

黑潮调查研究论文选

(一)

国家海洋局科技司



海洋出版社

黑潮调查研究论文选

(一)

国家海洋局科技司

海洋出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本论文选汇集有39篇中日合作首次黑潮调查研究的中方论文。主要内容是根据1986年3个航次的调查资料,介绍了东海黑潮区的水文特征、水团、流场结构,化学要素分布及生物种类、数量、生产力,以及黑潮对东海气候的影响等问题。

本书可供从事海洋、气象、地理、水产、环保、军事、航海以及海洋开发等科研、教学、监测和生产等部门参考与使用。

主 编 苏纪兰

副 主 编 陈则实 余国辉

编 委 孙秉一 孙湘平 吴宝铃 杨德全

张金标 周明煜 黄世玖 浦泳修

管秉贤

特约编辑 宣维莹 黎淑珍

责任编辑 马凤珍

黑潮调查研究论文选(一)

国家海洋局科技司

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

海洋出版社发行处发行 北京通县电子外文印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 27.625 字数: 650千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数: 1—1000册

ISBN 7-5027-817-O/P·85 Y: 21.00元

前 言

黑潮与大西洋的湾流齐名,是太平洋西边界一支高温高盐水流,以流速强、流量大、流幅窄和流程长而著称。它起源于菲律宾以东海域,流经我国台湾以东,进入东海,穿越吐噶喇海峡,经日本以南海域,汇入北太平洋海流。黑潮的存在与变异,对中国沿海和日本南部及东部海域的海洋环境、沿海气候、渔业资源等均有较大影响。

中国和日本两国充分认识到黑潮对两国的这些影响,很早便开始了对黑潮的调查研究,对黑潮有了初步的了解和认识。但是黑潮是一个整体,中日两国各自的调查研究都有一定的局限性。为适应开发利用海洋的新形势,中国国家海洋局和日本国科学技术厅经过多次磋商和谈判,正式签署了《中华人民共和国国家海洋局和日本国科学技术厅关于黑潮合作调查研究项目实施协议》。这个协议为期7年,从1986年正式开始执行。

这次合作调查研究的内容包括5个方面:

1. 阐明黑潮流经海域海况变异机制;
2. 阐明黑潮流经海域生物生产机制;
3. 阐明黑潮的净化机制;
4. 黑潮流经海域海洋-大气相互作用;
5. 弄清调查研究海域的热能和动能。

合作调查研究的海域为黑潮进入东海至黑潮汇入北太平洋海流所流经的海域。合作调查研究的方法是双方各自派遣调查船进行调查,双方派科学家上对方船上参加调查,并到对方实验室从事合作研究。每年出版《黑潮图集》,定期召开学术研讨会。

根据中日两国协议,国家海洋局1986年开始海上调查,投入调查的船只有“向阳红09”船和“实践”船。参加调查研究的单位主要有国家海洋局北海分局、东海分局、第一海洋研究所、第二海洋研究所、海洋资料中心等单位。在1984年至1985年黑潮试验性调查的基础上,第一年主要是对台湾暖流、东海黑潮主干区、对马暖流区及琉球群岛以东黑潮流经海域进行概查,其目的是通过概查,进一步确定重点调查海区 and 重点研究解决的课题。

1986年两条船共进行了3个航次的调查,调查的时间是:“向阳红09”船5月20日至6月20日;“实践”船5月20日至6月23日,10月15日至11月6日。调查的项目为海洋水文、气象、生物、化学等学科诸要素综合调查。对重点测流区布放6套锚系测流浮标,3个航次共完成大面测站260个。

在1984年至1986年黑潮试验性调查阶段,国家海洋局第一海洋研究所、第二海洋研究所曾编辑出版了《黑潮调查研究论文集》。由于中日合作黑潮调查研究为期7年,论文必将很多,不能全部收集出版,只能选取部分论文,分期陆续出版《黑潮调查研究论文选》。这次出版的《黑潮调查研究论文选(一)》是根据1986年3个航次的调查资料和参考日本的同年部分调查资料撰写的,经过专家评审推选出的部分论文。文选有不妥之处,敬请有关专家批评指正,以促进中日合作黑潮调查研究的进展。

