

中国海洋学文集

OCEANOGRAPHY IN CHINA

12

西北太平洋副热带环流研究（二）

国家海洋局科学技术司 编



海洋出版社

中国海洋学文集

12

西北太平洋副热带环流研究(二)

国家海洋局科学技术司 编

海洋出版社

2000年·北京

内 容 简 介

本文集刊登 22 篇论文. 这些论文是“中日副热带环流合作调查研究”中方第二批研究成果. 采用资料来自于 1997 年 7 月及 12 月由国家海洋局南海分局“向阳红 14”号调查船的两个航次, 青岛海洋大学“东方红”号调查船 1997 年 7 月调查航次, 以及日方的调查资料. 本文集主要反映内容为: (1) 黑潮源区的水文结构、海流与涡的特征和变异及其与东海黑潮的关系; (2) 副热带逆流特性及其变异; (3) 琉球群岛以东海流及其两侧的水交换; (4) 调查海区海气热交换分析、热通量特征和 CO_2 对 El Niño 事件的影响; (5) 水色遥感技术应用于叶绿素 a 浓度研究; (6) 副热带环流区浮游生物研究以及初级生产力的评估等. 本文集内容丰富, 是反映我国对西北太平洋副热带环流研究的重要成果.

本文集对西北太平洋副热带环流及其邻近海域环流的深入了解及资源开发与利用等将起重要作用, 可供科研、教学等部门有关人员参考及图书馆收藏.

图书在版编目 (CIP) 数据

中国海洋学文集. 12/国家海洋局科技司编. —北京:

海洋出版社, 2000.8

ISBN 7-5027-5031-2

I. 中… II. 国… III. 海洋学-文集 IV. P7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 43761 号

责任编辑 齐济美

责任印制 刘志恒

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京四季青印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.5

字数: 345.6 千字 印数: 1~600 册

定价: 28.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《中国海洋学文集》编辑委员会

主 编：巢纪平

副主编：(以姓氏笔划为序)

刘光鼎 刘莉蕾 刘瑞玉

委 员：(以姓氏笔划为序)

丁德文 王 颖 王绍武 甘子钧 孙 孚 朱明远 许振祖 杜碧兰
汪品先 李培泉 苏纪兰 张仁和 张学成 张道平 陈隆勋 余宙文
金翔龙 相建海 侯文峰 秦蕴珊 秦曾灏 袁业立 徐 洵 黄宗国
黄奕普 韩慕康 韩舞鹰

苏纪兰、袁耀初等负责组织编写本文集的工作

前 言

“中日副热带环流合作调查研究”(1995~1998年)是继“中日黑潮合作调查研究”(1986~1992年)之后的又一个大型中日海洋合作项目。通过“中日黑潮合作调查研究”,对东海及日本以南黑潮系统及其变异,以及这些变异对我国近海环境及气候变化的影响均加深了认识,但是,要完整地了解黑潮系统对我国近海海洋环境及气候的影响,必须扩大研究海区至黑潮及副热带逆流的源头,以了解黑潮源地诸流系的变异以及它们如何影响到中纬度海区。基于这个认识,中日双方于1995年开始进行为期4年的“西北太平洋副热带环流合作调查研究”。

这次合作调查研究的内容包括五个方面:黑潮源区的水文结构、海流特征和变异及其与东海黑潮的关系;副热带逆流特性及其变异;琉球群岛以东的西边界流及其两侧的水交换;东海黑潮水与陆架水的交换;调查区域海洋-大气系统变异及其对东亚气候的影响;副热带环流区浮游生物的输送机制、叶绿素a和初级生产力的评估,以及诸生源要素与海洋环境的相关性研究等。合作调查研究的主要海域为吕宋岛与台湾岛以东,130°E以西海区,以及琉球群岛两侧海域。合作方式与“中日黑潮合作调查研究”相同,即双方各派调查船进行调查、互派科学家上对方船参加合作调查、互派科学家到对方研究室从事合作研究、定期召开学术研讨会等。中方参加单位有国家海洋局及其所属三个海洋研究所、海洋环境预报研究中心、海洋信息中心等,以及青岛海洋大学。

