

黑潮调查研究论文选

(三)

国家海洋局科技司

海洋出版社

黑潮调查研究论文选

(三)

国家海洋局科技司

海洋出版社

1991年·北京

内 容 简 介

本论文选汇集33篇中日黑潮合作调查研究的中方论文。主要内容是根据1988年4个航次的调查资料,介绍了东海黑潮区、日本以南海域的水文特征、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 朱明远 张金标 杨德全

周明煜 袁耀初 黄世玫 管秉贤

特约编辑 宣维莹 黎淑珍

责任编辑 王小南

黑潮调查研究论文选(三)

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 杭州市余杭人民印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 515千字

1991年6月第一版 1991年6月第一次印刷

印数: 1—1000册

*

ISBN 7-5027-1543-6/P·144 ¥, 20.00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，对中国沿岸和日本以南及以东海域的海洋环境、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。

1988年两条船共进行了4个航次的调查，调查的时间是：“向阳红09”船1988年4~6月和1988年10~11月，“实践”船1988年5~6月和1988年10~11月。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。对重点测流区布放了锚系测流浮标，4个航次共完成大面测站331个。

在1984年至1985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(三)》刊登了经过专家评审推选出的论文，它们主要是根据1988年4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。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 余亩文

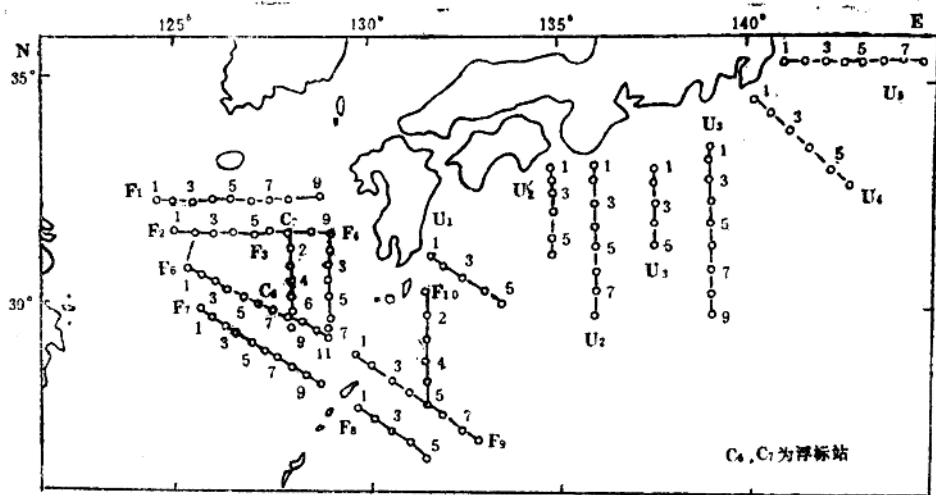


图1 1988年春季(4—6月)“向阳红09”号船调查站位图

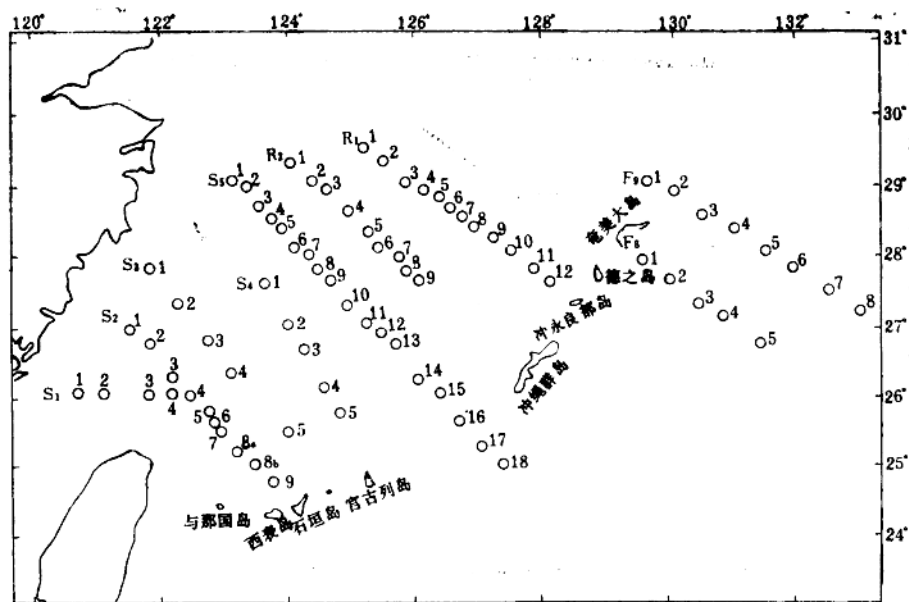


图2 1988年春季(5—6月)“实践”号船调查站位图

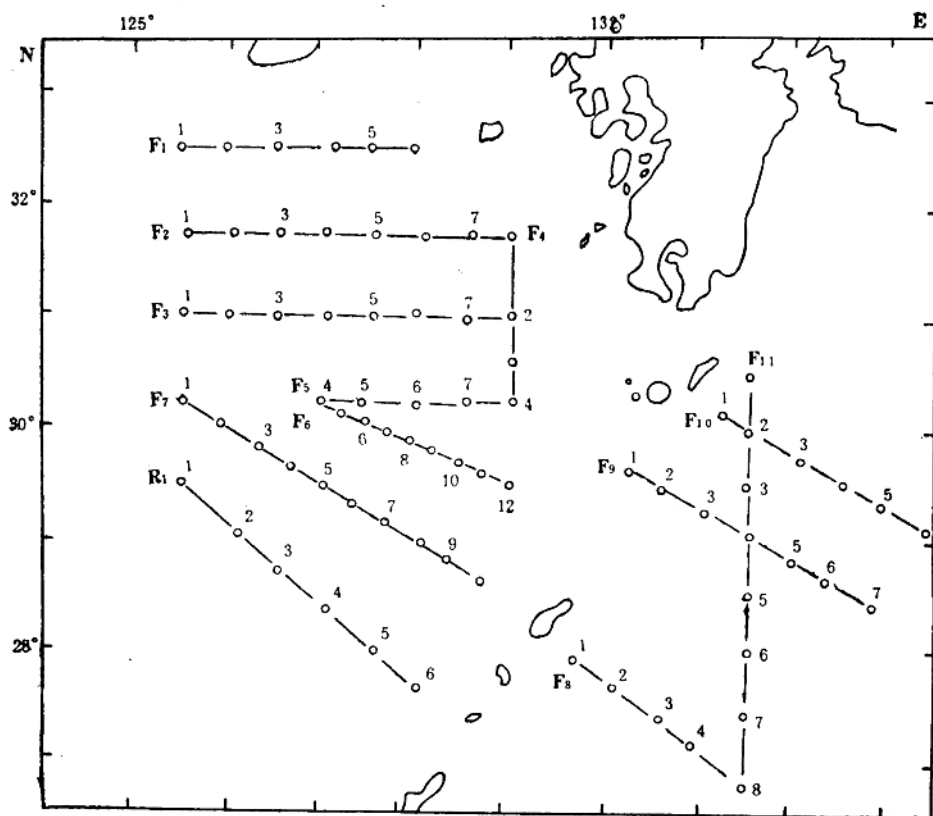


图3 1988年秋季(10—11月)“向阳红09”号船调查站位图

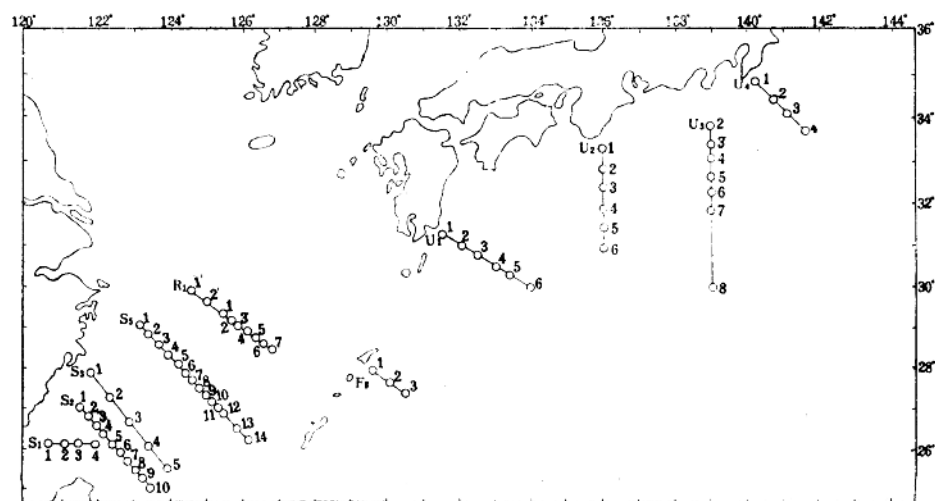


图4 1988年秋季(10—11月)“实践”号船调查站位图

目 录

对马暖流水来源的探讨	宋万先 林 葵 郭炳火	(1)
黑潮暖流与对马暖流暖性水的来源	郭炳火 修树孟 石井春雄 中村保昭	(12)
东海北部黑潮锋的短周期变动及其两侧海况的变化	郑义芳 汤毓祥 黄卫民 中村保昭	(26)
1986~1988年东海东北部海流分析	林 葵	(36)
1986~1988年黑潮的路径、流速和流量	孙湘平 王元培 袁启科 徐洪达	(48)
