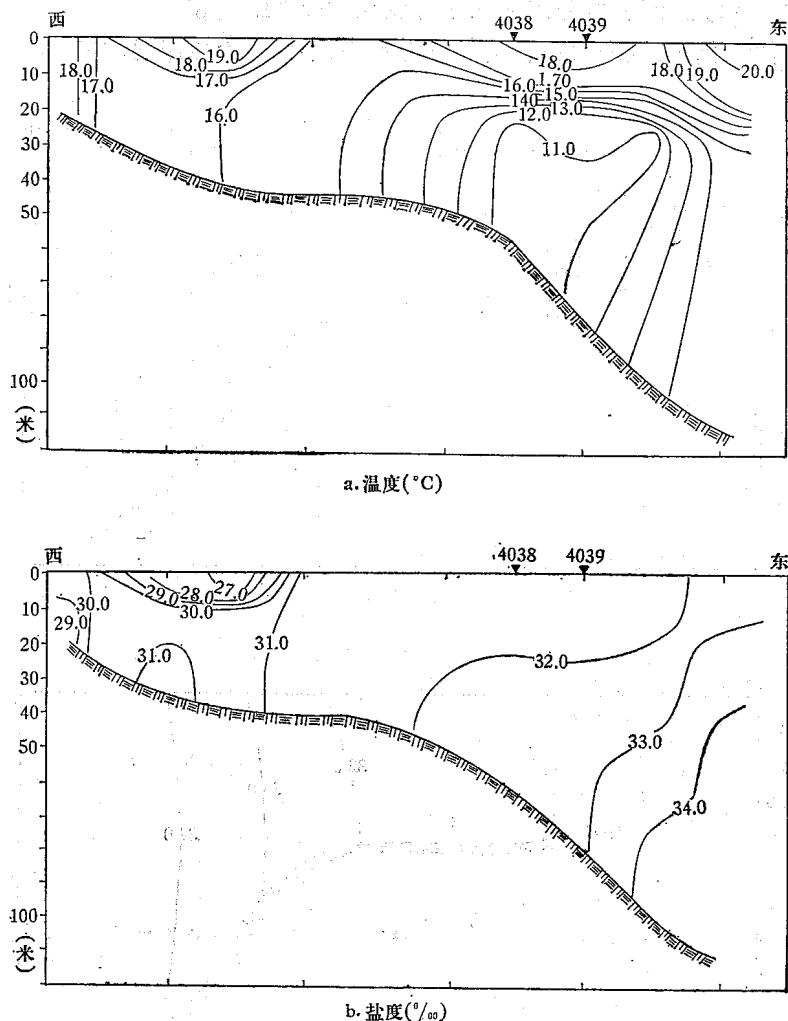


图4 1976年6月32°N断面温、盐度分布

溶解氧的分布是：2月份呈垂直均匀分布；到6月份，断面的东半部在15—25米深度上（即跃层附近），出现溶解氧含量为7毫升/升左右的高值海域，其中心在4039站附近，中心最高值在7毫升/升以上；海域上、下层含量均在6毫升/升以下。

(2) 31°N 断面

该断面各月温度、盐度、溶解氧的分布趋势与32°N断面相同。

2月份，断面中部为10℃等温线所控制，向东逐渐递增到接近14℃。

到6月份，以4046站和4047站附近海区为中心，在10—20米深度（即跃层所在处）以下，出现低于14℃的冷水，中心最低温度在11—12℃之间，较32°N断面冷水温度略高，这就是北部底层水。8月，其中心温度略有升高，冷水范围缩小。到10月份即消失（如图5a）。