在前2年的合作中,国家海洋局南海分局“向阳红14”号调查船分别在1995年10月及1996年5~6月进行了两个航次调查研究。通过对这两个航次调查资料及日方的调查资料的分析,取得了“中日副热带环流合作调查研究”的我国首批成果《中国海洋学文集11》。在后2年的合作中,国家海洋局南海分局“向阳红14”号调查船分别在1997年7月及12月进行了两个航次调查研究,以及青岛海洋大学“东方红”调查船在1997年7月进行了一个航次调查研究。通过对1997年三个航次调查资料及日方调查资料的分析,取得了“中日副热带环流合作调查研究”的我国第二批成果,并于1998年9月在杭州召开中日副热带环流国内第二次学术讨论会。会上决定出版讨论会的论文集,并与《中国海洋学文集11》相同的出版程序,最后形成了这本文集,共有22篇论文,其中物理海洋学(包括海洋气象)共13篇、水色遥感技术应用1篇、海洋生物共8篇。

最后,谨对“向阳红14”号及“东方红”两艘调查船船长和船员们以及所有科研人员,在这些调查航次中所作出的贡献,深表感谢。

国家海洋局科学技术司

司长 倪岳峰

1999年12月

中国海洋学文集

12

目 次

1997 年夏季台湾岛以东与东海黑潮	袁耀初 刘勇刚 苏纪兰 金子新 蒋松年	1
1997 年冬季台湾岛以东与东海黑潮	袁耀初 刘勇刚 苏纪兰 金子新	11
1997 年夏季台湾岛以东黑潮及其附近海域水文特征		
.....	于洪华 袁耀初 苏纪兰 苗育田 沈雪龙	21
1997 年冬季台湾岛以东黑潮及其附近海域水文特征		
.....	于洪华 袁耀初 苏纪兰 苗育田 沈雪龙	30
1993 年夏季至 1994 年初夏琉球群岛东南海域的海流		
.....	刘勇刚 袁耀初 山本浩文	37
1997 年琉球群岛以东海流的季节变化	刘勇刚 袁耀初 志贺达 椿修二 今井正直	46
1997 年 7 月台湾岛以东环流的三维诊断、半诊断和预报计算		
.....	袁耀初 王惠群 刘勇刚 苏纪兰 金子新	56
1997 年 12 月台湾岛以东海流的三维数模计算	王惠群 袁耀初 苏纪兰 刘勇刚	68
台湾岛以东海域温、盐度逆转现象的分析	沈雪龙 袁耀初 于洪华	80
1997 年夏、冬季北太平洋副热带西部海域流场特征	林 葵 郭炳火 熊学军	91
副热带环流源区冬季海气热交换的初步研究	丁良模 葛人峰	100
西北太平洋副热带环流海域热通量特征	周明煜 钱粉兰 李诗明 陈 陟	106
西太平洋副热带区海水中 CO ₂ 对 El Niño 事件的响应	邢如楠 马黎明 乔 然	112
副热带环流海区叶绿素 a 浓度反演模式的研究		
.....	潘德炉 毛天明 尹中林 Kiyoshi Kawasaki	123
台湾岛东部和南部海域浮游动物的丰度和多样性研究		
.....	陈瑞祥 林景宏 戴燕玉 林 茂	135
副热带环流区叶绿素 a 分布和理化过程的变异	陈兴群 余汉生 李国庭 陈其焕	144