大陆坡折对黑潮路径的影响	陈水明 张庆华	(60)
奄美大岛—都井岬近海小尺度逆盐结构和黑潮水的T-S频度	王元培 孙湘平	(72)
5~8月东海上空的水汽输送	陈金宝 姚静娴	(83)
长江中下游地区汛期降水与黑潮海域海面放热的关系	丁良模	(93)
黑潮海域大气边界层的特性及其数值研究	张善继 周明煜 吕乃平 申绍华	(100)
黑潮水对东海北部溶解氧分布的影响	傅永法	(113)
从东海陆架至黑潮流域微量营养元素的运移规律	陆赛英 姚乔尔 陈 真	(123)
黑潮海域大气气溶胶的化学特性	张 宽 吕乃平 周明煜	(132)
浮游植物与海水光学参数之间相关关系的研究	费尊乐 李宝华 夏 滨	(143)
东海北部黑潮区浮游动物的种类组成和分布	孟 凡 黄凤明 马兆党 李钦亮	(150)
黑潮流域经济鱼类和大洋性发光鱼类的仔、稚鱼分布	陈士群	(162)
台湾以北陆架海域水文结构和环流的季节变化	潘玉球 苏纪兰 徐端蓉	(172)
东海冬季高密水的形成和演化	潘玉球 苏纪兰 徐端蓉	(183)
东海水系混合特征的时空变化	苗育田 于洪华	(193)
东海黑潮锋的特征分析	于洪华 苗育田	(204)
1988年春季东海南部陆架区的海流分析	苏玉芬	(212)
东海黑潮与琉球群岛以东海流的研究	袁耀初 远藤昌宏 石崎广	(220)
1988年东海黑潮与琉球群岛以东海流的研究	袁耀初 苏纪兰 潘子勤	(235)
春秋季黑潮及其邻近海区化学要素的分布和相互关系的探讨	王玉衡 董恒霖 任典勇 刘 波 郑锡建 顾 锋	(245)
东海黑潮流域春季溶解氧的分布特征	项有堂 金建成 吴景燕	(256)
东海黑潮区表层水的碱度和比碱度分布及其在水团区分上的应用	郑健成 黄水龙 王伟强	(263)
东海气溶胶浓度与谱分布特征的初步分析	蔡榕硕 陈立奇 汤荣坤	(271)
台湾以北海域浮游植物数量分布及热带性种季节变化与水系的关系	徐芝敏 蒋加伦	(279)
东海黑潮指示性甲藻的分布特征	陆斗定	(287)
东海陆架及黑潮区夏季次表层叶绿素最大值成因探讨	王小羽 朱碧英	(297)
东海中南部黑潮区浮游动物分布与群落划分的初步研究	刘红斌 何德华 王春生	(305)
日本以南黑潮流场及流量特征的研究	袁耀初 苏纪兰 潘子勤	(314)
1986年秋季日本以南和以东海域毛颚类的分布特征	王春生	(325)

CONTENTS

A Study on the Source of the Tsushima Warm Current Water	
..... Song Wanxian, Lin Kui and Guo Binghuo	(11)
Kuroshio Warm Filament and the Source of the Warm Water of the Tsushima Current	
.....Guo Binghuo, Xiu Shumeng, Haruo Ishii and Yasuaki Nakamura	(25)
Short-period Variation of the Kuroshio Front in the Northeastern East China Sea and its Effects on the Sea Conditions on the Two Sides of the Front	