《黄渤海海洋》和《东海海洋》两编辑部参加了本文选的编辑等工作。

国家海洋局科学技术司司长 朱文学

订正：面页图1 以此图为准

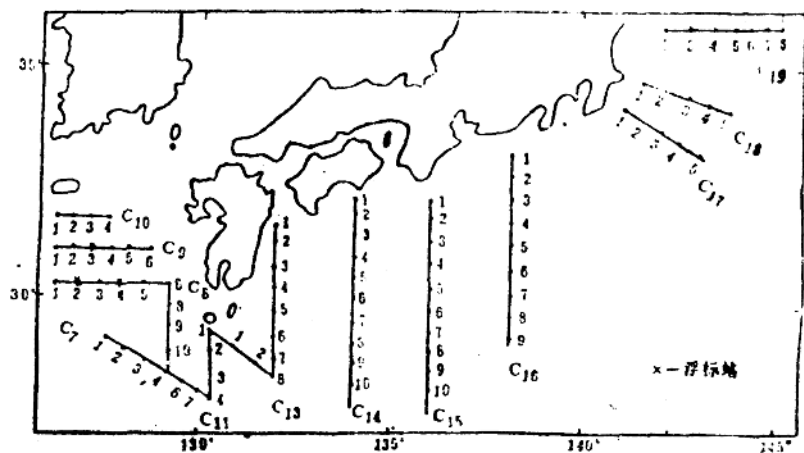


图1 1986年“向阳红09”船调查总站位图

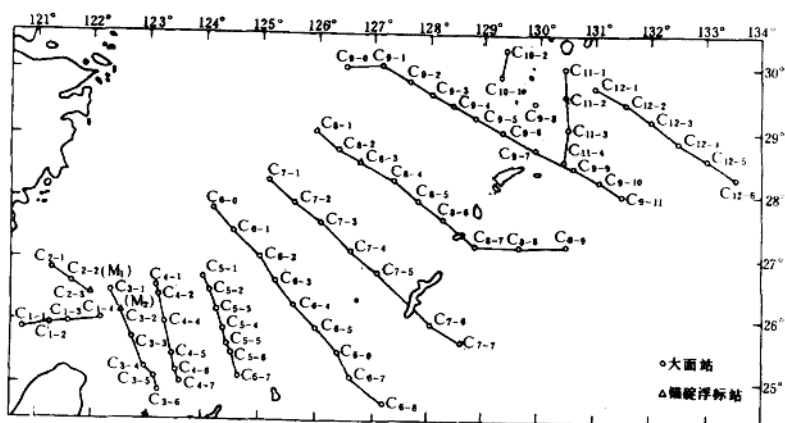


图2 1986年春季“实践”船调查总站位图

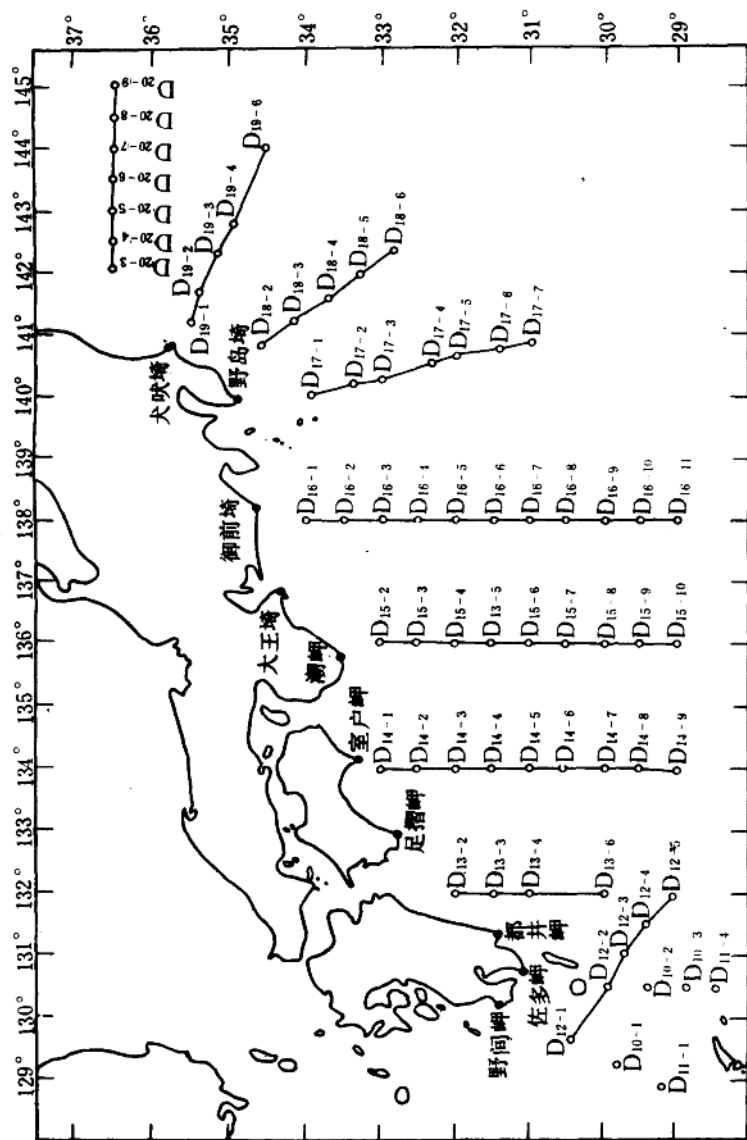


图3 1986年秋季“实践”船调查总站位图

目 录

1. 对马暖流源区1986年6月的水文状况.....郭炳火 林 葵 宋万先 (1)
2. 1986年5—6月黑潮及其邻近海域水团的模糊划分.....卢中发 (11)
3. 东海东北部锚定测流结果与分析.....林 葵 刘爱菊 (25)
4. 东海和南黄海潮余流的数值模拟.....汤毓祥 (33)
5. 黑潮及其毗邻海域无机氮的分布特征.....
.....姚乔尔 戴家业 童钧安 赵德兴 张振生 傅永法 许可彬 (45)
6. 黑潮及其邻近水域浮游硅藻的种类组成和数量分布俞建奎 李瑞香 (57)
7. 次表层叶绿素 a 极大值 (S C M) 分布与其光-营养盐环境相关关系的研究...
.....费尊乐 朱明远 (67)
8. 黑潮及其毗邻海域叶绿素 a 和初级生产力的分布特征.....
.....费尊乐 吕瑞华 管永红 (77)
9. 黑潮及其邻近海区表层水中生物生产的溶解有机碳的估算.....陆赛英 (89)
10. 黑潮及其邻近海域浮游动物的初步报告.....孟 凡 黄凤朋 马兆党 李钦亮 (97)
11. 黑潮区及其邻近海域端足类亚目的种类组成与分布特征.....李钦亮 孟 凡 (107)
12. 黑潮及其邻近海域仔、稚鱼的分布和种类组成.....陈士群 张仁斋 (115)
13. 1986年5—6月台湾以北水文状况的分析.....潘玉球 苏纪兰 徐端蓉 (125)
14. 1986年5—6月宫古岛至屋久岛岛链两侧的水文状况.....浦泳修 苏玉芬 (137)
15. 1986年春季东海水系的混合特征.....苗育田 于洪华 (149)
16. 1986年5—6月东海黑潮区海流观测资料的初步分析.....浦泳修 苏玉芬 (163)
17. 1986年夏初东海黑潮流场结构的计算.....袁耀初 苏纪兰 (175)
18. 1986年5—6月东海测流站的潮流特征.....苏玉芬 (193)
19. 1986年5—6月东海黑潮区溶解氧和营养盐的分布特征.....
.....董恒霖 王玉衡 姚龙奎 顾 峰 刘 波 (203)
20. 1986年春季东海黑潮区及其邻近海域浮游植物现存量和种类组成.....
.....徐芝敏 蒋加伦 陆斗定 (215)
21. 1986年春季东海黑潮区浮游甲藻种类组成及其分布特征的初步分析.....
.....陆斗定 蒋加伦 徐芝敏 (229)
22. 1986年5月东海黑潮区叶绿素 a 分布特征.....王小羽 陆斗定 朱碧英 胡钦贤 (239)
23. 1986年春季东海黑潮及其邻近海区浮游桡足类的分布特征 I. 平面分布.....
.....何德华 杨关铭 (249)
24. 1986年春季东海黑潮区管水母类组成与分布的初步研究.....刘红斌 (267)
25. 1986年5—6月日本南部黑潮及其邻近海区温、盐度分布与黑潮锋的特征.....
.....郑义芳 周参武 修树孟 (277)
26. 黑潮下游段表层流路 (途径) 的初步分析.....孙湘平 王元培 袁启科 (287)
27. 1986年5—6月日本南部近海的黑潮路径和流量分析.....王元培 孙湘平 (301)