断面东半部，从2月到6月均为32—34‰的等盐线所控制（如图5b）。

6月份断面东半部，在15—25米的深度上（即跃层附近）出现溶解氧绝对含量较高的

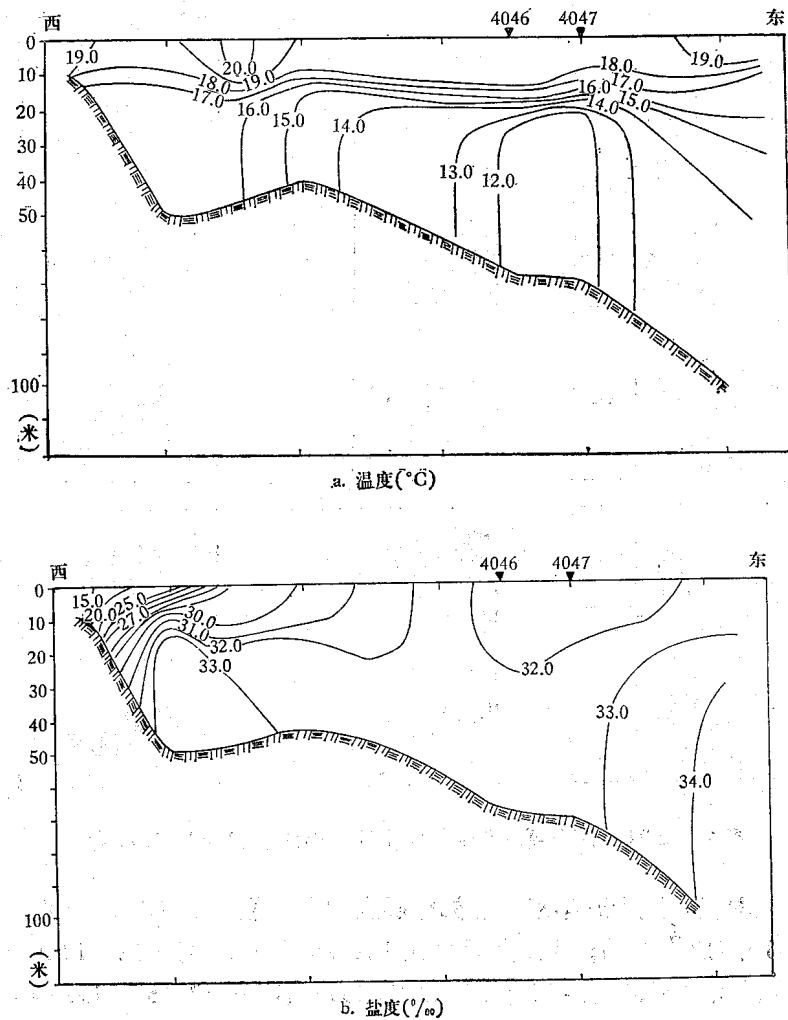


图5 1976年6月31°N断面温、盐度分布

海域,中心值超过7毫升/升左右。

综合以上分析可以得出,1976年夏季的东海北部底层冷水,大致以 32°N , 126°E 海区为中心,处于跃层所在深度(15—20米左右)以下直至海底;其温度低于 14°C ,盐度在32—34‰之间,溶解氧绝对含量在其上界附近(即跃层附近)较高,可超过7毫升/升,而其上层和下层较低,在6毫升/升以下。其分布范围东西约占一个半经度,向南可达 30°N 以南;北部边界因手头缺乏资料,未能划分。北部底层水于春末开始出现,到6月趋于稳定,8月开始变性,10月中旬仅存在一些痕迹,10月下旬或11月初即全部消失。

