



我们对黑潮研究的若干初步结果

管 秉 贤

(中国科学院海洋研究所)

我们所研究的黑潮,是指 130°E 以西所谓“源地”海域的黑潮,即台湾省以东和东海海域中的黑潮。这是黑潮作为西部边界强流的起始和最重要的一段,也是最靠近我国而对我们关系可能最为密切的一段。

从六十年代初开始,我们主要引用了日本气象厅、水产厅和水路部等自五十年代以来所发表的有关这一海区的海流和水文资料¹⁾,以及三十年代以前这一海区,特别是台湾省以东海域的水文历史资料,对源地区域的黑潮及其变异问题开展了下列几方面的研究。

1. 黑潮的途径 这是指黑潮流轴的位置、流轴处的流向及流幅(系流速 ≥ 40 厘米/秒的较强部分)等三者而言。通过温盐度分布和GEK(电磁海流计)观测结果的对比和分析,早在六十年代初我们就指出,200米层上温盐度水平梯度最大处,表层流速也最大,亦即黑潮流轴所在的地方²⁾。

就与深度分布的关系而言,东海黑潮流轴的位置又与200、500、1,000米等深线颇为接近,这里是东海深度倾斜最陡处。所以,黑潮主干自台湾省东岸北上进入东海后,大致是沿着陆架和陆坡的毗连区域流动的。

我们根据上述关系及东海个别断面上GEK的长期资料,研究了东海黑潮流轴位置的变动情况。我们看到,除了台湾东北方秋、冬季黑潮可能出现小弯曲外,近二十年(1956—1975)来黑潮流轴位置变动不大。如以G断面(位于冲永良部岛的NW)为例,在大多数情况下,流轴位置的变幅仅20海里左右。同时,这里黑潮流轴处的流向亦较稳定,大多数的流向指向 40° — 60° 之间;流幅变动亦较小,出现最频的流幅为40—50海里。所以,这里的黑潮充分体现出途径和流向颇为稳定,流幅亦很狭窄这一西部边界流的特征³⁾。

2. 黑潮的流速结构和流量及其季节变化
我们根据前台湾总督府在1914—1937年期间在苏澳一与那国岛断面上调查所得的逐月温盐度的多年平均值,按动力方法计算了通过该断面的黑潮的流速和流量²⁾,并分析了它们的变动原因³⁾。

本文中的“流速结构”,系指流速的断面分布。计算结果表明,就多年平均情况而论,黑潮在这断面上主要呈现为单核(心)和单束(带)的狭窄强流,只有6月及9月才出现双核双带状。流幅核心部分多数时间位于断面左侧(指顺流方向,下同),相对来说,冬季稍偏西,夏季则偏东,流核的平均宽度约30余海里。流核的最大流速可达3节左右。黑潮的逆流一般位于断面右侧,流速较弱。

在这断面上,黑潮北向净流量的逐月变幅很大,最大值、次大值分别出现在11月及5月,最小值、次小值分别出现在6月及10月。最大值约为最小值的3.3倍,且有逐月一消一长的变化。就四季变化而论,春、秋为两峰,冬、夏为两谷,其中春比秋强,冬比夏强,夏季为一年中黑潮流量最小的季节。

黑潮在通过这一断面时,流速流量的季节变化均具有明显的半年周期,即“双峰”现象。这与日本学者在五十年代初期对日本以南海区黑潮流量所作的计算结果相一致;亦与

1)1965年以后大部分为CSK(黑潮及其邻近水域的合作调查)资料。

2)计算零面为400米,这是当时观测的最深层次。



Iselin(1940)对湾流流量季节变化的分析结果相同。湾流流量的季节变化亦呈双峰状。

为了阐明黑潮流量具有这种季节变化特征的原因,我们将逐月流量按四季组合与北太平洋海面风应力涡度的相应值作了相关分析。风应力涡度是根据 S. Hellerman (1967, 1968) 的北太平洋海面风应力资料计算而得的。结果表明,该断面黑潮流量的季节变化与夏威夷群岛附近这一局部地区海面风应力涡度的季节变化具有显著的相关关系,而与风应力涡度在相应纬度上沿整个纬圈的平均值关系较差。后者人们常用它来计算黑潮的平均流量。虽然此例的样品个数太少,但这一关系在东海 G 断面上黑潮表层流速季节变化的分析中又得到了进一步的证实。

