

关于黄、东海海洋锋的研究

汤毓祥 郑义芳

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

本文介绍了黄、东海海洋锋的研究情况。从中可看到黄、东海海洋锋的主要海洋学特征, 及其随地点和时间的变化。文中最后提出了在海洋锋研究中需进一步探讨的问题。

海洋锋是近年来物理海洋学中较为活跃的研究课题。这因为该研究不仅有着重要的理论意义, 而且还有着不可忽视的应用价值。

锋面区及其附近, 是不同性质的海流系统和水团的交界面。在这里, 海水的运动诸如平流、对流和湍流等都非常剧烈。海水中主要的物理性质, 如温度、盐度、密度、声速以及海水稳定度的变化皆非常迅速。因此, 逐步弄清锋面区及其邻近海域的海洋学特征和它们的时、空变化, 显然是物理海洋学的基本任务之一。

锋面所在区域, 动量、热量和水汽等的交换异常活跃, 在海气相互作用过程中, 对天气和气候的影响很大。这里不仅是海上风暴的易生区, 而且对海雾的形成亦有着重要影响。锋区是浮游植物繁生, 海洋生产力高的海域。海洋锋常与重要的渔场分布一致, 其强度与渔获量的关系十分密切。因此, 海洋锋的研究为渔情预报将提供重要的环境参数。此外, 锋区异常的水文状况, 又将直接或间接地影响到水下声学通讯。显然, 这是从事反潜和水下战术研究的海军将士们所十分关心的问题。

东中国海位于欧亚大陆的东部, 大部分在中纬度区, 基本上是一个陆架浅海。这里水文状况的季节变化很大。东面, 强而稳定的黑潮沿陆坡北上; 西面, 长江等大河每年向大海输入大量的淡水, 再加上地形的作用, 使该海域水文状况十分复杂, 不同性质的水团和流系在此对峙。因此, 东中国海也是海洋锋面易出现的区域。对于东中国海海洋锋的研究, 在一段较长的时间内, 仅是在对水团和环流的分析中提到, 未有专门的调查和论述。近年来, 随着海洋调查技术的发展, 尤其是卫星用于海洋观测, 锋面的研究吸引着愈来愈多的学者。本文主要介绍近年来, 学者们开展黄、东海锋面研究的情况。

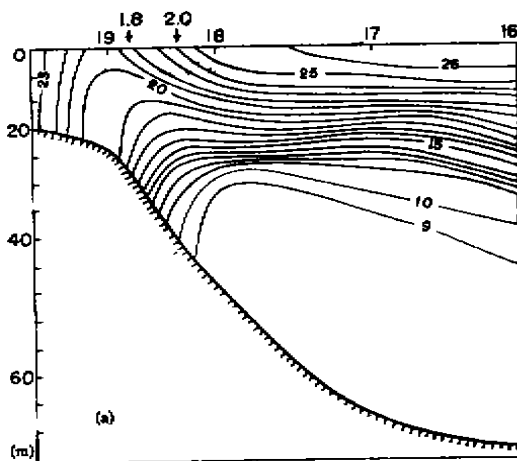
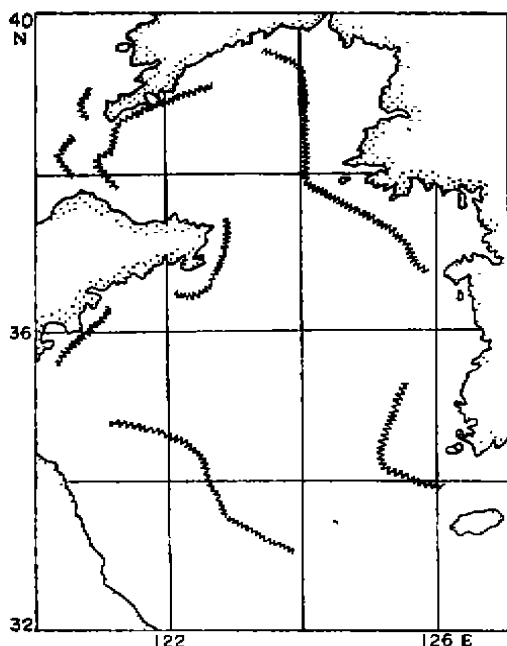
一、近岸海洋锋的研究