二、东海北部底层冷水的中心位置、分布范围及其多年变化

根据北部底层水的温、盐度特性,划出1963年夏季到1977年夏季 32°N 断面上温度低于 14°C ,盐度范围为32—34‰的海域,得图6。

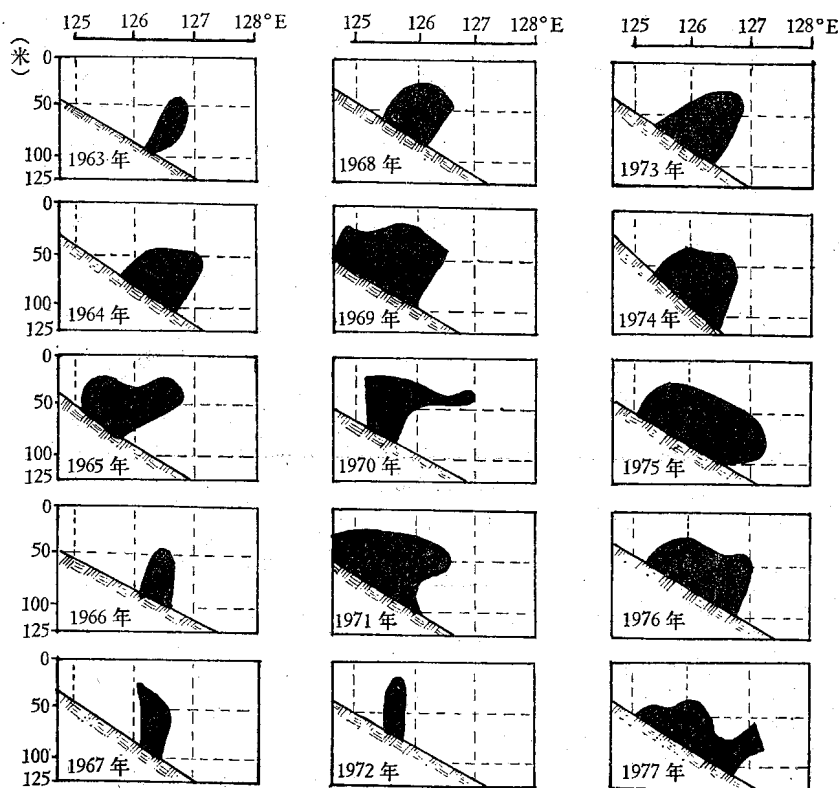


图6 32°N断面上夏季北部底层水的逐年分布(1963—1977年)

从图6可以看出,近十五年来,北部底层水的中心位置约在125°30′(1969年)—126°30′E(1963年)之间变动;西界位置约在124°25′(1971年)—126°10′E(1963年)之间变动;东界位置在126°30′(1966年、1969年、1971年)—127°15′E(1975年)之间变动。北部底层水在32°N断面上占据的面积约为1.0平方公里(1972年)—8.9平方公里(1975年)。

从多年平均状况看,北部底层水在32°N断面上的中心位置在126°02′E附近,其西界约在125°22′E,东界约在126°41′E;所占面积约为5平方公里;上界深度在28米附近。

应该指出的是,所用1963—1977年夏季资料,均系7、8月份观测所得,北部底层水已开始消衰。因此,所得范围比北部底层水形成时(6月)要小,其上界深度也较6月份深。

三、东海北部底层冷水成因的初步分析

从南黄海及东海北部多年流向的统计看出,从南黄海中部向东南直至北部底层水所在海域,冬季存在着南向的流动,而黄海沿岸流则终年向南流动,因此,较冷的黄海水必然被带到东海陆架区。同时,由于冬季海洋表层降温,以及风浪等因素所引起的强混合作用,导致东海北部陆架区的温、盐度呈垂直均匀分布。入春以后,上层水增温,而下层水尚

未增温,上、下层之间开始出现垂直温度梯度。进入夏季,上层水急剧增温,形成了强温跃层。于是,跃层将同一水体截成上、下两部分,跃层以上是受气温影响而增温的上层水;跃层以下则是尚未明显增温的固有水,即主要是冬季保留下来的水,也就是本文所指的北部底层水。

然而,整个东海海区夏季普遍存在跃层,为什么在其北部出现明显的底层冷水呢? 我们认为,这与北部底层水的地理位置有关。它的东面和东南面是强大的黑潮流系,东北面是黑潮的分支黄海暖流,它们都具有高温、高盐的特性。它的西南面是北上的台湾暖流水,呈现高温、高盐特性。它的西面是长江冲淡水 and 黄海沿岸水,因为水浅,受表层和陆地增温的影响较大,混合作用可达海底,不存在较持久的温跃层。北部底层水所在海区的水