...Zheng Yifang, Tang Yuxiang, Huang Weimin and Yasuaki Nakamura	(35)
Analysis of the Current in the Northeastern East China Sea during 1986—1988	 Lin Kui (47)
The Path, Velocity and Volume Transport of the Kuroshio during 1986—1988	Sun Xiangping, Wang Yuanpei, Xu Hongda and Yuan Qike (59)
Influence of the Shelf Break on the Path of the Kuroshio	
..... Chen Shuiming and Zhang Qinghua	(71)
Small Scale Inverse Salinity Structure and T-S Frequency of the Kuroshio Waters Around Amami Oshima-Toimisaki Cape	
.....Wang Yuanpei and Sun Xiangping	(82)
The Water Vapour Transfer over the East China Sea during May—August, 1982—1986	Chen Jinbao and Yao Jingxian (92)
Relationship between Rainfall during Rain Spell in the Middle-lower Valley of the Changjing River and Surface Heat Fluxes of the Kuroshio Region	 Ding Liangmo (99)
The Characteristics and Numerical Study of the Atmospheric Boundary Layer over the Kuroshio Region	
.....Zhang Shanji, Zhou Mingyu, Lu Naiping and Shen Shaohua	(112)
The Influence of the Kuroshio Water on the Distribution of the Dissolved Oxygen in the Northern East China Sea	Fu Yongfa (122)
Transport Patterns of Inorganic Nutrients from the Continental Shelf of the East China Sea to the Kuroshio Area	
.....Lu Saiying, Yao Qaoer and Chen Zhen	(131)
The Chemical Characteristics of Aerosols over the Kuroshio Region	
..... Zhang Ni, Lu Naiping and Zhou Mingyu	(142)
A Study on the Relationship between Phytoplankton and Optical	