台湾岛以东副热带环流区夏、冬季初级生产力和季节变化 陈兴群 李国庭 余汉生 陈其焕 151

琉球群岛及其邻近海域的浮游硅藻——1997 年夏季的种类组成和丰度分布 孙 军 刘东艳 钱树本 158

琉球群岛及其邻近海域的浮游甲藻——1997 年夏季的种类组成和丰度分布 刘东艳 孙 军 钱树本 170

琉球群岛邻近水域叶绿素 a 分布与水团和跃层的相关性 柴心玉 孙 军 刘东艳 钱树本 183

台湾岛东部副热带环流区冬季浮游动物的分布 林景宏 林 茂 戴燕玉 陈瑞祥 広田祐一 石田実 195

台湾岛东部和南部浮游动物的生态特点 戴燕玉 陈瑞祥 林景宏 林 茂 広田祐一 石田実 201

OCEANOGRAPHY IN CHINA

12

CONTENTS

The Kuroshio East of Taiwan Island and in the East China Sea during the Summer of 1997 <i>Yuan Yaochu , Liu Yonggang , Su Jilan , Kaneko Arata and Jiang Songnian</i>	9
The Kuroshio East of Taiwan Island and in the East China Sea in the Winter of 1997 <i>Yuan Yaochu , Liu Yonggang , Su Jilan and Kaneko Arata</i>	19
Hydrographic Characteristics of the Kuroshio East of Taiwan Island and Its Adjacent Regions during the Summer of 1997 <i>Yu Honghua , Yuan Yaochu , Su Jilan , Miao Yutian and Shen Xuelong</i>	29
Hydrographic Characteristics of the Kuroshio East of Taiwan Island and Its Adjacent Regions during the Winter of 1997..... <i>Yu Honghua , Yuan Yaochu , Su Jilan , Miao Yutian and Shen Xuelong</i>	36
Currents Southeast off the Ryūkyū - guntō from the Summer of 1993 to the Early Summer of 1994 <i>Liu Yonggang , Yuan Yaochu and Yamamoto Hirofumi</i>	44
Seasonal Variations of the Currents East of the Ryūkyū-guntō during 1997 <i>Liu Yonggang , Yuan Yaochu , Shiga Tatsushi , Tsubaki Shuji and Imai Masanao</i>	55
Three - dimensional Diagnostic , Semidiagnostic and Prognostic Calculations of Circulation East of Taiwan Island during July 1997..... <i>Yuan Yaochu , Wang Huiqun , Liu Yonggang , Su Jilan and Kaneko Arata</i>	66
Three - dimensional Numerical Calculations of the Currents East of Taiwan Island in December 1997 <i>Wang Huiqun , Yuan Yaochu , Su Jilan and Liu Yonggang</i>	79
Study on Temperature and Salinity Inversion Phenomena in the Sea Area East of Taiwan Island..... <i>Shen Xuelong , Yuan Yaochu and Yu Honghua</i>	89
Characteristics of Current Field in the Western North Pacific Subtropical Area in the Sum- mer and Winter of 1997..... <i>Lin Kui , Guo Binghuo and Xiong Xuejun</i>	99

Preliminary Study on Air-sea Heat Exchange in the Subtropical Circulation Origin Region during the Winter.....	<i>Ding Liangmo and Ge Renfeng</i>	105
Characteristics of Heat Fluxes on the Subtropical Circle Ocean Area over the Northwestern Pacific.....	<i>Zhou Mingyu , Qian Fenlan , Li Shiming and Chen Zhi</i>	111
Responses of CO ₂ in Surface Water in Subtropical Western Pacific to El Niño Event	<i>Xing Runan , Ma Liming and Qiao Ran</i>	121
A Primary Study on SeaWiFS Chlorophyll a Algorithm in Subtropic Circulation Zone.....	<i>Pan Delu , Mao Tianming , Yin Zhonglin and Kiyoshi Kawasaki</i>	134
A Study on the Richness and Diversity of Zooplankton in Sea Waters South and East of Taiwan Island	<i>Chen Ruixiang , Lin Jinghong , Dai Yanyu and Lin Mao</i>	143
Distribution of Chlorophyll a and Physical-chemical Process in the Subtropical Circulation System.....	<i>Chen Xingqun , Yu Hansheng , Li Guoting and Chen Qihuan</i>	150
Primary Production in Summer and Winter and Its Seasonal Variation in the Subtropical Circulation System.....	<i>Chen Xingqun , Li Guoting , Yu Hansheng and Chen Qihuan</i>	157
Planktonic Diatoms in Ryūkyū-guntō and Its Adjacent Waters——Species Composition and Their Abundance Distribution in the Summer of 1997.....	<i>Sun Jun , Liu Dongyan and Qian Shuben</i>	165
Planktonic Dinoflagellates in Ryūkyū-guntō and Its Adjacent Waters——Species Composition and Their Abundance Distribution in the Summer of 1997.....	<i>Liu Dongyan , Sun Jun and Qian Shuben</i>	178
The Distribution of Chlorophyll a and Its Correlation with Water Mass and Spring Layer in the Areas Adjacent to the Ryūkyū-guntō.....	<i>Chai Xinyu , Sun Jun , Liu Dongyan and Qian Shuben</i>	194
Distribution of Zooplankton in the Subtropical Circulation System East of Taiwan Island in Winter.....	<i>Lin Jinghong , Lin Mao , Dai Yanyu , Chen Ruixiang , Hirota Yuichi and Ishida Minoru</i>	200
Ecological Characteristics on Zooplankton in the Subtropical Circulation System.....	<i>Dai Yanyu , Chen Ruixiang , Lin Jinghong , Lin Mao , Hirota Yuichi and Ishida Minoru</i>	208