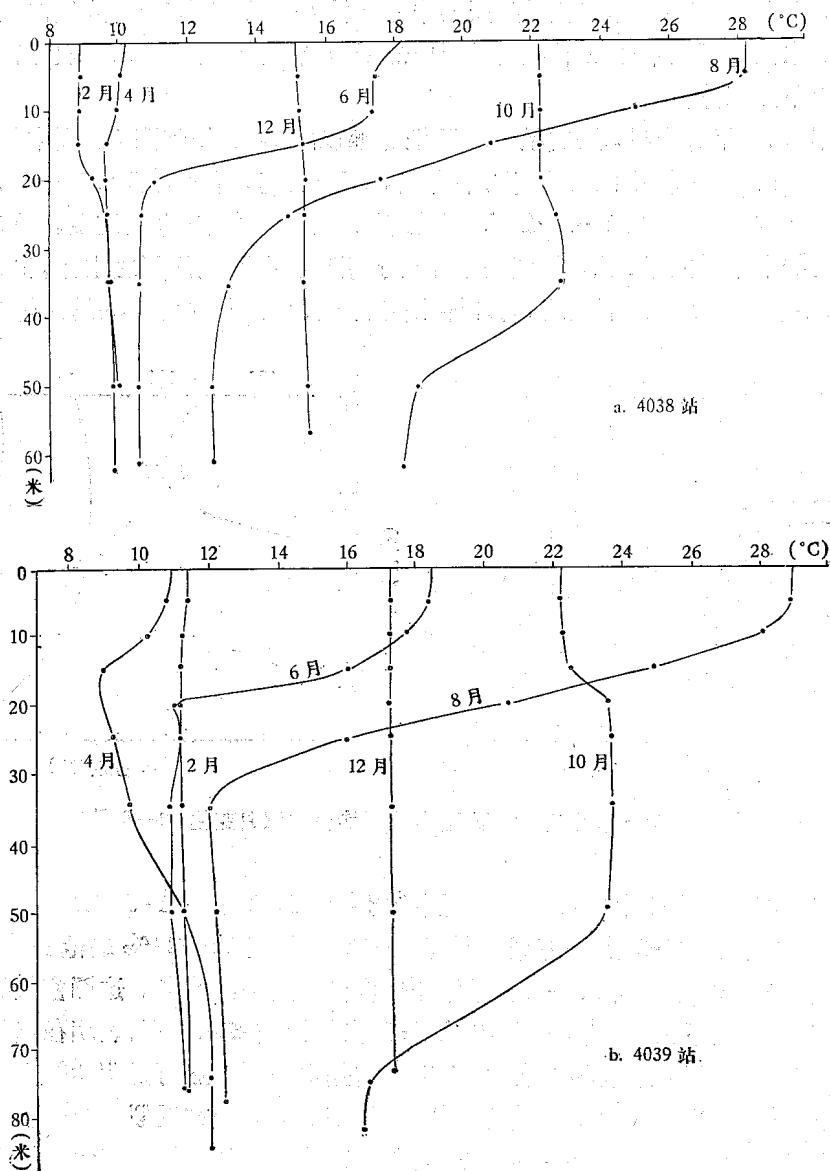


图7 北部底层水中心两测站1976年双月温度垂直分布

深约在 50—100 米范围内,其东、西界恰好位于海底地形的两个突变处。正是这样特定的地理位置,使北部底层水在夏季得以较稳定地存在下来。

为了说明北部底层水主要是由当地形成,本文应用 1976 年的资料,根据其温度、盐度和密度的特性,从以下几方面进行讨论。

1. 取 32°N 断面上北部底层水中心测站 4038 和 4039 站,作出它们的双月温度垂直分布图(如图 7)。从图 7a 可以看出,2 月到 6 月,20 米以下的温度垂直分布曲线几乎重叠在一起;8 月份偏离大一些。从图 7b 中可以看出,2 月到 8 月,在 20—30 米水深以下,温度垂直分布曲线都密集在一起,说明从冬季到夏季,北部底层水的水温基本保持不变或变化很小,它们同属于一个水体。

2. 在 32°N 和 31°N 断面东半部,跃层中心线恰好与温度为 14°C 的等温线相吻合,说明北部底层水位于跃层中心以下。夏季形成的跃层,将冬季垂直均匀的水体截成温、盐度不相同的上下两部分。

3. 应用 1976 年的资料,按文献 [3] 验证深澳茂的结果,得到图 8。图中数据是 32°N 断面上各双月自跃层到底层温、盐度的平均值。不难看出,断面东部 126° — 127°E 海区附近, 11 — 14°C 的等温线和 32 — 34‰ 的等盐线几乎呈垂直分布;也就是说,在这一海域,从 2 月到 8 月的半年时间里,温、盐度基本保持了原值。说明该海区之水体,也就是北部底层水,是从冬季到夏季延续下来的,与外界水交换很少。这与深澳茂的结果是一致的。