1. 黄海

七十年代初, Simpson和Hunter^[1]首次提出夏季爱尔兰海中的浅水海洋锋是由潮混合形成。以后他又进一步指出^[2]: 夏季英国周围陆架海区中的浅水海洋锋皆是由潮混合引起的。自那以后, 一些学者相继研究了世界其它海域潮生锋的问题^[3, 4]。

应用Simpson-Hunter提出的潮混合形成浅水陆架锋的概念, 赵保仁^[5, 6]探讨了夏季黄

海陆架潮生锋问题。他计算了黄海和东海北部用于划分层化和混合区界线的层化参量(即 $P = \log(H/U^3)$), 其中 H 为水深, U 为潮流特征流速)。同时, 利用卫星图片和历史水文资料, 三者相结合, 较为明确地给出了夏季黄海温锋的位置(图1)。由图1可知: 夏季, 在黄海的大部份近岸区普遍存在着陆架锋及潮混合引起的沿岸冷水。其中最重要和最明显的锋区是: 山东半岛东部从乳山口至成山头的外海、渤海海峡、朝鲜湾西部海域、朝鲜半岛西南岸木浦外海、苏北浅滩和长江大沙滩。此种潮生陆架锋的温度剖面独具特点。这里以苏北浅滩剖面(图2)为例加以说明。该温度断面横剖苏北浅滩外侧那条锋。由图2可见, 温度分布以19站为界, 东部为强层化区; 西部则为强的混合区, 温度分布从表至底几乎均一。19站表层温度明显低于周围海域, 表明此处存在冷水涌升。而19站和18站间, 海面温度梯度很大, 即为锋面所在。该锋面从表到底层几乎同时出现, 这亦是潮生锋的重要特点。在该研究中, 赵保仁还讨论了潮生锋面与黄海冷水团的关系。通过分析黄海底层水温平面分布和几个有代表性的断面的水温分布, 并与层化参量的临界值的分布比较后发现: 层化参量临界值 ($P = 1.8$) 的等值线走向(即锋面位置)同整个底层黄海冷水团的边界基本一致。因此可认为, 在增温季节, 底层黄海冷水团的边界, 即锋面是由潮混合所控制。



◀ 图1 黄海陆架锋的分布图(摘自文献6)(左)

▲ 图2 横剖陆架锋的温度剖面(摘自文献6)(右)

对于冬季黄海锋面, 郑义芳等^[7]进行了研究。他们利用1977~1981年逐年2月的海洋观测资料, 采用下列标准: $\frac{\Delta T}{\Delta x} \geq 0.05^\circ\text{C}/\text{n mile}$; $\frac{\Delta S}{\Delta x} \geq 0.2 \times 10^{-3}/\text{n mile}$, 计算了温、盐最大水平梯度。结合同期的诺阿卫星照片, 分析了秋季黄海南部海洋锋的分布。结果表明, 秋季该海域最明显的海洋锋是黄海暖流锋(图3)。该锋的温度水平梯度在 $0.05 \sim 0.12^\circ\text{C}/\text{n mile}$ 间变化。它主要是由温度值较高的对马暖流水与由黄海南部进入东海北部的低温水对向运动所形成。

2. 东海



图3 1980年2月黄海南部温盐锋分布图(摘自文献7)

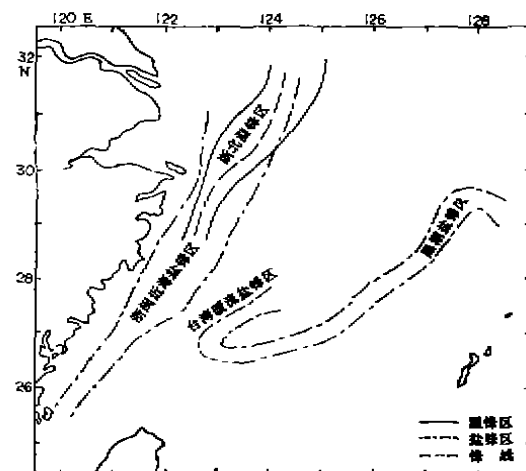


图4a 初夏东海表层温、盐锋区分布(摘自文献8)