1997年夏季台湾岛以东与东海黑潮^{*}

袁耀初 刘勇刚 苏纪兰

(国家海洋局第二海洋研究所; 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 杭州 310012)

金子新

蒋松年

(日本广岛大学工学部, 东广岛市 739)

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘 要 基于1997年7月“中日副热带环流合作调查”航次获得的CTD及ADCP测流资料, 以及1997年7月日本“长风丸”号调查船在东海获得的CTD资料, 采用改进逆方法分别对台湾岛以东黑潮和涡分布及其特征以及东海黑潮进行了计算, 获得的主要结果为: (1) 黑潮通过台湾岛东南断面 K_2 时, 位于 123°E 以西, 其净北向流量约为 $37.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 与1985年5月、1995年10月以及1996年5~6月三个航次黑潮通过断面 K_2 的流量相比, 流量减小, 最大流速也减小, 位置也要偏西, 表明在1997年夏季的强El Niño期间, 黑潮的强度及流量在台湾岛东南海域都减小了; (2) 在台湾岛以东黑潮的右侧存在一个反气旋式暖涡, 暖涡的中心约位于断面 K_3 的 $22^\circ 20' \text{N}$, 123°E 处, 而该反气旋式暖涡的东侧存在一支南向流; (3) 在南向流以东以及计算海域东南分别存在冷涡 C_1 及冷涡 C_2 ; (4) 在1997年7月期间台湾岛以东黑潮没有一个东分支流向琉球群岛以东海域, 这个流型与1995年10月及1996年5月两航次时流型甚不相同; (5) 在宫古岛以南、冲绳岛东南与上述冷涡 C_1 之间的区域, 存在一个反气旋式再生环流; (6) 在1997年7月通过在东海PN断面的流量约为 $23.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. 这些计算结果与ADCP测流结果甚为一致.

关键词 夏季台湾岛以东及东海黑潮 强El Niño 气旋及反气旋涡

1 引言

关于台湾岛以东黑潮的研究工作, 我们已在文献[1~3]作了叙述, 在此不再评述, 需要指出在台湾岛以东黑潮有两种不同流态, 一种如1985年初夏时台湾岛以东黑潮并无黑潮的分支流向琉球群岛以东海域^[1], 另一种如1995年秋季及1996年初夏时台湾岛以东黑潮有一个东分支流向琉球群岛以东海域, 成为琉球群岛以东西边界流的一个来源^[2,3], 并已被ADCP实测流所证实^[3]. Yuan等^[2,3]进一步指出, 上述两种不同的黑潮流态与台湾岛以东海域气旋式涡及反气旋式涡的位置、尺度大小、强度以及它们的相对位置紧密相关.

本文采用了Yuan等^[4]提出的改进逆方法, 利用1997年7月“向阳红14”号调查船执行“中日副热带环流合作调查”航次获得的CTD及ADCP测流资料, 以及1997年7月日本长崎气象台“长风丸”号调查船获得的CTD资料, 分别对台湾岛以东海域环流及东海环流进行

^{*} 国家自然科学基金资助项目(编号:49736200及49776287);国家重点基础研究发展规划资助项目(编号:G1999043802).

第一作者简介:袁耀初,男,61岁,研究员,博士生导师,从事海流动力学等研究.

了计算. 我们将进一步讨论 1997 年夏季台湾岛以东黑潮及涡的分布及其特性, 以及东海黑潮的流的特性等. 特别注意到 1997 年是强的 El Niño 年, 我们将比较 1997 年夏季航次与以前的几个航次在台湾岛以东海域环流及东海环流的变异.

2 资料及数值计算

本文采用 Yuan 等^[4]提出的改进逆方法计算台湾岛以东海域及东海 (图 1) 环流、流函数及流量. CTD 资料分别来自两个航次, 即 1997 年 7 月“向阳红 14”号调查船执行“中日副热带环流合作调查”航次 (以下简称为区域 1) 以及 1997 年 7 月日本长崎气象台“长风丸”号调查船在东海执行的航次 (以下简称为区域 2). 由图 1 可知, 在台湾岛以东及琉球群岛东南海域有七个计算单元 (boxes), 而东海仅一个计算单元, 每个计算单元分层等皆与文献 [2, 3] 相同, 在此不再重复.