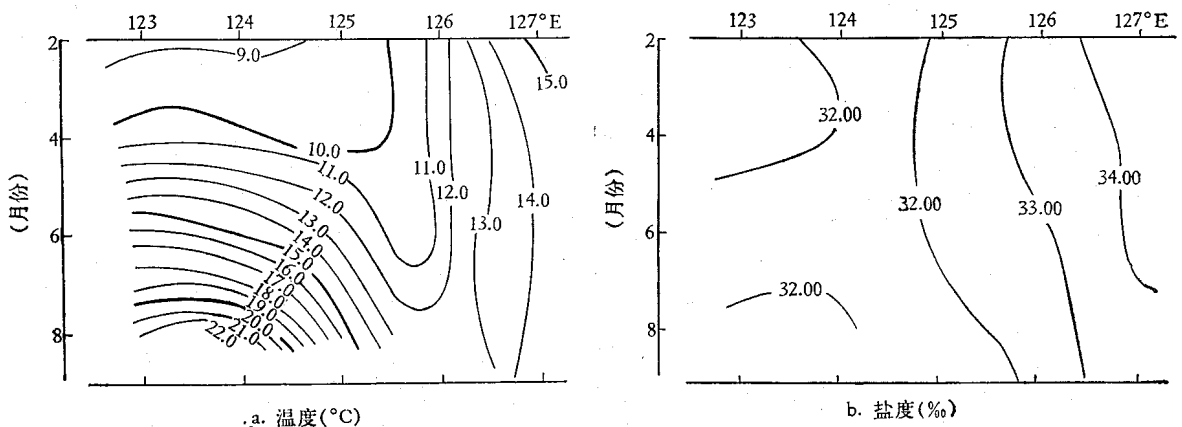


图 8 32°N 断面跃层以下温、盐度平均值的双月变化(2—8 月)

4. 选取北部底层水 4 个中心测站,分别绘出它们 2, 6 月的 T-S 图解(如图 9),可以看出:冬季(2 月)的 T-S 点均密集在温度 9 — 12°C 、盐度 32 — 34‰ 的范围内;夏季(6 月),在温度 10 — 12°C 、盐度 32 — 33‰ 范围内,也有一团密集的点。这团密集的点所对应的深度均在 20 米以下,而它们恰好与冬季 T-S 点的性质基本相同,表明在这几个中心测站上,夏季 20 米以下的水与冬季水的 T-S 性质基本相同。这可说明北部底层水主要是冬季延续下来的海水。从图 9b 还可以看出,所有 T-S 点的分布近似构成一直线,按 Sverdrup 等人的定义^[2,4],它表示一个水团。所以我们认为,夏季北部底层水与其上层水同属一个水体,只不过上层由于太阳辐射和径流的影响,温、盐度有所变化罢了。