与黄海相比, 东海的水文状况更为复杂。这里的沿岸区, 不仅有大量的径流注入, 而且在较广阔的浙江沿岸海区存在明显的上升流。东侧还有强大的黑潮流经。这些显著的水文特征必将对东海锋面的分布及其特征施于重大的作用和影响。

对于东海沿岸锋, 郑义芳等^[7, 8]曾先后利用1977~1981年逐年2月, 以及1984年6月~7月和1984年12月~1985年1月, 我国在东海的调查资料, 采用与前相同的划分标准, 进行了研究。结果表明, 初夏, 东海表层的锋区主要是盐锋。该盐锋区大致沿50m等深线延伸(图4a)。其厚度一般为0~10m。宽度在长江口东侧达80~90n mile, 此处强度也大, 为 $1.7 \times 10^{-3}/\text{n mile}$ 左右。南部锋区较窄, 强度亦小。显然, 这是强大的长江径流水所造成的。初夏东海沿岸表层, 在长江口和钱塘江口东侧, 近海低温区与台湾暖流表层混合高温水间形成一锋区, 称为浙北近海温锋区(图4a)。该锋区最大强度为 $0.09 \sim 0.14^\circ\text{C}/\text{n mile}$ 。厚度多为0~10m左右。初夏, 东海海水分层现象显著。在中层从北向南形成明显的浙、闽近海温锋(图4b)。其宽度一般为20~30n mile。最大强度除中部渔山列岛附近可达 $0.38^\circ\text{C}/\text{n mile}$ 左右外, 其余各区一般为 $0.05 \sim 0.1^\circ\text{C}/\text{n mile}$ 。厚度一般为10~50m。冬季, 沿50m等深线的西侧, 不仅存在温锋, 而且伴有盐锋(图5)。其宽度约半个经度。温度最大水平梯度值约在 $0.06 \sim 0.34^\circ\text{C}/\text{n mile}$, 盐度梯度值为 $0.66 \sim 4.76 \times 10^{-3}/\text{n mile}$ 。在垂直方向上, 锋面几乎是从表至底, 近似于垂直状态。同时, 该研究认为, 沿岸锋的位置明显受长江径流量的影响。在径流量大的年份, 锋面东偏。如1977至1981年期间, 1977和1981年长江径流量大于 $9900\text{m}^3/\text{s}$, 因而锋面比其它3年东偏25n mile左右。

潘玉球等利用1980和1981年夏季浙江沿岸上升流专题调查和有关历史资料, 对东海近岸区的锋面做了进一步研究^[9, 10]。他们认为: 夏季, 浙江近海通常存在着两种性质不同的锋, 即沿岸锋和上升流锋。沿岸锋主要是盐锋。该结论与郑玉芳等人的研究^[8]基本一致。上升流锋位于沿岸锋的外下侧, 主要在台湾暖流上层水和深层水之界面处形成, 以温度锋的形式出现。锋区的主要特征是: 1) 上升流锋有明显的双锋层结构(图6a), 上锋层在各断面上抬升高度大致相似, 但下锋层由南向北逐渐增高, 至 29°N 附近与上锋层合而为一; 2) 上升流

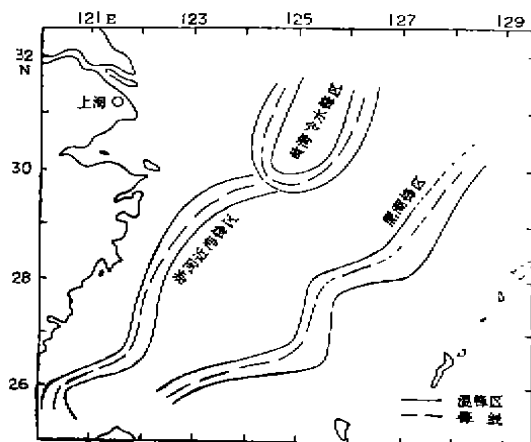


图4b 初夏东海中层温、盐锋区分布(摘自文献8)