- Parameters of Seawater..... Fei Zunle, Li Baohua and Xia Bin (149)
- On the Composition and Distribution of Zooplankton Species in the Kuroshio Region in the North of the East China Sea
..... Meng Fan, Huang Fengpeng, Ma Zhaodang and Li Qinliang (160)
- The Distribution of Larval and Juvenile Economic Fishes and Oceanic Luminous Fishes in the Kuroshio Current Region.....Chen Shiqun (171)
- The Seasonal Changes of Hydrophic Structure and Circulation in the Area Northern of Taiwan.....Pan Yuqiu, Su Jilan and Xu Duanrong (182)
- The Formation and Evolution of the East China Sea Winter Dense Water..... Pan Yuqiu, Su Jilan and Xu Duanrong (192)
- Spatial and Temporal Variations of Water Type Mixing Characteristic in the East China Sea.....Miao Yutian and Yu Honghua (203)
- Analysis of Characteristics of the Kuroshio Front in the East China Sea.....Yu Honghua and Miao Yutian (211)
- Current Analysis in the South Continental Shelf Area of the East China Sea during Spring and Autumn 1988.....Su Yufen (219)
- The Study of the Kuroshio in the East China Sea and the Currents East of the Ryukyu Islands
.....Yuan Yaochu, Endoh Masahiro and Ishizaki Hiroshi (234)
- A Study of the Kuroshio in the East China Sea and the Currents East of the Ryukyu Islands in 1988
.....Yuan Yaochu, Su Jilan and Pan Ziqin (244)
- The Study of Distribution and Correlation of Chemical Elements in the Kuroshio and its Adjacent Areas in the East China Sea in Spring and Autumn.....Wang Yuheng, Dong Henglin, Ren Dianyong, Liu Bo, Zheng Xijian and Gu Feng (255)
- Features of the Dissolved Oxygen Distribution in the Kuroshio Area of the East China Sea in Spring
.....Xiang Yutang, Jin Jiancheng and Wu Jingyan (262)
- Surface Distribution of Alkalinity and Specific Alkalinity and Their Application to Water Mass Tracing in the Kuroshio Area of the East China Sea.....Zheng Jiancheng, Huang Shuilong and Wang Weiqiang (270)
- A Preliminary Study of Concentrations and Size Distributions of Marine Aerosols over the East China Sea
.....Cai Rongshuo, Chen Liqi and Tang Rongkun (278)
- Distribution of the Numbers of the Phytoplankton and Relation between the Seasonal Variation of Warm Species and Water System in the Waters North of Taiwan

..... Xu Zhimin and Jiang Jialun (286)	
Distribution of Indicative Dinoflagellates in the East China Sea	
..... Lu Douding (296)	
Discussion of the Subsurface Chlorophyll Maximum Forming in the	
Continental and Kuroshio Area of the East China Sea in Summer	
..... Wang Xiaoyu and Zhu Biying (304)	
Preliminary Study on Distributions and Communities of Zooplankton	
in the Kuroshio Area of the Middle-Southern East China Sea	
..... Liu Hongbin, He Dehua and Wang Chunsheng (313)	
A Study of the Kuroshio Current South of Japan and its Distribution	
of the Volume Transport..... Yuan Yaochu, Su Jilan and Pan Ziqin (324)	
On the Distribution of Chaetognatha in the Waters South and East	
of Japan in the Autumn of 1986..... Wang Chunsheng (333)	

对马暖流水来源的探讨

宋万先 林 葵 郭炳火

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

一、前 言

东海东北部、九州西侧海域是黑潮高盐水、东海南部陆架水和沿岸低盐水的交汇地。这些不同来源的水系在此汇聚和相互作用,使得该区的天文状况变得十分复杂。这里通常被认为是対马暖流的源区。多年来,许多国内、外学者关于対马暖流水的来源问题做了大量的调查研究工作。早些时候认为対马暖流是黑潮在九州西南方海域的一个分支。自70年代以来,有些学者提出了新的看法,认为対马暖流不是黑潮的分支,但对这支海流是如何形成的仍有不同看法。D. B. Lin^[1]分析了东海水团性质,认为対马暖流是在东海陆架边缘形成的,是黑潮表层水和东海水的混合水;赤松^[2]指出,対马暖流是起源于台湾东北方海域,在沿着东海大陆架北流过程中不断变性的一支海流;永田丰^①认为九州西侧海域没有明显的北上水流,黑潮经吐噶喇海峡全部回到太平洋。GEK 资料的结果也不一致。近藤(1975)统计1961~1967年间的 GEK 资料表明,九州西侧海域北上的表层流是相当强的(见俵悟^[3]的图7);道田丰^[4]等整理的历年 GEK 表层流观测资料和多普勒海流计的海流资料表明,九州西侧30°~31°N之间海域的表层流基本为东向流,并无明显的北向流分量,仅在32°N以北海区才有明显的北向流分量。近年来卫星获得该区的遥感信息逐渐引起海洋学者的重视,如郑全安和袁业立(1988)、杉村俊男(1988)等根据卫星遥感图片研究了黑潮锋的弯曲和九州西侧海域的暖水涡旋,认为这些现象都与対马暖流水的来源有关。这说明至今关于対马暖流水的来源问题仍未弄清楚。中、日合作开展黑潮调查研究以来,自1986年到目前为至,“向阳红09”号调查船在九州西侧海域进行了六个航次(每年两次)的综合性调查。根据第一、二航次的调查资料,我们分析了调查海域的水系分布^[5]、温盐结构和环流特征^[6],取得了有关対马暖流水来源的一些初步认识。鉴于该区水文状况复杂,不同来源的水系自身又有明显的季节变化,因此,有必要进行各季节的综合性分析。

本文主要根据中、日黑潮合作调查研究在九州西侧海域取得的1987年夏(7~8月)、冬(1987年12月~1988年1月)、春(1988年5~6月)和秋季(1988年10~11月)的水文资料(站位见图1),从地转流和浮标测流结果以及温、盐结构特点来分析対马暖流水的来源。