28. 黑潮流系典型中尺度现象遥感与动力学研究.....	郑全安 袁业立 郑新江 (313)
29. 1986年5—6月日本以南海域气象特征分析.....	姚静娴 俞新南 陈金宝 安爱贞 (325)
30. 日本南部海域溶解氧和PH的分布特征.....	傅永法 童钧安 赵德兴 姚乔尔 (333)
31. 日本南部黑潮流域磷酸盐和硅酸盐的分布特征.....	赵德兴 童钧安 姚乔尔 傅永法 (345)
32. 日本南部黑潮区及邻近海域磷虾类的分布特征.....	马兆党 孟凡 (353)
33. 日本以南和以东海区的温盐结构和水团——1986年10—11月观测结果——.....	潘玉球 徐端蓉 (363)
34. 1986年秋季日本以南黑潮区流场的某些特征.....	方同德 (377)
35. 1986年5—6月日本以南海域的黑潮流场计算.....	袁耀初 苏纪兰 周伟东 (385)
36. 日本以南和以东海区的水系混合及锋面特征.....	苗育田 于洪华 (397)
37. 日本以南黑潮区营养元素的分布特征.....	刘波 顾峰 金建成 王正方 (407)
38. 日本以南海域铜和铅的含量分布.....	王正方 周蓬葭 卢勇 金明明 (419)
39. 日本以南和以东黑潮区叶绿素a的分布.....	朱碧英 王小羽 胡钦贤 蒋加伦 (427)

对马暖流源区 1986 年 6 月的水文状况

郭炳火 林 葵 宋万先

(国家海洋局第一海洋研究所)

一、 引 言

东海东北部,九州以西海域是对马暖流的发源地,这里海底地形复杂,有深达700m以上的海槽,海槽之西为水深小于200m的陆架区。从它所处的海洋环境来说,区域的南部黑潮由东北向转为东向,然后通过吐噶喇海峡进入大洋,它的西侧直接受黄海混合水影响,西南角与东海南部混合水相连,东侧有九州沿岸水注入。不同来源的水系汇聚和相互作用,使测区的海洋状况变得十分复杂。对马暖流发源于本区,然后通过对马海峡进入日本海,它是东海水域的一支重要暖流。黄海暖流通常也被认为发源于本区,无疑,它将对黄海的海洋环境带来重大的影响。另外,对马暖流源区也是众所周知的一个良好渔场,历来受到海洋学家的重视。几十年来日本学者对该海区已做过大量的调查,并获得许多研究成果。然而由于海区的状况复杂,加之调查手段所限,至今许多重要的海洋现象尚未被充分揭示和认识。例如关于对马暖流的起源,仍然是一个有争议的问题。过去我国对该海域的调查研究较少。1981—1982年山东海洋学院“东方红”号调查船在长江口及济州岛邻近海域进行4次综合调查[1],虽然涉及对马暖流源区,但调查测站仅达到区域的西半部。本报告的目的在于根据1986年6月18日至22日“向阳红09”调查船在本区的一次海洋学考察所获得的水文资料,同时也使用6月初“昭洋丸”、“实践号”船得到的部分资料(站位见图1),分析对马暖流源区的海况,探讨对马暖流的起源。

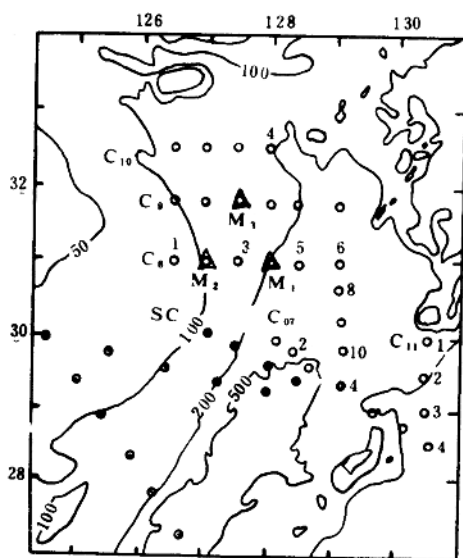


图 1 站位图

- “向阳红09”调查船测站
- “实践号”船测站
- “昭洋丸”船测站

二、温度和盐度的空间分布

为了较好地了解本区的海况及其与邻近水域的相互关系, 需要把研究的海域范围适当地向南扩大。依据上述的资料, 我们绘制了温度和盐度分布图 (图2—3, 5—6), 并概要地描述本海域的水文基本特征。