3. 黑潮表层流速的分布和变化 G 断面位于黑潮流经东海区域的中部。日本气象厅自五十年代初就开始沿着这断面进行水文和表层流(应用 GEK)的系统观测,每年 2—4 次不等。这是迄今为止黑潮源区域内(包括东海)水文和表层流同步观测最系统、时间序列最长的一份珍贵资料。我们曾先后两次分析了六年间(1956—1961)和二十年(1956—1975)这一断面上黑潮表层流速的分布和变动情况,并引用 1950—1972 年间的北太平洋风场资料(K. Wyrki & G. Meyers, 1975),探索了黑潮流轴处表层流速变动的原^[1,4,5]。

黑潮表层流速最大处,亦即流轴,正好位于深度激增、地形最陡处附近。黑潮右侧的逆流,则位于海沟右侧、深度递减处。黑潮流轴与 G 断面近乎正交,与断面正交的流速分量的分布廓线几乎呈对称形,流速自流轴向两侧近似地作线性递减,其切变梯度约为 1.5×10^{-5} 秒⁻¹。二十年这种流速分量平均值的分布廓线,其最大值(NE 向)约为 77 厘米/秒,最小值(SW 向)约为 20 厘米/秒。所以黑潮逆流流速远较黑潮流轴处的流速为弱。

在这二十年,如就黑潮流轴的位置、流向和流幅变化而论,东海黑潮的变动并不大,但流速的变化却是颇大的。

在东海黑潮流轴处,表层最大流速可达 3 节,变幅超过 2 节(0.9—3.0 节),平均流速为 1.9 节,故变幅等于或略大于这一时期的平均流速。

最近,我们着重分析了这一断面上黑潮流轴处表层流速的多年变化和季节变化,得到了一些较有意义的结果^[4,5]。

(1) 多年变化:在此期间, G 断面上表层最大流速的按年平均值的时间序列曲线与日本以南海域中黑潮平均流速的相应曲线,具有相似的变动趋势。但东海黑潮流动的位相却比日本以南的黑潮约早两年。如这种关系将来也存在的话,则东海黑潮表层流速的变动也许可以作为大约两年以后日本以南海域中黑潮流动的一个征兆。这对研究那里黑潮的大弯曲现象是有一定意义的,但出现为期约两年的位相差的原因尚待探明。

(2) 季节变化:根据同样资料,按月平均得出的黑潮表层最大流速,其最大值和最小值分别出现在 3 月(春季)和 11 月(秋季)。这种流速值的按季平均值也具有类似的变动趋势,即春强而秋弱。这种表层流速季节变化的趋势与上述苏澳一与那国岛断面上黑潮流量的季节变化趋势(即春秋都强)有所不同。原因亦待探明。初步认为,除了流速和流量虽均能表征海流强弱但又不等同这一原因之外,或许还与观测年代不同有关。

为了探索黑潮表层流速季节变化具有上述特征的原因,将上述按月平均的黑潮流速值,再按顺序求每两个月的平均流速,并与相应时期北太平洋夏威夷群岛附近海面风应力涡度每两个月的平均值作了比较。我们发现,当风应力涡度值的位相较黑潮表层流速值向前移动(即提早)两个月时,两者的相关关系较为显著。当然,这仅是一个气候式的平均图景。为了进一步验证这种关系,再取观测时间为 1—2 月(如此时期没有观测,则取 3—4 月)的各航次所得的流速值与前两个月夏威夷群岛附近海面的风应力涡度值作了比较。在 1957—1973 年间,这种例证共有 17 对。比较结果表