① 永田丰,1982,中国东海一般海况(摘要),中日海洋研究讨论会。

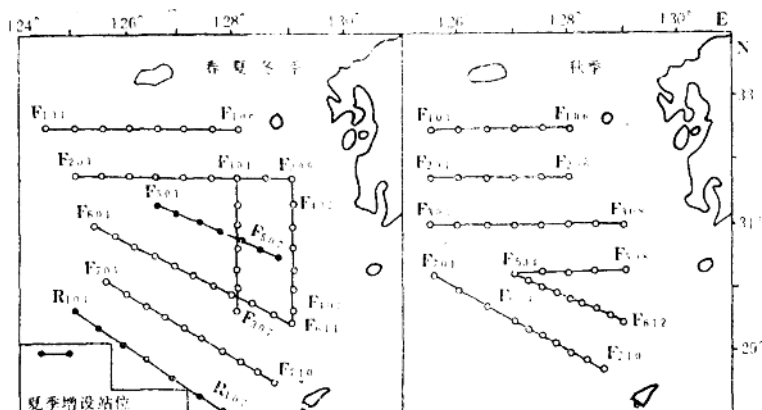


图1 调查断面及站位分布

二、环流特征

文献[7]根据1981年6月~1982年4月在 $28^{\circ}30' \sim 35^{\circ}N$, $122^{\circ}30' \sim 128^{\circ}30'E$ 进行四个航次的调查资料分析,认为对马暖流在 $30^{\circ}N$ 附近已形成具有地转流性质的相当稳定的流动。文献[5]指出,该海域重力势图与实测流结果比较一致。因此,本文采用重力势图与浮标测流结果来分析调查海域的环流特征。

(一) 地转流特征

表层相对 $500 \times 10^4 Pa$ 的重力势分布(图2)表明,四个航次在九州岛西南约100m等深线以西海域均有气旋式涡旋存在。胡敦欣^[8]利用1972年的调查资料曾证实这种现象存在。在100m等深线东侧均有北向流存在,这就是对马暖流。夏、春季航次环流的总趋势是自西南向东北或自西向东然后转北,这种流动趋势反映了东海陆架水向黑潮汇入;冬、秋季航次自西向东的流动不明显,环流的总趋势是自西南向东北大致沿等深线流动。从表1可见,九州西侧海域跨度最大的 F_2 断面($31^{\circ}45'N$)上,对马暖流表层最大流速在 $9.6 \sim 30.1 cm/s$ 之间,夏季航次流速最大,冬季航次流速最小。根据 F_2 断面上的地转流计算,夏、冬、春三个航次对马暖流主轴在 $127^{\circ}30' \sim 129^{\circ}00'E$ 之间摆动。夏季航次流轴偏东,在200m等深线东侧;冬、春季航次在200m等深线西侧。秋季航次 F_2 断面缺少 $128^{\circ}E$ 以东资料,根据该季向东布设测站最远的 F_3 断面上的地转流计算,对马暖流表层最大流速出现于200m等深线西侧约 $127^{\circ}30' \sim 128^{\circ}00'E$ 之间区域。文献[7]分析九州西侧海域 $31^{\circ}N$ 断面上四个航次的调查资料指出,其中三个航次对马暖流主轴在250m等深线附近,一个航次在200m等深线西侧 $127^{\circ}00' \sim 128^{\circ}00'E$ 之间。可见,在九州西侧海域 $31^{\circ} \sim 31^{\circ}45'N$ 区域对马暖流主轴是在200m等深线附近 $127^{\circ}00' \sim 129^{\circ}00'E$ 之间摆动。

(二) 浮标测流结果

近年来,日本学者为了研究九州西侧海域的流况,曾设置了一些锚系测流浮标,但都在水深大于500m的陆架外侧,海流仪布设在200m以深。显然,这难以测到对马暖流。中、日

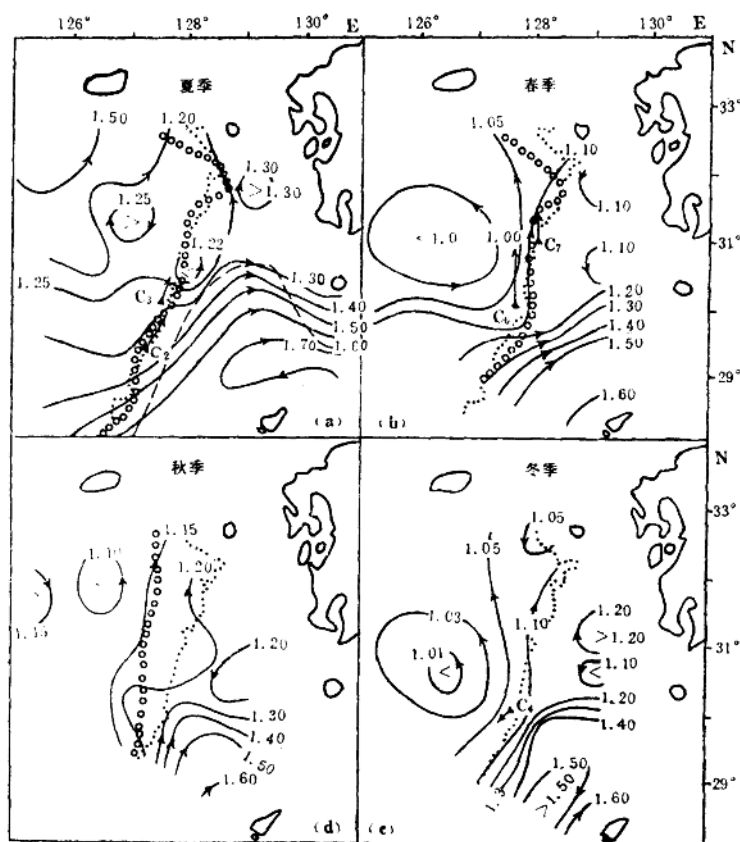


图2 表层相对 500×10^4 Pa 的重力势(m^2/s^2)分布

表1 F_2 断面最大北向流速值及出现位置

季 节	夏	冬	春	秋
位 置	$F_{208} \sim F_{209}$	$F_{207} \sim F_{208}$	$F_{206} \sim F_{207}$	$F_{305} \sim F_{306}$
流速 (cm/s)	30.1	9.6	16.9	11.9