(一) 水平分布

从表层的温度分布 (图2左) 可以明显地看出, 黑潮水与陆架水的交界线为 26°C 等温线, 大于 26°C 为黑潮水域, 此线在 30°N , 128°E 附近转向东。对马暖流源区的水温为 $21-25^{\circ}\text{C}$, 等温线大致为东西走向, 水温向北递减。 23°C 线呈舌状向北伸展, 这意味着暖水向北扩展的势态。图3左所反映的表层盐度分布更引人关注。除了九州西南方一片盐度略比黑潮水低, 但又

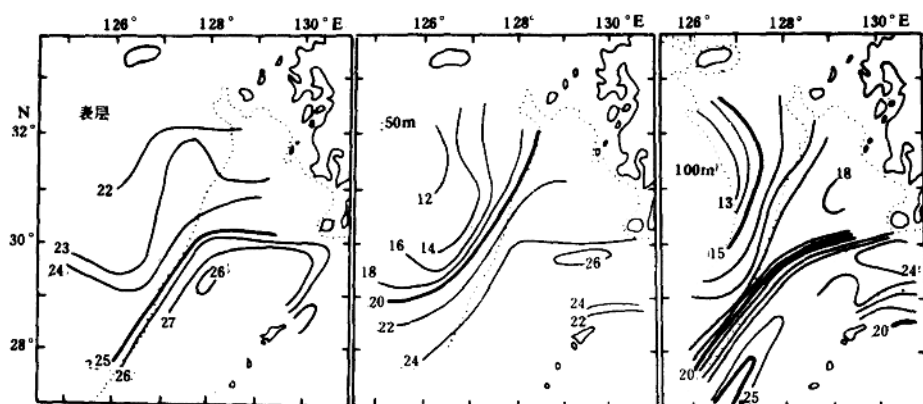


图2 温度水平分布

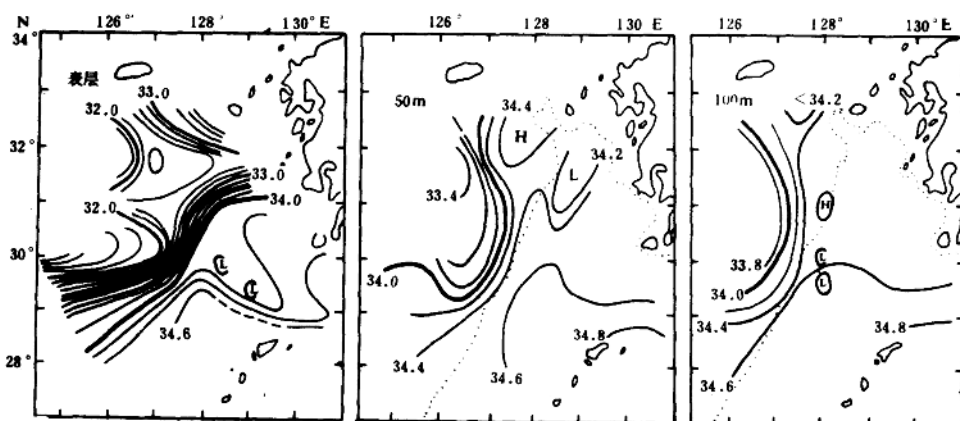


图3 盐度水平分布

较均匀的甚高盐区(34.0—34.3)外,测区的西侧突出地反映低盐沿岸水从西向东扩展,而且最后呈现出两个低盐水舌。北水舌以 $31^{\circ}45'N$ 为轴线,32.4等盐线达到 $128^{\circ}20'E$,并与九州沿岸水相连;南水舌以 $30^{\circ}10'N$ 为轴线,32的等盐线前峰达到 $127^{\circ}10'E$,十分逼近黑潮。同时我们还可以看到,低盐的陆架水似被黑潮卷带到了更远的地方,黑潮北侧出现较低盐的水舌,并一直延伸至 $130^{\circ}30'E$,同时还出现两个未被混合掉的低盐水块。事实表明,大陆沿岸水(即长江冲淡水 and 苏北沿岸水)向东扩展的势力十分强,已直接影响到对马暖流源区,其低盐水舌与九州沿岸水已经相接。同期的可见光卫星影象(图4)清楚地看到来自长江口、苏北外海和来自九州沿岸的高浊水相接的面貌。

50m层和100m层的温度和盐度分布与表层显然不同。图2中,右和图3中,右表明这两层的温度和盐度分布大体相似。黑潮次表层水位于盐度34.6—34.8的水域,50m层黑潮水的温度高于

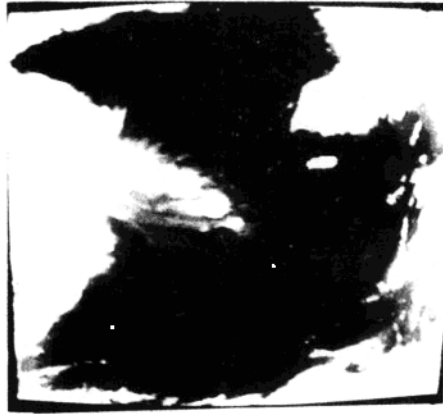


图4 可见光卫星影象
(1986. 4. 11)

$24^{\circ}C$; 100m层高于 $19^{\circ}C$ 。在对马暖流源区,等温线大致由西南向东北,且向北略有发散之势,水温由西向东递增,未形成明显的锋面。盐度分布有所不同,等盐线大体为由南向北,並出现清晰的盐度锋面,锋面东侧为34.4—34.6,较为均匀,略比黑潮次表层水低;锋面之西其盐度低于33.6。