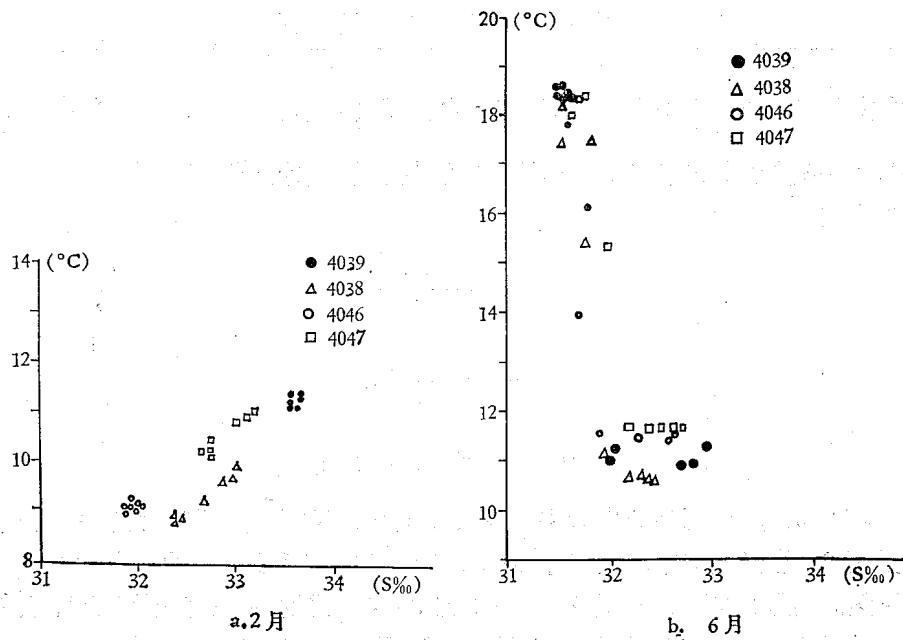


图9 北部底层水中心测站的 T-S 图

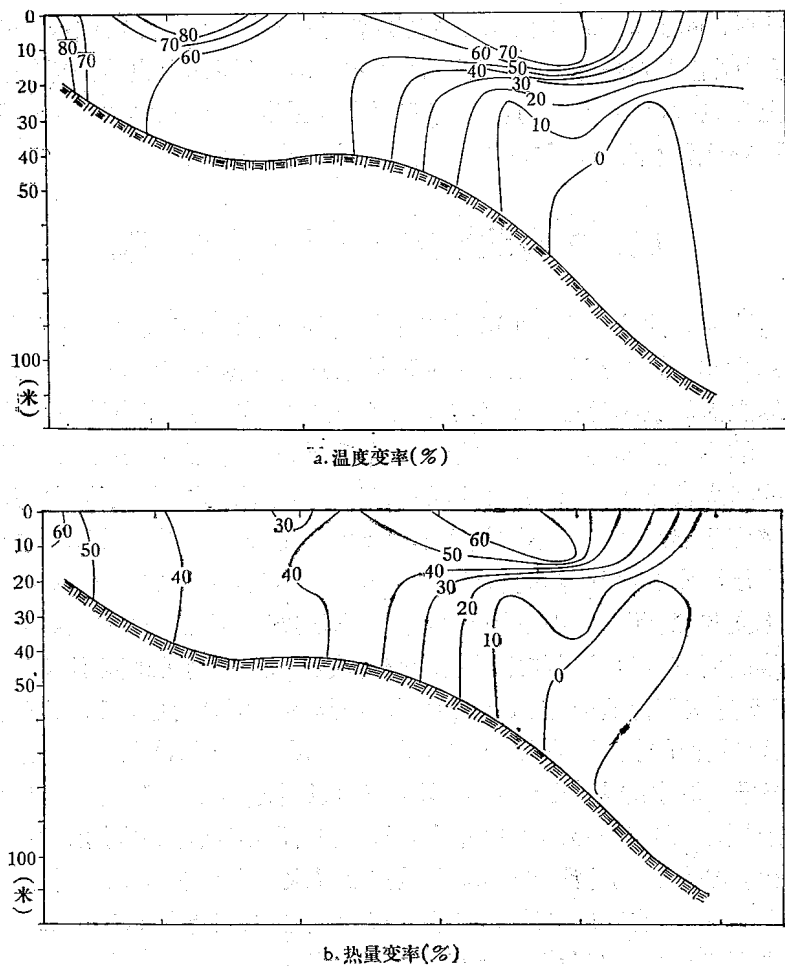


图10 32°N 断面 1976 年 4—6 月温度、热量变率图

5. 本文用 K. Suda^[6] 引入的温、盐度等水文要素变率的概念, 即 $\eta = \frac{a - a_0}{a_0}$, 其中 a_0 , a 分别表示某海洋要素在某点上的初始时刻和其后某时刻的值。

根据公式

$$\eta_T = \frac{T - T_0}{T_0}$$

$$\eta_\rho = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$$

$$\eta_h = \eta_\rho + \eta_T + \eta_\rho \eta_T$$

式中, T_0 , T , ρ_0 , ρ 分别为温度和密度在某点上初始时刻和其后某时刻的值; η_T , η_h 和 η_ρ 分别是温度、热量、密度变率。我们得到 32°N 和 31°N 断面上的温度和热量变率及其变率曲线图。结果表明, 2—4 月以及 4—6 月, 北部底层水所在海域的温度、热量变率值均较小。从图 10 可以看出, 32°N 断面 4—6 月, 温度和热量的等变率曲线的分布很一致。特别是断面东部, 北部底层水所在海域, 均为零值等温度变率曲线和零值等热量变率曲线所占据, 这表明, 随着季节的变化, 北部底层水所在海域温度变化很小, 热量的吸收也很少, 因而也可说明它主要是冬季延续下来的海水。 31°N 断面上也是同样的情形。