明, 这两组数值的相关关系亦较显著。

上述两种关系的相关系数值均达到 5% 的显著水平。因此, 可以认为 G 断面上黑潮流轴处的表层流速和北太平洋副热带中心区域附近的海面风应力涡度之间, 不仅在多年平均情况中, 也在冬季和早春的各次事例中存在着某种相关关系。至于在其他月份 (此时黑潮流速和风应力涡度值均较小), 两者在各次事例中的相关关系没有冬、春季那样显著, 这方面的原因正在探索中。

我们还研究了黑潮右侧逆流流速的季节变化。如就每两个月的平均流速来说, 黑潮流速最大流速的季节变化和黑潮流轴处流速的季节变化趋向一致, 亦为春季和初夏较强, 秋、冬季, 特别是秋季最弱。

综上所述, 可以初步肯定地说, G 断面上黑潮表层流速的季节变化 (特别是冬季和早春的), 主要是由于北太平洋副热带区域海面上大约前两个月的风应力涡度场的变化所引起的。这一结果表明, 东北信风边界处 (严格地说是东北信风与西风之间的边界) 的风应力场及其纬向移动几乎控制了东海黑潮的变异。这项结果用长时间序列的流速和风速实测资料支持了著名的 Sverdrup 关系 (1947), 并为海-气远距离相关 (Tele-connection) 提供了一个较好的例证。大气与海洋之间这种变动的传递机制很值得我们研究, 这对进一步研究东海黑潮的变异规律及其趋势预报是颇为重要的。

4. 地形对黑潮的影响 中国近海的海流深受地形的影响, 这在流经台湾东岸和东海的黑潮上, 表现更为明显。

(1) 如上所述, 东海黑潮的流向与等深线趋向一致, 同时, 它的流轴正位于等深线最密集之处。其中一个最突出的实例是: 东海 G 断面上 20 年 (1956—1975) 资料的分析表明, 无论是各航次观测值或多年多次观测平均值, 黑潮表层流速与海底地形有着十分密切的关系, 两者的分布均可用同样型式的曲线来模拟, 仅位相差 $\pi/2$ 而已。并且流速峰值正位于地形廓线的拐点附近。这一现象的动力机制

也是值得研究的^[1,5]。

(2) 除了黑潮的流速分布与地形有着上述关系之外, 黑潮流轴位置稳定, 流向和流幅的变动不大, 这些特点也与东海的陆架和陆坡的地形效应紧密相关。东海中的黑潮, 其流动可说是受到海底地形的强烈控制: 顺流左侧毗连水深在 100—200 米之间的陆架外缘部分; 中间为陆坡和深沟; 右侧下有陆坡的隆起, 稍远处又有琉球群岛作为屏障。因而, 在这方面东海中的黑潮与日本以南的黑潮颇为不同。后者, 在深广的太平洋上经常观测到大而比较稳定的弯曲; 而前者, 如前面所提到的, 除了在台湾东北方海域中秋、冬季可能出现小的弯曲以外, 在这二十年间东海还没有观测到有显著的弯曲现象。这主要也与东海中的黑潮受到地形的控制有关^[4,5]。

(3) 台湾岛及其附近的海底地形对黑潮途径具有较为显著的影响。这方面我们应用流体动力学上的实验模式和气象学、海洋学上有关这方面的已有成果也分别作了研究^[2]。

我们取粘性不可压缩流体对圆柱的绕流作为一个近似模式, 研究了台湾岛对夏季黑潮流动的影响。夏季自北赤道流延伸而来的黑潮在绕流台湾时, 先在台湾南端发生分支现象, 主干沿台湾东岸北上, 支流沿台湾西岸进入台湾海峡。其次, 由于黑潮流所产生屏障作用, 在基隆以北 (彭佳屿附近) 出现一个小涡旋, 围绕这一低温高盐水 (高密水), 将出现气旋式流动, 同时还可能出现冷水上升现象。最后, 在小涡旋的东北方, 黑潮主干和来自台湾海峡的分支, 可能趋向会合在一起。我们认为, 台湾岛对黑潮的影响与青藏高原对东亚环流的影响 (顾震潮, 1951) 颇有相似之处。同时还认为, 随着黑潮上游在迫近台湾岛时流速流向和位置的不同, 黑潮下游的流型 (包括涡旋的位置及尺度, 主干和分支的会合情况等) 也将有所变化。后者对东海南部的水文分布显然是有较大影响的。对于这个问题, 如能开展模拟实验, 将是有益的。