(二) 断面分布

图5和图6分别为对马暖流源区三个纬向断面的温度和盐度分布。这些图反映了下面主要特征:三个断面的等温线都是由西向东下倾,而等盐线的趋势则相反。 C_8 和 C_{10} 断面上等盐线由西向东上倾, C_9 断面稍有不同,等盐线近乎构成直角边的形状。 C_{902} 站出现较高盐海水升至表面,但该站的温度却无相应的冷水上升迹象,我们还不清楚其缘故。顺便指出三个断面的密度分布与温度分布大体一致。为了减少图幅,文中没有给出。

三、水系构成

为研究对马暖流水的来源,把本区的水系做粗略的划分是必要的。在这里我们仿照佐原勉和半泽洋一的作法^[2],把本区划分为五大水系(见图7)。据图7的划分,我们绘出测区内

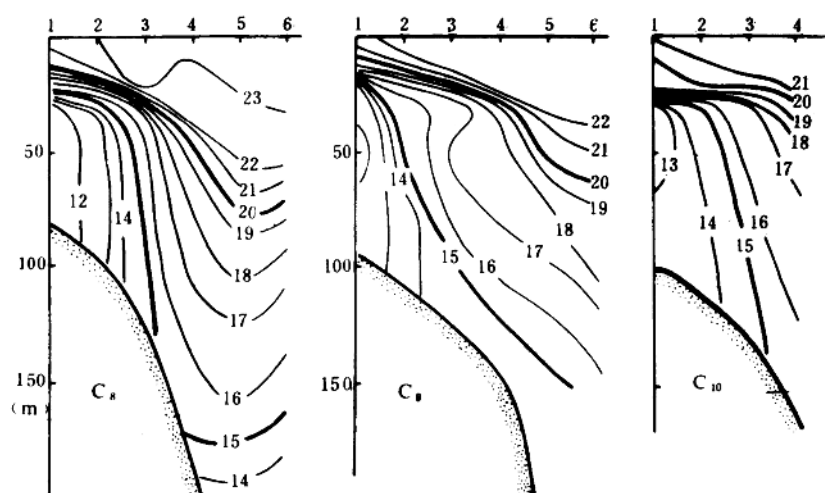


图5 温度断面

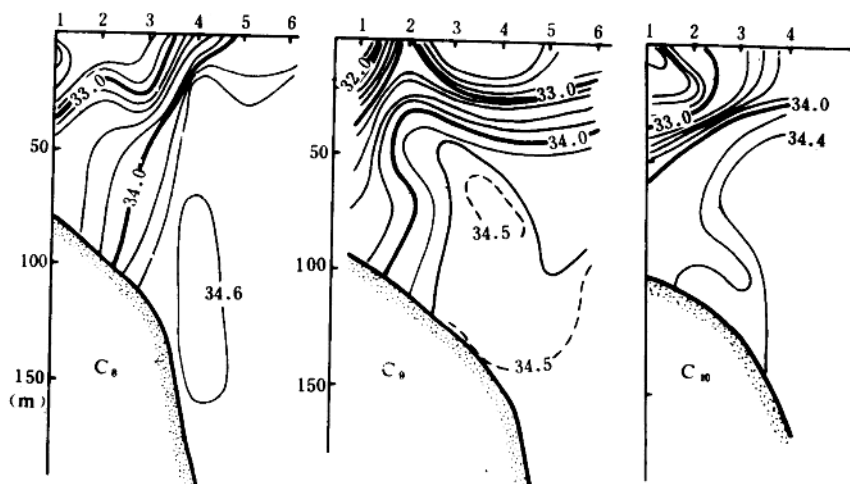


图6 盐度断面

的水系分布图8和图9，並描述各水系的地理分布和特征。

(一) K型水(黑潮水)

从调查海区的水系分布来看，不管在各水层的水系分布图或对马暖流源区的三个断面图中，黑潮水都是一个主要水系。在表层和100m层，黑潮水北达 30°N ；在底层它占据了大片海区； 30°N 以南约以200m等深线为界， 30°N 以北黑潮水爬升到200m等深线以浅的区域，且所占据的浅水区面积向北逐渐扩大。从断面分布图来看，在 C_8 和 C_9 断面上黑潮水最高升至100m层，而 C_{104} 站爬升到70m层，这可能是海槽顶部变窄所致。

(二) I型水

通观图8和图9, I型水是对马暖流源区的主要水体,它与东海陆架上的混合水同性。在表层由于Ⅲ和Ⅳ型水向东插入, I型水似乎被分割成两部分,一部分位于 30°N 以南的东海陆架区,另一部分位于九州西南方的海域。似乎后者不是直接来源于前者,而是向东移动的东海北部表层低盐水与黑潮水混合而成的。在100m层, I型水几乎占据整个对马暖流源区,西至100m等深线。在底层 I型水范围缩小为一狭长带,在 30°N 以南它位于100—200m等深线范围内,而在 30°N 以北,它位于100—150m等深线范围内。此狭长带以东均为黑潮水所占据。无论是100m层还是底层对马暖流源区的 I型水与 30°N 以南的东海混合水是连通的。从三个断面上的分布来看, C_8 断面上的 I型水占据该断面的东半部从表层到大于100m深度的水层。而在 C_9 断面上表层完全被Ⅲ型水所取代,它只占据40—100m之间的水层。该断面的东部由于九州沿岸水的加入,而被Ⅱ型水所取代,因此它的范围大大缩小。至于 C_{10} 断面的东部,由于黑潮水的抬升, I型水的范围进一步缩小。以上分析表明在对马暖流源区, I型水位于中层,因此我们称它为对马暖流中层水。