黑潮合作调查期间,在1987年夏季~1988年秋季的4个航次中,我们在对马暖流源区200m等深线附近海域布放了四套浮标(秋季丢失),获得了三组海流资料(各季余流分别如图2中箭头所示)。

1987年夏季航次,台风活动频繁,受其影响,余流也往往有相应的响应(图3),但 C_2 和 C_3 两浮标站90m以浅平均余流仍然为NNE方向,平均流速为9.4~15.2 cm/s(参见表2)。 C_2 和 C_3 站底层余流与等深线垂直且方向相反。与此对应,在100m层的温度分布图(图4)上,该浮标站附近等温线走向亦出现离岸和向岸的趋势。

1987年12月~1988年1月冬季航次,偏北风控制了个海域,它与北上流之间的剪切作

表2 实测余流统计

站号	层次 (m)	流向 (°)	流速 (cm/s)	平均		资料数 (d)
				流向(°)	流速(cm/s)	
C ₂	20	38	22.1			18
	50	23	12.6	26	15.2	
	90	16	10.9			
	125	125	3.5	125	3.5	
C ₃	20	27	6.9			20.7
	50	0	10.4	12	9.4	
	90	10	10.9			
	135	313	4.0	313	4.0	
C ₆	20	9	24.8			18
	50	350	16.6	4	18.5	
	80	359	14.1			
	118	350	10.6	350	10.6	9
C ₇	20	11	31.9			18
	50	8	20.4	8	23.0	
	90	5	16.7			
	145	358	4.6	358	4.6	
C ₄	20	225	6.0			30
	55	225	4.9	225	5.5	

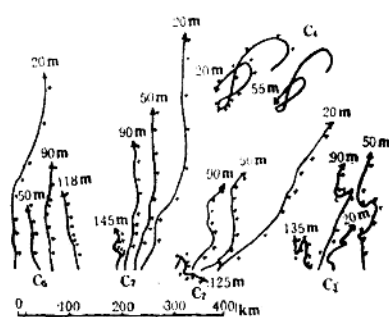
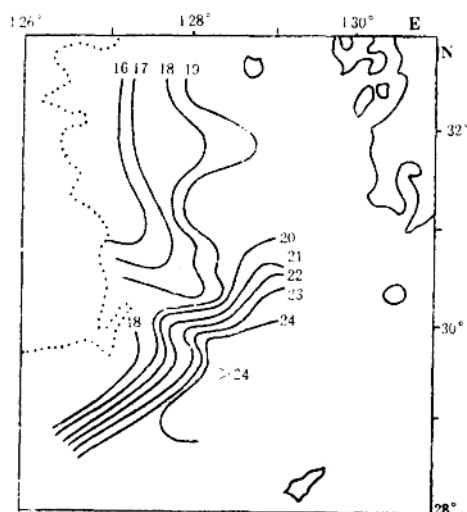
图3 海流矢量前进图
(C₆站90m应为80m)

图4 1987年夏季100m层温度(°C)分布

用助长了涡旋的发展,因此,余流比较复杂,C₄站余流矢量前进图(图3)呈旋转型,平均余流较弱,方向西南。

1988年春季航次,根据地转流计算,黑潮在 30°N 以南向东转折,在 30°N 以北的 C_6 和 C_7 两浮标站仍测得稳定的NNE向流(图3),90m以浅的平均余流流速为 $18.5\sim 23.0\text{ cm/s}$ 。

总之,实测流资料证实了夏、春季在九州西侧海域 $29^{\circ}20'\sim 31^{\circ}00'\text{N}$ 之间的陆架边缘有明显的北向流出现。

三、对马暖流水的来源

上述地转流表明,调查期间四个航次在九州西侧海域均有北向流存在。夏、春季在200m等深线附近 $29^{\circ}20'\sim 31^{\circ}00'\text{N}$ 海域测到比较稳定的北向流。下面我们从温、盐结构特点来探讨对马暖流水的来源。

黑潮盐度结构的一个突出特点是其次表层是一个高盐层。在夏季历次观测中,盐度断面分布(图5a)的特点是大于34.7和大于34.8的高盐核呈半封闭的弧形,开口朝向外海。根据地转流计算,大于34.8的黑潮次表层高盐核位于黑潮主轴的右侧。因此,跟踪黑潮次表层高盐核就可以推断黑潮主轴的位置。图2a中虚线表示大于34.8的黑潮次表层高盐核向西达到的最远位置,称之为34.8黑潮次表层高盐核西边缘线,深度起伏于100~120m附近,此线与黑潮流路是一致的。夏季,东海陆架区盐度在34.6以下(见文献[9]的图7、图9)。用同样方法绘出34.7黑潮次表层高盐核西边缘线,它应与黑潮主轴西侧流路相吻合。图2a中粗点线所示的34.7黑潮次表层高盐核西边缘线大致沿200m等深线向北延伸到 F_1 断面。因为缺少同期的北部资料,在 F_1 断面以北海域可否跟踪到黑潮次表层高盐核尚不清楚。但根据南朝