计算中采用了以下计算参数. 本航次风场资料来自“向阳红 14”号调查船上观测, 在此期间, 平均风速与风向分别为 4.3 m/s 与 152°. 由于缺乏详细的精确风场, 假定风场是定常、均匀的, 并分别为上述的平均风向和风速. 设 q_{e1} 与 q_{e2} 分别为计算海区海面热通量多年每月平均的最小与最大值, 在区域 1 (q_{e1}, q_{e2}) 的值分别取为 (-1.05, 0.21) [单位为 $10^3 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$], $q_{e1} < 0$, 为热量从大气传递到海洋; 在区域 2 (q_{e1}, q_{e2}) 的值分别取为 (-2.09, -0.21), $q_{e1} < 0, q_{e2} < 0$, 为热量从大气传递到海洋. 按照 Yuan 等^[4]的研究, 垂直涡动粘滞系数 A_z 和垂直涡动扩散系数 K_v 分

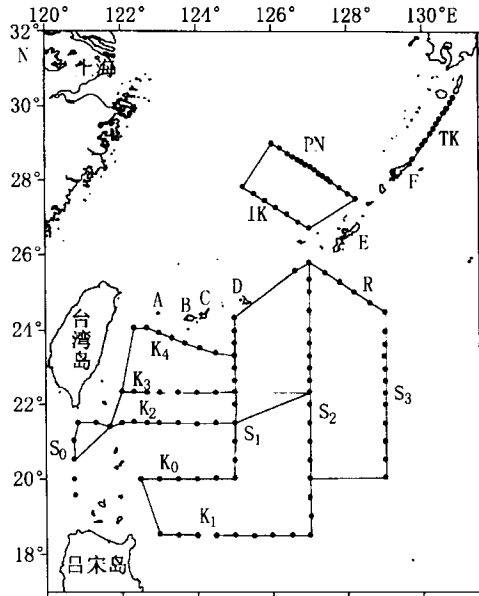


图 1 台湾岛以东、琉球群岛东南海域以及东海的水文站、断面以及计算单元
A. 与那国岛, B. 西表岛, C. 石垣岛,
D. 宫古岛, E. 冲绳岛, F. 奄美大岛

别取为 100 和 $10 \text{ cm}^2/\text{s}$.

我们采用 Fiadeiro 和 Veronis 方法^[5]选择最佳参考面, 按照他们的方法确定最佳参考面如下: 在区域 1, 最佳参考面 Z_0 取 2 200 m, 即当水深大于 2 200 m 时取 $Z_0 = 2 200 \text{ m}$, 而当水深小于或等于 2 200 m, 取当地水深; 在区域 2, 当水深大于 700 m 时, 最佳参考面 Z_0 取 700 m, 当水深不大于 700 m 时, Z_0 取当地水深.

3 台湾岛以东海域海流的主要特性

主要讨论台湾岛及吕宋岛以东海域断面 K_1, K_2, K_3, K_4, S_1 以及冲绳岛东南断面 R 的流速分布 (各断面位置见图 1), 以了解 1997 年 7 月台湾岛以东黑潮的流速结构及涡等的主要特性.

3.1 断面 K_1

断面 K_1 位于吕宋岛以东海域 (图 1). 图 2 表示断面 K_1 的流速分布. 由图 1 及 2 可知, 黑潮主流位于断面 K_1 以西海域, 北向流分别位于计算点 1, 2, 4, 7 和 8, 其中在计算点 2 较大的北向流速值为 40 cm/s, 在 100 m 水层附近, 在计算点 8 较大的北向流速值为 75 cm/s,

位于表层处,而在计算点 4,流速值较小.在计算点 3,5,6,出现南向流,南向流在计算点 5 的流速较大,最大流速值为 74 cm/s,位于表层.上述流速分布与 ADCP 测流结果(见图 10a, b)大致上一致.

3.2 断面 K_2

断面 K_2 位于台湾岛南部以东海域(见图 1).图 3 表示断面 K_2 的流速分布.由图 3 可知黑潮在断面 K_2 有两个核心:黑潮主流位于断面 K_2 的西侧,即计算点 1 和 2,其最大流速值为 112 cm/s,位于表层.与其他航次黑潮主流在断面 K_2 处最大流速值 $u_{\max}$ 比较,例如在 1995 年 10 月及 1996 年 5 月在 K_2 断面处 $u_{\max}$ 分别为 257 及 196 cm/s^[2,3],可知在 1997 年 El Niño 期间黑潮在 K_2 断面流速值明显减小;黑潮的第二个核心位于计算点 4,5,其最大流速值为 49 cm/s,位于计算点 4 的表层.南向流分别出现在计算点 3 自表层至 800 m,计算点 6 的 75 m 以上层,计算点 7 的 50 m 以下层,计算点 8,9 以及计算点 10 的 100 m 以上层,南向流的值并不大,最大值出现在计算点 9 的 100 m 处,其值为 40 cm/s.其次,黑潮以下也出现南向流,在不同计算点,黑潮的位置有所不同,例如在计算点 1 和 2 黑潮分别位于 1 400 m 以上以及 1 800 m 以上水层.