(三) IV型水

从 $T-S$ 点聚图7可以发现, IV型水由温、盐特征明显不同的两个水系构成,其一是以低温为主要特征的东海北部冷水,它仅存在于下层。此水系是黄海西部冷水往东南移动到东海东北部海区的结果,所以也被称为黄海冷水^[1]。其二是东海北部表层水。由于长江冲淡水 and 苏北沿岸水向本区扩展结果,它以低盐为主要特征。图8和图9清楚地表明,东海北部冷水南至 $30^{\circ}30'\text{N}$,东至100m等

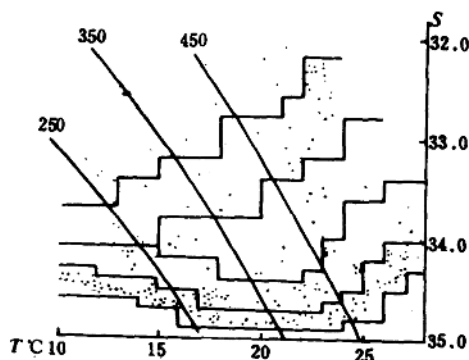


图7 $T-S$ 点聚的水系划分

深线(即 $127^{\circ}30'\text{E}$)附近,边界走向与100m等深线大体一致。冷水东侵最强出现在 C_8 断面的30m层,达到 $127^{\circ}30'\text{E}$ 。东海北部表层水南达到 $29^{\circ}40'\text{N}$,东大致达到 $126^{\circ}30'\text{E}$,在 30°N 附近它甚至达到 127°E 。这可能是黑潮在此附近转弯所致。显然东海北部表层水向东扩展给对马暖流上层水带来重大的影响。

(四) Ⅲ型水

水系分布图9表明,100m层以下无Ⅲ型水存在。在 30°N 以南的海区表层尽管出现一个狭长的Ⅲ型水带,可把它视为锋带,无需把它作为一个独立的水系。再从对马暖流区的三个断面水系分布来看,Ⅲ型水几乎占据了了对马暖流源区的上层,因此我们可以把Ⅲ型水称为对马暖流上层水,它由Ⅳ型水和 I型水混合而成。另外Ⅲ型水分布的面积由南向北扩大,或许这可以反映 I型水与Ⅳ型水、九州沿岸水的混合过程,三个水系由南向北逐步混合而变得均匀。

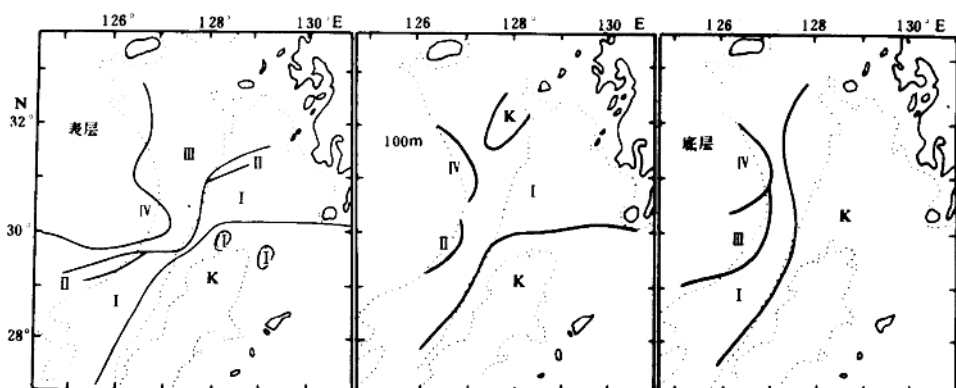


图8 水系水平分布

* 水深大于200m的深水区取200m层为底层

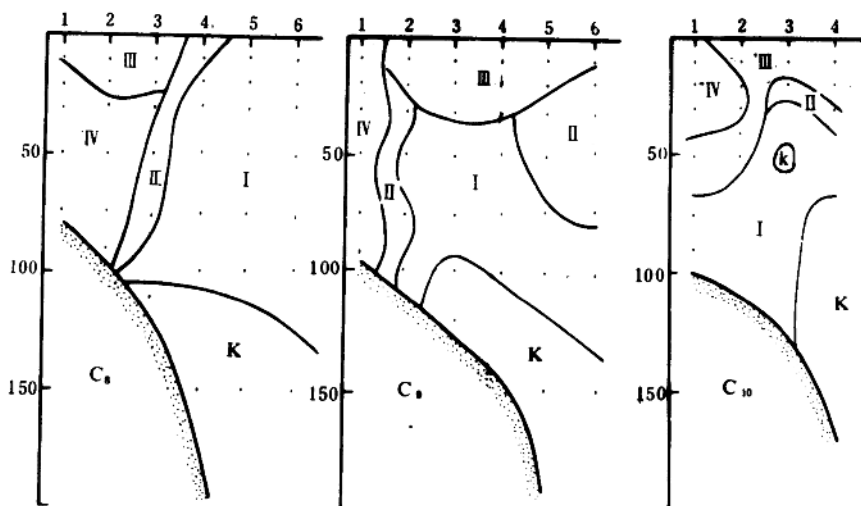


图9 水系断面分布

(五) II型水

通观水系分布各图，C₉断面的东部出现一块范围较大的II型水域，这是九州沿岸水与I型水的混合结果。除此之外，II型水均以狭窄的锋带出现，因此我们不把它当作一个独立的水系。出现在C₉和C₁₀断面上的II型水呈带状垂直向下，把东海北部冷水与对马暖流中层水分开，它表明了两个水系之间的混合甚弱，对马暖流中层水很少混入东海北部冷水。