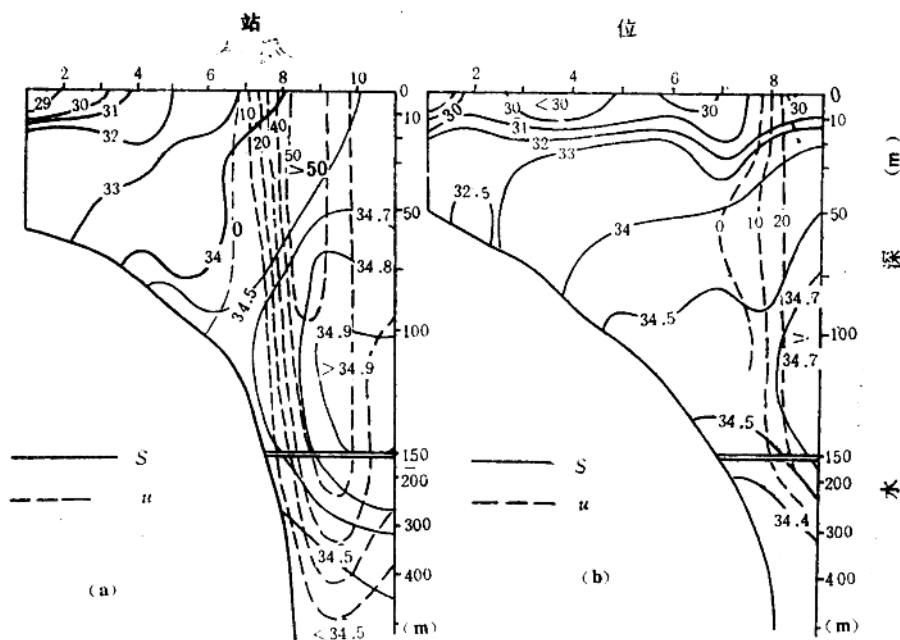


图5 夏季 F_6 (a), F_2 (b)断面盐度和流速(cm/s)分布

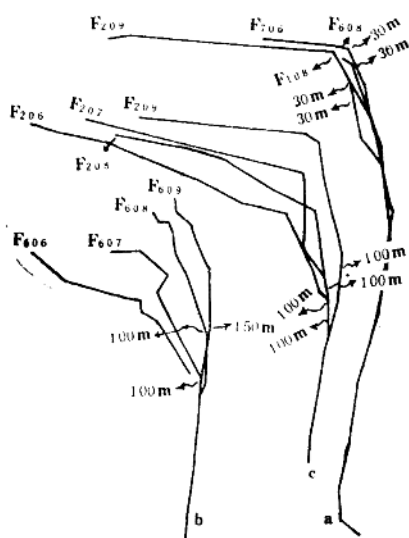


图6 夏季代表站的T-S曲线

由图6b给出的黑潮主流及其东、西两侧水体的T-S曲线可见,代表黑潮主流西侧的 F_{608} 站在100m以深大致与代表黑潮主流的 F_{606} 站150m以深的T-S曲线相吻合,这是由于陆架边缘下层温度较低的黑潮水涌升所致;而100m以浅,其T-S曲线介于陆架上的海水(F_{606} 站及 F_{607} 站)与黑潮水之间。因此,沿黑潮主流西侧陆架边缘北上的水体在100m以深是黑潮水,在100m以浅是黑潮水与陆架上的海水的混合水(以下称该混合水为黑潮变性水)。图6c表明,对马暖流主流西侧的 F_{208} , F_{207} , F_{206} 站的T-S曲线在100m以深与 F_{209} 站相吻合,这就是说,这些站在100m以深与 F_{209} 站一样被黑潮水占据。这里还需要说明,夏季东海南部陆架上的海水(以下称东海南部陆架水)向其东侧的黑潮区汇聚,并逐渐转向东北方向流动(见文献[9]的图2)。因此,这里并不排除部分东海南部陆架水与东海陆架边缘黑潮变性水并行沿等深线向北流动。

夏季,不断变性的长江冲淡水 and 黄海沿岸水(以下统称东海北部表层混合水)向东扩展,与上述北上的东海南部陆架水及东海陆架边缘黑潮变性水汇合北上(见图2a和图7),成为对马暖流上层水的来源。东海北部表层混合水向东扩展势力的强弱与长江径流量的多寡有关,在长江径流量较小的年份,盐度低于32.0的低盐区仅在 127°E 以西海域,而在长江径流量较大的年份可达 128°E 以东海域^[6]。本次调查期间低盐水向东扩展较远(图7),对马暖流主轴大致沿盐度锋(31.0~33.0等盐线之间)向北流动。另外,文献[11]根据卫星图片分析,认为冬季至夏初黑潮还以暖丝形式向对马暖流源区提供暖性水。

综上所述,我们认为夏季对马暖流水具有明显的三层结构,其上层水(约30m以浅)是由东海北部表层混合水、东海南部陆架水和黑潮变性水汇聚而成;中层水由后两者提供;100m以深则来源于黑潮水。图8为夏季对马暖流水来源模式图。