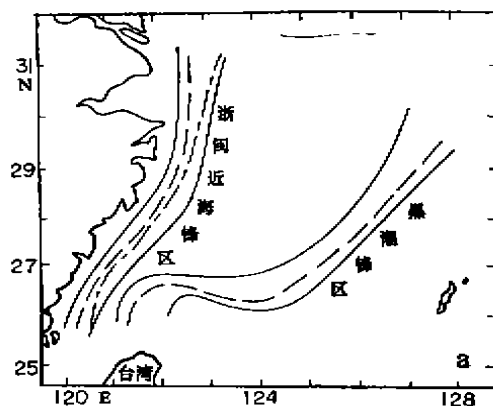
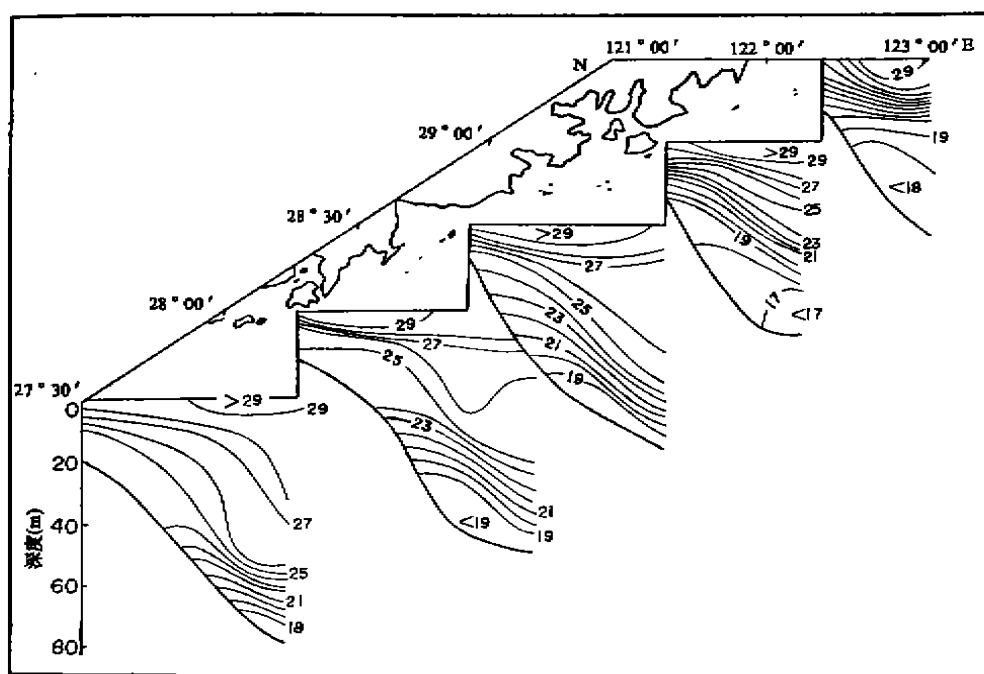


图5 初冬东海锋区分布图(摘自文献8)

图6a 1980年7月22~25日, 27°30'~29°30'N的温度($T/^{\circ}\text{C}$)断面分布(摘自文献10)

锋层横向分布的总特点是, 近岸抬升最高, 且随离岸距离的增加下倾, 厚度渐增, 一直到70m深度为止(图6a), 一般不与海面相交; 3) 上升流锋的水平位置在20m水层上, 基本呈条带形沿近岸斜坡展开(图6b), 但其分布各年有所差异, 受风的影响较大; 4) 锋面附近的海流与地转流向极为一致, 流速平均值为17cm/s左右。

上升流锋的存在显然与上升流的形成关系密切。关于浙江近海上升流形成的动力原因, 目前仍处于讨论的阶段。但该研究认为, 除了风和黑潮北上余脉沿东海陆架海底爬升的因素外, 台湾暖流和浙中近海的海底等深线发散也是一个重要因子^[10]。