三、流场特征

(一) 地转流计算结果

由于测区的大部分水域较浅,我们取 $600 \times 10^4 \text{ Pa}$ 作为动力零面。在计算动力高度时,为了克服线性浅水订正时可能产生过大的偏差,首先我们绘制了各断面的等比容偏差图,从图中取值,然后做非线性浅水订正。图10a, b分别给出 $0-600 \times 10^4 \text{ Pa}$ 和 $100-600 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的动力高度图。图10a表明黑潮在 $29^\circ 30' - 30^\circ 30' \text{ N}$, 127° E 附近转向东流,这与前面的分析完全一致。另外在奄美大岛东北方出现黑潮逆流。在对马暖流源区,等动力高度线,亦即流线大致平行于200m等深线北上,对马暖流位于等高度1.12-1.22动力米之间。其幅度变化甚大,在 31° N 附近其宽约90n mile,在 32° N 则为30n mile。对马暖流的西侧似乎存在两个气旋式涡旋,而它的东侧为九州沿岸流。九州沿岸流分为两支:一支北上汇入对马暖流,另一支南下汇入大隅支流,向东与黑潮并行通过大隅海峡和吐噶喇海峡。由于两侧流系的影响,对马暖流的流线显得弯弯曲曲。另外,我们还可以看到在济州岛南面一支西北流,通常认为是黄海暖流的发源段。这支流似在 32° N , $126^\circ 20' \text{ E}$ 附近的海区与对马暖流分开。从 $100-600 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的动力高度图(图10b)可看出,对马暖流的流幅较宽,流线与等温线(见图2右)相似,与表层不同之处是100m层已无九州沿岸流的北上分支的迹象。

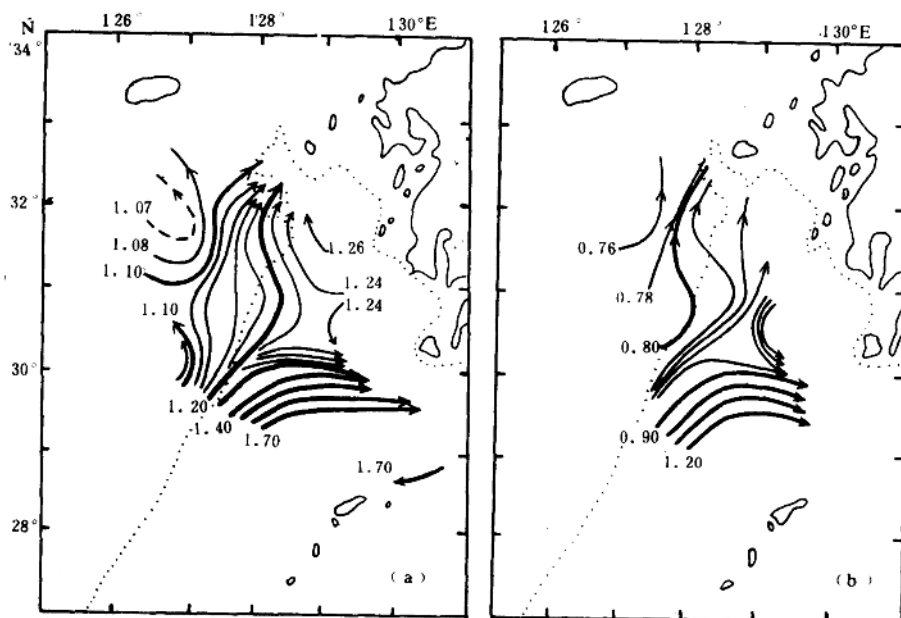


图10 动力高度图

(零面取 $600 \times 10^4 \text{ Pa}$)

(a) 为0 m层 (b) 为100 m层

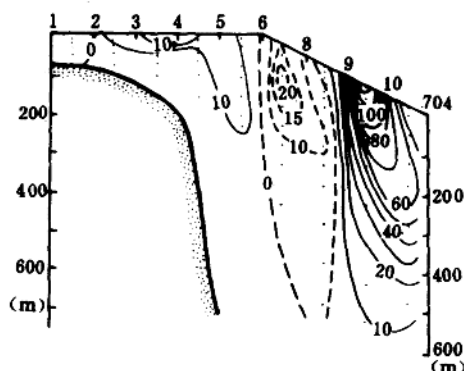


图11 C₈断面地转流速剖面
(零面取 $700 \times 10^4 \text{ Pa}$)

为估算对马暖流的流量和流速, 我们还用 $700 \times 10^4 \text{ Pa}$ 作为动力零面, 计算了C₈断面上的流速 (见图11), 结果表明, 对马暖流在此断面上的流速北分量为5—15 cm/s。C₈₀₆—C₇₀₄站为经向断面, 黑潮主流在C₈₀₆—C₇₀₄站之间通过, 最大流速为120 cm/s, 九州沿岸流的流速达20 cm/s。流量计算结果是: 对马暖流为 $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 黑潮为 $25.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 前者仅为后者的1/10, 与前田明夫^[3]、俞光耀^[1]的估算结果一致。

(二) 实测流结果

在调查期间我们布设了三个测流浮标 (站位见图1)。测流记录经25小时滑动平均滤波后获得余流矢量进行图 (参见林葵等文中的图3)^[1]。从20 m层和50 m层的余流来看, M₁站余流为东北向, 流速8 cm/s, 方向和速度都比较稳定。M₂站位于济州岛南面的气旋式涡旋范围内, 流速较小, 20 m层仅为0.7 cm/s, 虽然方向基本为东北向, 但仍存在明显的变化。50 m层的流速为2.6 cm/s, 流向稳定在东北方向上。以上结果与计算的地转流颇为一致。M₃站20 m层流速为16 cm/s, 比M₁和M₂站都大。显然M₁站为西北向流, M₂站为东北向流, 显示了这里的流在向北流动的过程中有汇集之势, 流幅变窄而流速增大。图10a 同样反映了这种趋势。M₃站的流向为西北, 与图10a所表示的北向流不十分一致, 这可能是由于水浅, 地转流计算引起的偏差, 或者是非地转流分量比较大。