春季与夏季情况类似,如同夏、春季地转流场所反映的一样,西部陆架上的海水向东流动,约在 30°N , 128°E 附近与黑潮主流西侧的海水汇合,并一起向北流动。该北向流已被

鲜的调查资料,某些年份在济州岛以东100m层仍有大于34.7的高盐区。由此推断,黑潮主轴在九州西南方海域向东转折入吐噶喇海峡,其主轴西侧部分水体继续沿200m等深线向北流动,成为对马暖流水的来源之一。横贯黑潮主轴的 F_0 断面和黑潮向东转折处以北的 F_2 断面上的盐度和流速分布(图5)以及黑潮主轴西侧流路上的T-S曲线特征支持了上述看法。 F_2 断面东侧对马暖流主轴区盐度的分层结构与黑潮水盐度的分层结构一致。九州西侧海域对马暖流主轴区的 F_{208} 站和 F_{209} 站的T-S曲线除30m以浅受西部低盐水影响盐度较低外,30m以深与黑潮主轴西侧的 F_{708} 站和 F_{608} 站相当吻合(图6a)。根据位涡守恒原理,地转流是沿等深线运动的,而东海陆架边缘等深线自南沿九州西侧海域向北延伸,因而上述流动是可能的。

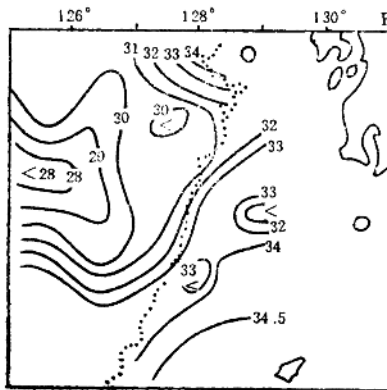


图7 夏季表层盐度分布

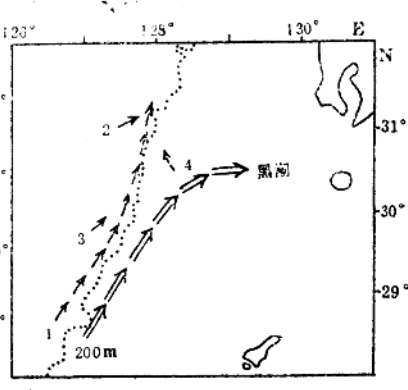


图8 夏季对马暖流水源模式图

浮标测流资料所证实。夏季,我们曾根据跟踪黑潮次表层高盐核和T-S曲线分析,得出黑潮在九州西南方海域向东转折入吐噶喇海峡,其主轴西侧海水继续沿约200m等深线向北流动。春季是否也存在这种情况呢?下面我们从温、盐分布特征来分析。春季,江河径流减少,西部沿岸低盐水向东扩展势力较夏季明显减弱。本次调查期间在 30°N , 126°E 附近有一个向东北方向延伸的低盐水舌(图9),这可能是由于长江径流量减少,低盐水向东南扩展受到南部陆架上东北向流的顶托和携带作用所致。对比表层相对 $500 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的重力势分布(图2b)可知,低盐水舌的西北部有气旋式涡旋存在,它对对马暖流不会有更大贡献。低盐水舌的东南侧,盐度锋先沿200m等深线向东北延伸,在 30°N , 128°E 附近的黑潮转折处,除少量低盐水被黑潮左侧涡旋卷入东去之外,大多并没有随黑潮东去,而是继续沿等深线向东北方向扩展,并在200m等深线附近形成盐度锋。表层温度锋(图10)的走向与盐度锋极为一致。从表层盐度和表层温度分布均可以看到锋区的盐度、温度等值线在 30°N , 128°E 附近分叉,一部分折向东,一部分约沿200m等深线向东北。这些现象说明,夏季关于黑潮主轴向东转折入吐噶喇海峡,其主轴西侧海水继续沿约200m等深线向北流动的结论在春季也是成立的。同时,春季航次在黑潮转折处以北也可以跟踪到黑潮次表层高盐核。从 F_0 断面盐度和流速分布(图11a)可以看出,在黑潮向东转折处($F_{000} \sim F_{000}$ 站附近),其主轴西侧的上、中层混合水下沉,下沉深度达及150m,下沉的海水汇入流速大于50 cm/s的黑潮主轴区。黑潮主轴和次表层高盐核均较夏季东移。九州西侧的 F_2 断面上未出现大于34.7的黑潮次表层高盐核,但仍有大于34.6的高盐核存在(图11b),其西边缘线大致沿200m等深线向北延伸到 F_2 断面(如图2b中粗点线所示)。

从 F_0 断面盐度和流速分布可以看出,黑潮主轴西侧的中、上层显然是混合水。但由于混合水下沉及其西侧的黑潮水涌升使这里的海水混合变得十分复杂,其下层基本上被黑潮水占据。在 F_2 断面上,对马暖流主轴位于200m等深线西侧的 $F_{205} \sim F_{207}$ 站之间,与夏季相比,对马暖流主轴偏西,这可能与东海北部表层混合水向东扩展势力减弱有关。总的看来,春季情况与夏季类似,春季对马暖流的来源与夏季大致相同。

冬季,根据图2c所示的重力势分布,在100~200m等深线之间区域有北向流存在,然