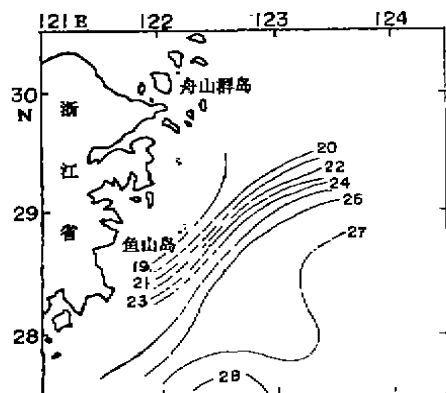


图6b 1980年7月22~25日20m层温度
(T℃)分布(摘自文献[10])

二、东海黑潮锋

东海黑潮锋的研究始于1913年。儿川久俊根据“云鹰”号所测得的12个测点的各层海洋观测资料,首次证实了在 $30^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$, $126^{\circ}\sim 127^{\circ}\text{E}$ 附近海域存在黑潮分支——对马暖流与中国大陆沿岸水团相接而形成的“潮境”(锋)。宇田根据1931~1940年间长崎测候所的定期观测资料,研究了黑潮暖水与冷水团之间的“潮境”位置及其季节变化^[17]。以后,他又基于近底层的盐度分布,给出了黄、东海海洋锋的分布位置。苏联学者 A.M.Xa Pecchko

使用1963~1964年的海洋观测资料,给出了东海黑潮锋的海表位置^[20]。

在我国,刘宝银^[11]利用1977~1979年逐年2月诺阿卫星红外照片,经过一系列预处理和分析后指出,东海黑潮表层温锋主要位于大陆架和陆坡过渡带间,约在 27°N 、 125°E 和 $30^{\circ}30'\text{N}$, 128°E 之间。温锋两侧的温度梯度为 $0.15\sim 0.25^{\circ}\text{C}/\text{n mile}$ 。同时,他还展示了温锋内出现的涡旋结构。以后,林传兰^[12, 13]选用1955~1983年日本气象厅提供的三断面资料,采用如下的划分标准

$$\begin{aligned} \frac{\Delta T}{\Delta x} &> 0.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{n mile}^{-1}, \quad \frac{\Delta \sigma_t}{\Delta x} > 0.03 \sigma_t \cdot \text{n mile}^{-1} \\ \frac{\Delta S}{\Delta x} &> 0.053 \times 10^{-2} \cdot \text{n mile}^{-1}, \quad \frac{\Delta v}{\Delta x} > 0.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{n mile}^{-1} \end{aligned}$$

其中 T , S , σ_t 和 v 分别代表温度、盐度、密度和声速。较为具体地分析了东海黑潮锋的海洋学特征,并讨论了它的季节和年际变化。该研究得到黑潮锋的平均位置,与刘宝银从卫星照片获取的结果基本相似(图7)。其它主要结论还有:1)黑潮锋终年存在,但锋面位置有明显季节变化,夏季锋面偏于平均位置之右,冬季则偏向陆架(图7);2)东海黑潮锋以急剧的水平温度梯度所标志,并伴有较大的水平密度和声速梯度,多年平均温度水平梯度为 $0.17^{\circ}\text{C}/\text{n mile}$,水平声速梯度为 $0.49/\text{s} \cdot \text{n mile}$,可认为,这是一种中等强度的锋;3)东海黑潮锋有明显的年际变化,约每隔2~6年出现一次大的增强,此时锋面位置亦出现较大移动,但这种变化主要发生在0~125m的近表层。

于洪华利用1984年以来东海黑潮调查资料和有关历史资料,也分析了黑潮锋的结构特征和时、空变化^[14]。较为有趣的结论是:1)东海黑潮锋系季节变化因地而异,台湾东北海域变化大,陆架中部变化小,锋面位置相对稳定;2)东海黑潮锋同时具有强西边界流边缘锋和陆坡锋的特征,其强度是,春夏强,秋冬弱;3)锋区中上升流流速约为 $10^{-3}\sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 。此外,该研究还就黑潮锋与黑潮地转流量和长江径流量及其左侧的陆架变性水之间的相互制约关系、黑潮锋与同步采集的海洋生物量之间的紧密关系作了分析。