台湾东北角, 在三貂角—苏澳以东, 地形激

变,等深线变成与海岸近乎正交而呈 WNW—ESE 的走向,水深从南北两侧的1,000—2,000米陡降为500米左右,西部最浅处尚不及200米。这里有一个海脊。黑潮原先是沿台湾东岸的等深线流动的。厚度至少为800—1,000米的黑潮,跨越这一海脊自北太平洋进入东海时,和气流过山一样,必将发生水层挤缩和流轴偏转的现象。我们主要应用位涡度守恒原理,对这个问题作了一些探讨。结果表明:黑潮在跨越这一海脊时,其流轴将作反气旋式偏转;在离开海脊时,流轴、流向均有“净”的右偏。我们认为,沿着台湾东岸北上的黑潮,是以这一海脊为起点,开始偏向东北的。同时还认为,海流在通过海脊时的偏转现象是比较复杂的,有的学者将它归纳为三种典型现象可能是不完备的。我们分析的这一实例,即是一个例外。我们期望,将来最好能得到这一海脊附近较为细致的测流和水文资料,以便对偏转的细节进行验证^[2]。

5. 东海黑潮的变动与日本以南黑潮变动的联系 六十年代初期,我们就提出了这样一个看法,即G断面和E断面(位于屋久岛东南)上黑潮流轴位置的变动,不仅与这些断面上黑潮流量的变动有关,还可能同日本以南黑潮途径的变动有联系。以1959年的情况而论,在上述两断面上,冬季(1—2月)黑潮流轴位置向SE偏离较大,此时G断面上的流量增大到峰值(50×10^6 米³/秒)。同年1—2月以后,即在九州、四国和远州滩以南的海区,黑潮先后出现大弯曲和冷水团。1954年夏季也有类似情况。此时,东海冲绳岛西方断面上黑潮流量亦达到峰值(50×10^6 米³/秒);同时,日本以南海区亦出现显著的冷水团。当时我们认为,黑潮流轴位置的这种变动,是在东海首先出现,而逐渐向日本以南海区推移的。因而东海黑潮流轴位置的显著偏南,可能即是不久以后在日本南岸出现大弯曲和冷水团的一种征兆^[1]。

6. 黑潮源地区域出现的涡旋现象 除了日本学者早在三十年代指出的在吕宋海峡黑

潮右侧出现的暖涡和七十年代中期在济州岛西南发现的冷涡之外,最近我们在黑潮两侧也发现了其他几个涡旋。例如,上面已经提到,在台湾以北彭佳屿附近海区,由于黑潮绕流和台湾地形的屏障作用,经常存在着气旋式冷涡^[2]。从CSK(1965—1975)资料中也可明显地看到,琉球群岛以南(1975)和东海西南部(1967)曾分别出现过两个暖涡,台湾以东、西表岛以南海域(1966)曾多次出现过冷涡。特别是琉球群岛以南的那个暖涡,从GEK观测结果和根据质量场得出的动力高度分布的对比中,明显地表示出它的地转性或准地转性是相当显著的。这一事实为今后引用质量场资料来解释涡旋的流场提供了一个较好的例证。迄今为止,在黑潮两侧已有六处(其中左、右侧各三处)观测到较显著的冷暖涡。所以,北太平洋西部,在强大的表层流附近常常出现各种类型的涡旋,这点看来也是无疑的^[6]。