综合以上几点即可说明, 6 月份北部底层水的温度、盐度和密度特性与冬季时基本相同, 它主要是冬季延续下来的固有水, 与其上层水同属一个水体。

四、东海北部底层冷水的密度环流

根据动力计算方法的假设, 在运动方程中, 仅有压强梯度力项和柯氏力项取得平衡。也就是说, 等压面或者说等比容面或等密面的倾斜是由密度流引起的。海水的质量分布必然和那里的主要海流相适应。海洋中, 在冬季向春、夏季过渡的时期, 由于表层水不断吸收太阳辐射的热量而增温, 又由于风、浪等因素的混合作用, 使混合深度不断增大, 以致产生了温暖的密度较小的上层水和较冷的密度较大的下层水, 上、下层之间便产生了温度不连续面和密度不连续面。当不连续面不呈现水平而发生倾斜时, 便会出现海水的流动。不连续面的上层海水的流动方向, 在北半球一般是: 海流流向的右方是较轻的海水, 即不连续面所处深度较深, 而左方则是较重的海水, 不连续面所处深度较浅。Sverdrup 等^[2] 利用温度不连续面所在深度求得与之对应的密度流。本文则利用密度不连续面所在的深度求得 1976 年 6 月东海海流分布, 如图 11 所示。从图中可以看出, 在北部底层水占据的海域, 其密度不连续面的上层, 存在一弱的反时针流动, 这一流动是随北部底层水的出现而产生的, 它将导致海水的上升运动。从图中还可以看出, 在北部底层水的西南面, 在密度不连续面的上层, 还存在一强的顺时针的环流。从不连续面等深线的水平梯度之大, 我们大致可以推论, 这是一个颇强的暖涡, 它是伴随暖水的出现而产生的, 它将导致海水的下沉运动。暖涡的北界可达 $29^\circ 30'\text{N}$, 西界在 123°E 左右, 东界在 $125^\circ 30'\text{E}$ 左右, 东西所跨海域达二个半经度; 由于资料所限, 暖涡的南部结构尚不清楚。

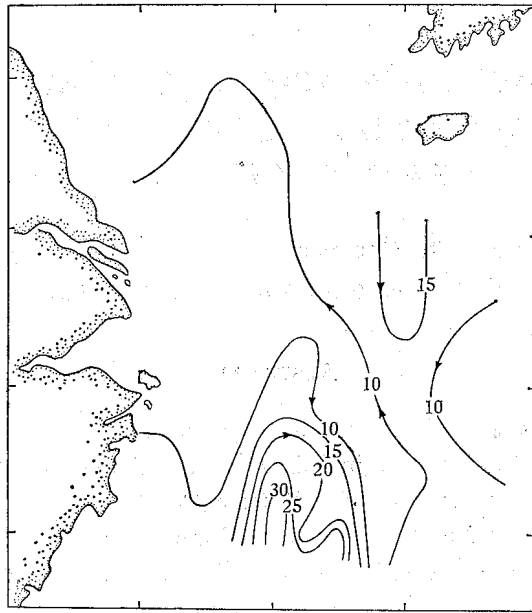


图 11 东海观测海区密度不连续面的深度(米)及其对应的海流分布

参 考 文 献

- [1] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成, 1980. 东海北部一个气旋型涡旋的初步分析. 科学通报1: 29—31。
- [2] H. U. 斯费德鲁普等, 1946. 海洋. 毛汉礼译, 1958, 科学出版社, 第二卷, 530—659页。
- [3] 深濑茂, 1975. 東シナ海陆棚上の底层水. 海洋科学7(1): 19—26。
- [4] Du Byung Lin, 1971. On the Origin of the Tsushima Current Water. *Journal of the Oceanological Society of Korea* 6(2): 85—91.
- [5] Sawarh, T., 1974. On the sea surface temperature in the East China Sea for the years 1953—1972. *The Oceanographical Magazine* 26(1): 17—26.
- [6] Suda, K., 1937—1938. On the method of the practical study of the variations of the oceanographical state of the ocean and the sea. *The Geophysical Magazine* 11: 75—90.

A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE BOTTOM COLD WATER MASS ON THE NORTHERN SHELF IN THE EAST CHINA SEA*

Lan Shufang, Gu Chuancheng and Fu Bingzhao

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In summer, there is a cold water mass located at the depth from the thermocline to the bottom southwest of the Cheju Island on the northern shelf in the East China Sea. This paper names it "the Northern Bottom Cold Water Mass in the East China Sea" (simply called the "Northern Bottom Water" in the following). Using the data of 1963—1977, the authors obtained some results, such as the distribution of the Northern Bottom Water and the processes of its occurrence, formation and disappearance, and also discussed its central position at section 32°N, its east and west boundary, and its spreading area. Besides, the cause that led to the formation of the Northern Bottom Water was also analyzed. It was primarily concluded that the Northern Bottom Water was the same water left over from winter without obvious increase of temperature. The density circulation of the Northern Bottom Water was briefly discussed, which showed that there was a weak anticlockwise circulation at its upper layer in June, 1976, but a clockwise circulation to the southwest.

*Contribution No. 659 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.