近年来,随着中日黑潮联合调查研究的开展,东海黑潮锋的研究被列为该项工作的主要

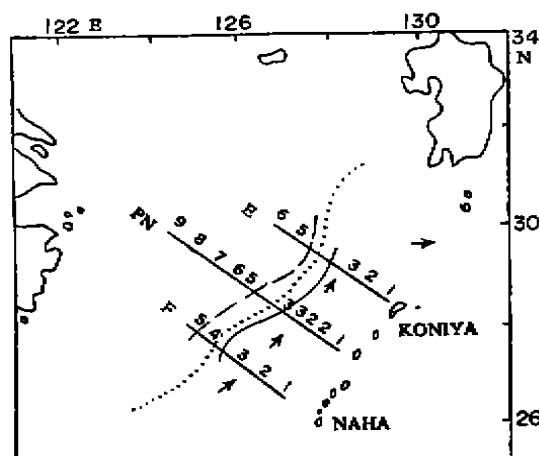
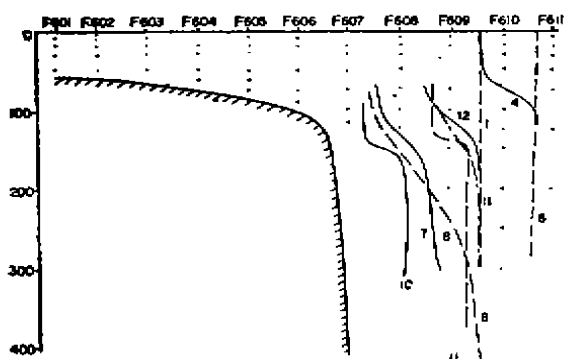


图7 东海黑潮及其锋的分布(摘自文献12)

--- 冬季锋 — 夏季锋
 200m等深线 → 黑潮

出现温锋。温锋只出现在温跃层的底界深度上(图4b)。该温锋最大强度为 $0.07 \sim 0.23^\circ\text{C}/\text{n mile}$, 宽度为 $20 \sim 40 \text{ n mile}$, 在冬、春季, 高温、高盐的黑潮水进入东海后, 其西侧与东海表层低温水相汇, 形成显著的温锋(图5)。从图5中可看到, 该锋面在东海有着三个明显的转向点。尤其是在台湾北部海域, 弯曲更为显著。

上述有关黑潮锋的研究, 仅涉及到黑潮锋的季节和年际变化。但若干研究表明^[15], 黑潮流轴具有 $10 \sim 20$ 天的周期变动。从1987年起, 国家海洋局第一海洋研究所黑潮课题组, 曾先后按10、20和35天左右的时间, 对东海北部 F_{08} 断面进行了多次重复调查。项目涉及水文、化学和生物等。综合分析表明^[15], 黑潮锋的确存在 $10 \sim 20$ 天的短周期变化。该种变化还有明显的季节特征, 夏秋季黑潮锋靠近陆架斜坡区; 冬春季远离斜坡区(图8)。锋面移动幅度, 秋季为 30 n mile , 其它季节为 20 n mile 。此外, 从图8中还可看到, 锋面附近, 明显存在上升和下降流。至于锋面短周期变动的原因, 除了黑潮流轴短周期摆动的作用外, 风的

图8 F_{08} 断面锋面季节变化示意图

内容之一。郑义芳等首先根据1977~1981年逐年2月以及1984年6~8月和1984年12月~1985年1月, 我国的海洋调查资料, 描述了黑潮锋的分布特征。他们采用下列温、盐度的水平梯度值, 作为锋区的最低标准^[8]

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} \geq 0.005^\circ\text{C}/\text{n mile};$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta x} \geq 0.2 \times 10^{-4}/\text{n mile}$$

以此确定了锋的位置及其宽度、强度和厚度。与以往类似研究相比, 所得锋面位置基本一致(比较图4、5和图7)。但由于该研究涉及的断面多、范围广, 因此更具有代表性。另外, 该研究认为, 初夏黑潮表层主要是盐锋(图4a), 而表层的水平温度分布较均匀, 不