比较上述计算流速分布和 ADCP 测流的结果(见图 10a, b),注意图 10a, b 中,在断面 K_2 上 ADCP 测流只在 122° E 以东,即在计算点 4 及其以东的站进行了 ADCP 测流,因此,我们只能比较在计算点 4 及其以东的计算点上两者的结果,由图 3 及 10a, b 可知,两者在定性上是一致的.

3.3 断面 K_3 及 K_4

断面 K_3 位于台湾岛以东、断面 K_2 以北海域.图 4a 表示断面 K_3 上流速分布.由图 1 及图 4a 可知,黑潮主流位于断面 K_3 以西海域,部分黑潮通过断面 K_3 的西部分,即计算点 1,2 及 3,即由于 K_3 断面未能靠岸,计算得到的黑潮仅是其主流的东侧部分,其西侧部分未能显现,以下 K_4 断面也类似.黑潮在 K_3 断面的最大流速为 81 cm/s,位于计算点 3 的表层.黑潮以下,同样有南向逆流,在计算点 4,5 及 6 有南向流,南向流速在表层不小于 50 cm/s.由以下 ADCP 测流(见图 10)、温度分布(见图 9)以及流函数分布(见图 8)可知,部分北向流及部分南海流都是反气旋式涡的组成部分.比较上述计算的流速分布和 ADCP 测流的结果(见图 10)可知,它们在定性上是一致的.

断面 K_4 位于断面 K_3 以北,图 4b 表示断面 K_4 上流速分布.由图 4b 知,黑潮通过断面 K_4 的西部分,即计算点 1,2 及 3,它的最大流速值为 117 cm/s,在计算点 1 的表层.在计算点 4,5,6 及 7 都出现南向流,最大流速值为 48 cm/s,在计算点 5 的表层.与断面 K_3 相似,

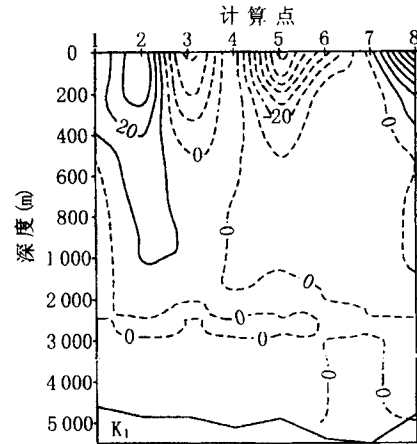


图 2 1997 年 7 月断面 K_1 的流速 (cm/s) 分布
正为北向流

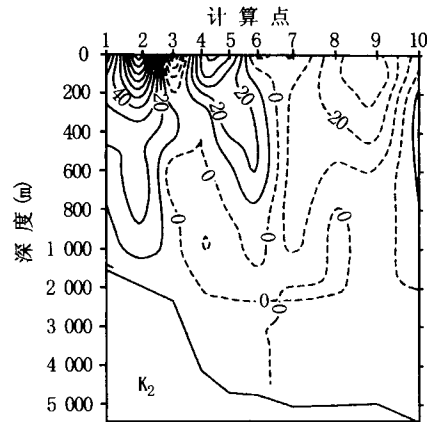


图 3 1997 年 7 月断面 K_2 的流速 (cm/s) 分布
正为北向流

由以下 ADCP 测流 (见图 10a, b)、温度分布 (见图 9) 及流函数分布 (见图 8a) 可知, 部分北向流及部分南向流都是反气旋式涡的组成部分. 比较上述流速分布和 ADCP 测流的结果 (见图 10a, b) 可知, 它们在定性上是一致的.