在近底层的三个站的余流流向均与中上层有明显差别, 而流速却无明显的减小。M₁站150 m层为东或东南流, 流速达10.4 cm/s, 比中、上层大。M₂站的90 m层为北向, 与等深线走向一致, 流速4.3 cm/s, 也比上层大。M₃站的90 m层为西向流, 流速虽比上层小, 但也达到8.3 cm/s。

四、 对马暖流的起源

传统概念认为对马暖流是黑潮在九州西南方分出来的一个分支, 赤松 (1977) 认为它是黑潮在台湾东北方分离出来的^[4], 然后沿着陆架约100 m等深线向东北流入九州以西海区而成为对马暖流。近藤 (1975) 统计1961—1967年间的GEK资料的结果表明对马暖流源区北向的表层流是相当强的 (见依悟的图7^[5]), 然而JODC统计1953—1977年GEK资料得到的结果却有所不同 (见前田明夫的图2^[3]), 在30—31°N区间仅存在南向或东向流, 无北向流出现, 东海陆架表层水流向黑潮尤其明显, 因而认为既无黑潮分支存在, 陆架上也未发现对马暖流的流源, 而是东海陆架表层被黑潮卷入。且不说上述GEK两种统计结果之间的差别, 本航次三个测流浮标得到的余流足以证明31°N以北海区北向流的存在。这可以说明在潮流强而余流小的陆架海区中, GEK所确定的表层流方向没有充分的代表性^[7], 它所示的仅是瞬时表层流, 并不能反映对马暖流的基本流态。市荣誉 (1984) 认为对马暖流来源于黑潮转

1) 林葵、刘爱菊, 东海东北部锚定测流结果与分析, 本文集。

向以后水平雷诺应力引起的黑潮横向流或称为罗斯贝余流^[7]。显然关于对马暖流的起源至今远未弄清楚。在这里我们仅依据前面的分析结果从对马暖流水的构成以及流的来源两个角度来讨论这个问题。

从前面温度和盐度的空间分布及水系构成的描述中,我们已清楚地看出对马暖流水为三层结构,各层水的特性不同,其来源也不尽相同。在上层,深度为40m以浅的水层是对马暖流上层水,它的水源比较复杂。6—7月长江入海径流达到一年中的峰值,在偏南季风的作用下长江冲淡水汇合苏北沿岸水向东或东北冲溢,加之5—6月活跃的江淮气旋频繁地出现,它通过东海北部向东移动,大大地加速长江冲淡水向东扩展的势力,而且加剧了上层海水的水平混合。在 30°N 附近低盐的东海北部表层水已迫近黑潮。 30°N 以南的东海表层水(I型水)与东海北部表层水并行向东,水平混合较弱,出现明显的锋面,因此 30°N 以南的东海表层水似乎没有直接向对马暖流输送。可以推想到黑潮转向东流后应有一部水体脱离出来向北输送,并逐渐与来自东海北部的低盐表层水和九州沿岸水混合,从而构成对马暖流的上层水。如若黑潮水在这里不向北输送一部分高盐水,那末对马暖流源区将被低盐的东海北部表层水所占据。黑潮水向北输送水体的过程是什么?市荣誉认为是罗斯贝余流的存在^[7]。然而这种余流为什么仅发生在这段黑潮,且如此之强以致可以造就一支如此强的对马暖流,而黑潮其他段则不能呢?他的论证不十分清楚,再者他引用在假定法向速度于边界处为零的情况下,得到的西边界流速度变化关系式来计算这种横向流也未必妥当。实际上,前面几节的描述已经表明无论是 30°N 以南或以北的东海陆架水同样明显地被黑潮卷入之势。另一方面,卫星照片常常可以看到黑潮水以涡旋的形式向对马暖流源区移动¹⁾,显然这是黑潮水脱离主体向北输送的一种重要形式。

在中层,对马暖流中层水属I型水,与 30°N 以南的东海混合水相通。考虑到中层水的水平混合比表层弱,而且对马暖流中层水与东海北部冷水之间存在着明显的锋面,它们之间的混合是弱的,因此我们认为对马暖流中层水应主要是来自东海混合水。对马暖流下层水完全是黑潮水,不过它主要位于海槽区的深层,对对马暖流的贡献不会太大。

从流的角度来说,图10的地转流趋势表明,黑潮转弯点的左侧(约 $29^{\circ}30' - 30^{\circ}30'\text{N}$, $127^{\circ}30'\text{E}$)是一个关键性的区域。在这里似乎出现一支流与黑潮分开,然后向北进入对马暖流区。伸向对马暖流源区的流线仅限于 $\text{SC}_{01} - \text{SC}_{02}$ 站之间,而 SC_{02} 站的水系,其上层为III型水,中层为I型水,下层为K型水,因而把从这里向北流的海水称为黑潮分支是不适宜的,它应当是陆架水与黑潮水混合后沿着陆架边缘流到对马暖流源区的。依悟引用井上(1981)的余流图和市川(1983)的测流结果^[5]都表明陆架边缘确实存在北北东方向的海流。另外,从地形来看这里的等深线明显地发散,黑潮左侧的部分流体沿等深线继续向北流动是可能的。

由于获得的资料有限,以上的分析仅是我们的初步认识。为了进一步弄清对马暖流的起源问题,直接测流,特别是浮标测流是必不可少的。

参 考 文 献

- [1] 山东海洋学院,1986,长江口及济州岛邻近海域综合调查报告,山东海洋学院学报16.1: pp210.
- [2] 佐原勉,半尺洋一,1979,东シ于海的水系分布,海上空,54.4: 135-148.
- [3] 前田明夫,1983,东シメ海的黑潮及び黑潮周辺の流況,海洋科学15.6: 332-338.

1) 郑全安: 两类海洋中尺度现象的遥感动力学,博士学位论文.