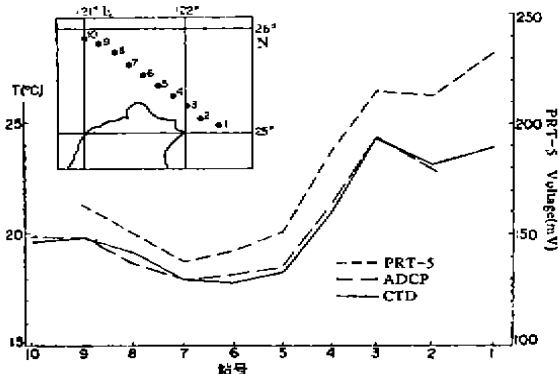


图9 各种方式测量所得海表温度的空间变于及观测站位

(CTD: 用NBZL CTD/IR在表层下2 m深处测量所得水温; PRT-5: 红外辐射仪测量的海面热辐射; ADCP: 表面下3.5 m深处水温每2 min的平均值)(摘自文献18)

影响可能也是引起锋面本身摆动的重要因素之一。

这里还要提及台湾学者所做的工作。刘倬腾等曾对台湾北部海洋锋进行过研究^[18]。该区域正是黑潮锋面变化剧烈的海区。他们根据诺阿卫星提供的锋面信息, 于1987年3月29~31日在台湾北面选取一断面(图9), 进行了一次多项目的海上观测。断面站距16km。观测结果证实了在台湾北面(断面2~4站间)存在明显的温锋(图9)。同时, 由水团特性得知, 该锋面是由100m深处的黑潮水受地形影响上升至表层, 与东海海水对峙而形成。

三、结 语

以上就黄、东海海洋锋的研究情况做了概述。从中可看到, 黄、东海海洋锋的主要海洋学特征及其随时间和地点的变化。但是, 有些问题尚需我们做进一步的探讨。

1. 关于锋面的划分标准 从上面的介绍可知, 学者们采用的划分标准是不一致的。因此, 同样一个海区和同一季节, 由于使用的标准不同, 所得结果可能出现差异。如夏季黑潮区表层, 有的研究认为存在温锋^[12], 有的研究则认为初夏表层只有盐锋^[9]。产生这种差异, 除了使用的资料来源不同外, 可能与划分标准不一也有一定关系。

2. 锋面形成机制的探讨 对于黄、东海各种类型锋面形成的机制已做了探讨。应看到, 在水文状况较为简单的海域, 该问题较易解决。但是, 像东海这种沿岸水文状况十分复杂的海域, 形成锋面的机理不是单一因素所能决定的。如初夏浙北温锋和中层温锋的形成, 除了前面各研究提到的原因外, 笔者认为, 它还可能与该海域潮混合的作用有一定关系^[17]。我们曾计算过该海域的层化参量, 发现潮混合作用明显, 尤其是在长江口东部和东海近岸的中、下层对温度分布影响更大些。

3. 锋面观测技术有待提高 目前对锋面研究的资料主要来自两方面: 一是常规的海洋调查, 二是卫星提供的信息。但后者仅能给出锋面在表层的位置和概略强度, 而且受天气影响很大。如夏季天空多云, 就很难获取理想的卫片。所以锋面的深入研究主要还依赖于海洋调查。由于锋区各项水文要素变化剧烈, 梯度很大, 有时采用常规布设测站的方法就难于捕捉到实际锋区的位置。为此, 我所黑潮课题组曾试验采用表层温度航行测量自记仪观测东海海洋温锋。每2min(约0.5n mile)记录一次温度值, 结果表示在图10上^[16]。与常规调查