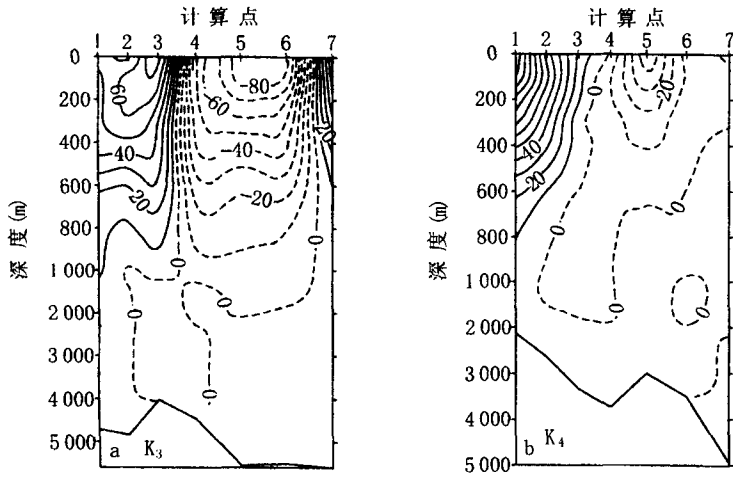


图 4 1997 年 7 月断面 K_3 (a) 和断面 K_4 (b) 的流速 (cm/s) 分布
正为北向流

3.4 断面 S_1 及 R

断面 S_1 位于 125°E 处 (见图 1). 图 5 表示断面 S_1 的流速分布. 由图 5 可知, 从计算点 1 到 5, 基本上被西向流所支配, 在计算点 4 西向流的流速值较大, 在表层至 150 m 处, 流速在 $35 \sim 40 \text{ cm/s}$ 变化, 最大流速值为 46 cm/s , 在 300 m 处. 在计算点 6~9 出现东向流, 流速不大, 最大流速为 24 cm/s , 位于计算点 7 的表层. 在计算点 10 和 11 又出现西向流, 最大流速值为 29 cm/s , 位于计算点 11 的 30 m 处. 上述的计算结果与 ADCP 测流 (见图 10) 比较, 在定性上基本一致.

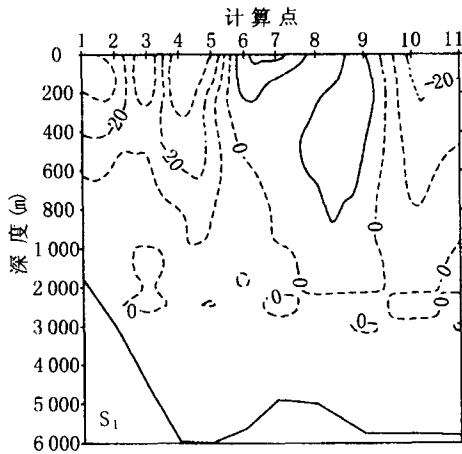


图 5 1997 年 7 月断面 S_1 的流速 (cm/s) 分布
正为东向流

断面 R 位于冲绳岛东南, 图 6 表示断面 R 上流速分布. 由图 6 可知, 在计算点 1, 计算点 2 的 100 m 以下及计算点 3 都有东北向流, 其核心位于计算点 1 的次表层 150~700 m 内, 最大流速值为 22 cm/s , 位于计算点 1 的 200 m 处, 这与我们以前的结果相类似 (见文献 [6]). 在计算点 4 与 5 出现西南向流. 由上述计算结果与 ADCP 测流比较可看出, 在定性上它们也基本一致.

4 东海黑潮

讨论在 1997 年 7 月东海断面 PN, IK 以及 TK 的流速分布, 以了解 1997 年 7 月航次东海黑潮的流速特性.

4.1 断面 PN

PN 断面是东海著名断面 (见图 1). 图 7a 表示 PN 断面上流速分布. 图 7a 表明黑潮在 1997 年 7 月 PN 断面上有两个核心: 一个主核心位于陆坡上, 即计算点 6 与 7, 最大流速为 141 cm/s, 在计算点 6 的表层; 第二个核心在计算点 9 和 10, 最大流速为 91 cm/s, 在计算点 9 的 125 m 处. 黑潮深度在不同计算点有不同位置, 约在 700~780 m. 黑潮以下存在逆流, 我们以前的研究也已指出过, 例如在文献 [7]. 黑潮以东, 即在计算点 11 和 12 的表层有南向流, 但在南向流以下又有北向流. 在计算点 13 和 14 也有北向流. 由上述结果与 ADCP 测流比较可看出, 在定性上它们是一致的 (见图 10c).

上节已指出, 在 1997 年 El Niño 期间, 在 K₂ 断面上黑潮流速明显减小, 但在东海黑潮, 与以前相比, 例如文献 [7, 8], 1997 年 7 月黑潮在 PN 断面流速并未明显减小, 即减小值不大. 由下节可知, 在此期间, 通过 PN 断面的流量也减小了.