黑潮不仅是我国海流研究工作中,也是整个海洋科学研究中最为重要的课题之一。因为黑潮及其变异,不仅控制着几乎整个东海及其邻近海域的水文情况,并且也对东南沿岸地区的气候变迁,特别是旱涝现象有着显著的影响。我国的气象科学工作者早在五十年代初期就已注意到这个问题的重要性。我国海洋科学工作者是从六十年代初期才开始研究黑潮及其变异问题的。目前我们所完成的工作还是很有局限的,主要对黑潮所流经的几个断面上的流速结构及其变异作了一些分析研究,还未对广大的源地区域进行较全面的研究,特别是尚未系统地开展黑潮的现场观测工作。这实是一项刻不容缓的海洋调查任务。此外,有关黑潮的动力学、理论研究以及模拟实验等更亟感缺如,急待展开。

今后,我们要进一步深入研究黑潮的结构、动力学、变异及其机制等问题,务求能比较正确地回答这样几个问题:(1)黑潮是怎样变化的?(2)为什么会有这样的变化?(3)这种变化对海洋及大气环境又会有哪些影响?等
(下转第56页)

人类协同工作吗？达菲的表现和行动果然不负众望。它重载着各类物资，频繁地辗转往复于海面与海下“实验房”之间，及时把报刊和书信送到水下工作人员手里，充当了一名很称职的邮递员。由于达菲在此坐阵，鲨鱼从此销声匿迹、远遁它方。在整个《海洋实验-2》实施过程中，海洋中其它凶残而掠夺成性的动物也不复来此光顾。

达菲那种孜孜不倦的服务态度和满腔的热忱，深受海洋科学工作者的爱戴和亲善。他们一致选举它为《海洋实验-2》的名誉成员。

《海洋实验-2》结束后，达菲和它的教练载誉而归。

《海洋实验-2》工作的辉煌成就，充分地显示了达菲的本领和“才华”，从此达菲名扬天下，轰动全球，成为名噪一时的海上明星。在资本主义的世界里，这是一张多么光彩夺目的广告啊！雇主竞相前来聘请。不久，达菲和它的教练获得了一个正式的固定工作——在美国太平洋沿岸的一个火箭练靶场服务。

发射火箭后，坠入海中的复杂而昂贵的推

进装置残骸需要一一回收，但是，海底下的混浊水层和淤泥碍人眼目。因此有人想到利用海豚所具有的奇特才干。

火箭发射前，对需要回收的装置均安装一个微型的超声波发生器。在海中，这个发生器发出超声波信号，即使在很远的距离，海豚也能听到。达菲听到信号后奔向声源，从而找到需要回收装置所坠落的地方。由于达菲的指引，潜水员能很快把它们打捞上来。

达菲是一个很有作为的“工作者”。它的贡献是如此之大：在四个月中，它就为火箭练靶场节省了七万美元。

与活动在海洋界的人们破天荒地合作得如此令人惬意的达菲，以后的情况怎样呢？无疑是读者关心的事情。沿着它的踪迹去寻找，定会有不少动人的趣闻。那就请读者拭目以待吧！。

(江安于编译)



(上接第37页)

等。为此，必须着手建立对黑潮的监测系统，迅速开展定期的观测工作，积累较多的时间序列较长的资料，以便了解并掌握黑潮千米厚水层内热含量和地转流场的低频变化规律，逐步解决黑潮的预报问题。当然，在进行台湾以东和东海黑潮的研究时，也要经常注意到日本以南（甚至是以东）海域中黑潮的变化情况，因为它们是一个整体，相互之间必然有着密切的联系。

参 考 文 献

[1] 管秉贤，1964。黑潮流速流量的分布、变化及

其与地形关系的初步分析。海洋与湖沼6(3): 229—251。

[2] ——，1978。我国台湾及其附近海底地形对黑潮途径的影响。海洋科学集刊14:1—21。

[3] ——，1979。苏澳一与那国岛断面上黑潮流速结构的特征及其季节变化。海洋科学集刊第18期(待刊)。

[4] ——，1979。东海黑潮变异研究的若干结果。海洋与湖沼10(4):297—306。

[5] ——，刘举平，范继铨，于振娟，1979。东海G断面上二十年(1956—1975)来黑潮流速的变动。科学通报(21):990—994。

[6] ——，1980。黑潮源地区域若干冷暖涡的主要特征。中国海洋湖沼学会第三届年会论文集(待刊)。