(图5)相比, 锋区分布趋势基本相似, 但不论是宽度或强度相差皆较大(比较图10与图5)。研究表明, 航测自记的方法更为有效。

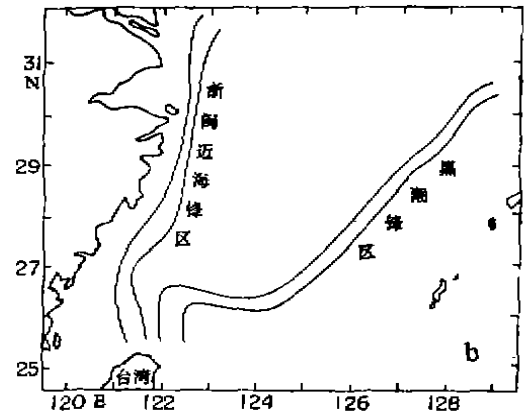


图10 初冬东海锋区分布(摘自文献[16])

参 考 文 献

- [1] Simpson, J.H. and Hunter, J.R., 1974, Fronts in the Irish Sea, *Nature*, 250, 404~416.
- [2] Simpson, J.H., Allen C.M. and Morris, C.G., 1978, Fronts on the continental shelf, *J. Geophys. Res.*, 83, C9, 4607~4611.
- [3] Garrett, C. J. R., Keeley, J.R., and Greenbery, D. A., 1978, Tidal mixing versus thermal stratification in Bay of Fundy and Gulf in Maine, *Atmosphere-Ocean*, 16, 4, 403~423.
- [4] Griffiths, D.K., Pingree, R.D., and Sinclair, M., 1981, Summer tidal fronts in the near Arctic regions of Foxe Basin and Hudson Bay, *Deep-Sea Res.*, 28, 8, 865~873.
- [5] 赵保仁, 1985, 黄海冷水团锋面与潮混合, *海洋与湖沼*, 10, 6, 451~459.
- [6] 赵保仁, 1987, 黄海新生陆架锋的分布, *黄渤海海洋*, 5, 2, 16~25.
- [7] 郑义芳、丁良模、谭锋, 1985, 黄海南部及东海海洋锋的特征, *黄渤海海洋*, 3, 1, 9~16.
- [8] 郑义芳、谭锋, 1989, 东海海洋锋和跃层现象, *黑潮调查研究论文集*, 海洋出版社, 190~203.
- [9] 潘玉球等, 1989, 浙江沿岸上升流锋区特征及其成因的初步探讨, *海洋湖沼通报*, 3, 1~7.
- [10] 潘玉球等, 1985, 浙江沿岸上升流区的锋面结构、变化及其原因, *海洋学报*, 7, 4, 401~411.
- [11] 刘宝银, 1982, 利用诺阿卫星红外信已对东海黑潮表层温度场的解译, *山东海洋学院学报*, 12, 3, 11~19.
- [12] 林传兰, 1986, 东海黑潮锋的海洋学特征及其与渔业的关系, *东海海洋*, 4, 2, 8~16.
- [13] 林传兰, 1985, 厄尔尼诺、南方涛动现象和东海黑潮锋的研究, *海洋预报服务*, 2, 36~42.
- [14] 于洪华, 东海黑潮锋的特征、变化及其与生物量的关系, *黑潮调查研究论文集* (待刊稿)。
- [15] 郑义芳、汤毓祥、黄卫民, 东东北部黑潮锋的短周期变动对周围海况的影响, *黑潮调查研究论文集* (待刊稿)。
- [16] 郑义芳、崔杰、郭炳火, 1987, 利用表层温度航行测量自记仪观测东海海洋锋, *黑潮调查研究论文集*, 330~334.
- [17] 汤毓祥, 潮混合对形成初夏东海近岸海洋锋的作用, *黑潮调查研究论文集* (待刊)。
- [18] Liu Choteng and Pai Suchang, 1987, As Kuroshio turns: (I) The oceanic front north of Taiwan, *Acta Oceanographica Taiwanica*, 18, 49~61.
- [19] Uda, M., 1947, *Oceanography Met.*, 1, 5.
- [20] Харченко, А.М., 1968, *Океанология*, VII.

RESEARCH ON FRONTS IN EAST CHINA SEA

Tang Yuxiang and Zheng Yifang

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

ABSTRACT

The progress in the research on the fronts in the East China Sea is reviewed. The spatial and temporal changes of major oceanographic features of the fronts are described. The questions that need further effort at research are put forward.