4.2 断面 IK 及 TK

断面 IK 位于 PN 断面以南, 在冲绳岛以西海域. 图 7b 表示 IK 断面的流速分布. 图 7b 表明黑潮在 IK 断面只有一个核心, 位于计算点 4 和 5, 最大流速约为 122 cm/s, 在计算点 4 的表层层上. 黑潮在 IK 断面上最深的深度可达 1 000 m 左右. 黑潮以下也有南向逆流. 由上述结果与 ADCP 测流比较可看出, 在定性上它们是一致的 (见图 10c).

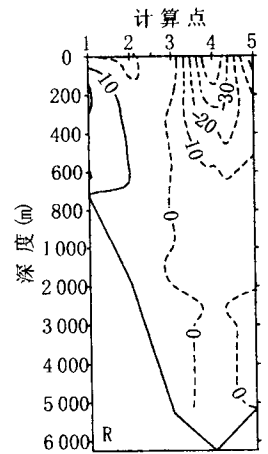


图 6 1997 年 7 月在断面 R 上流速 (cm/s) 分布
正为东北向流

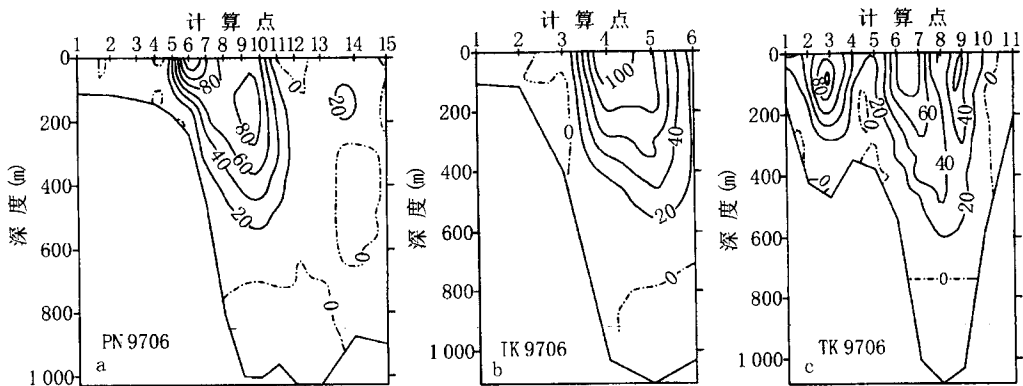


图 7 1997 年 7 月断面 PN (a)、断面 IK (b) 和断面 TK (c) 的流速 (cm/s) 分布
a, b. 正为北向流, c. 正为东向流

断面 TK 位于吐噶喇海峡 (见图 1). 由于断面 TK 附近没有合适的断面能够与断面 TK 组成一个计算单元, 因此, 我们采用动力计算方法 (参考面深度取 700 m) 来计算断面 TK 的流速分布. 图 7c 表示 TK 断面的流速分布. 由图 7c 知, 东向流在 TK 断面有三个流核心: 黑潮的主核心位于计算点 3, 最大东向流速为 118 cm/s; 第二个核心位于计算点 6 和 7, 其最大东向流速为 88 cm/s, 位于计算点 6 的 75 m 处; 第三个核心位于计算点 9, 其最大东向流速为 63 cm/s. 如文献 [7] 所述, 在 TK 断面黑潮经常出现多核心的结构. 在 TK 断面南侧, 即计算点 11 出现了西向流, 流速不大, 最大西向流约为 11 cm/s. ADCP 测流 (见图 10c) 也表明在 TK 断面的南侧有西向流.

5 流函数及流量

图 8a 表示台湾岛以东及琉球群岛东南海域流函数及流量分布。黑潮在断面 K_2 位于 123°E 以西, 然后作反气旋式弯曲进入断面 K_4 。在 1997 年 7 月黑潮通过断面 K_2 的北向净流量约为 $37.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。与 1985 年初夏、1995 年 10 月和 1996 年初夏比较, 黑潮在 K_2 断面位置在 1997 年 7 月时要偏西, 黑潮的流量明显减小, 表 1 表明在 1997 年夏季的强 El Niño 期间, 黑潮的强度及流量在台湾岛东南海域明显减小。与 1995 年 10 月及 1996 年初夏时台湾岛以东黑

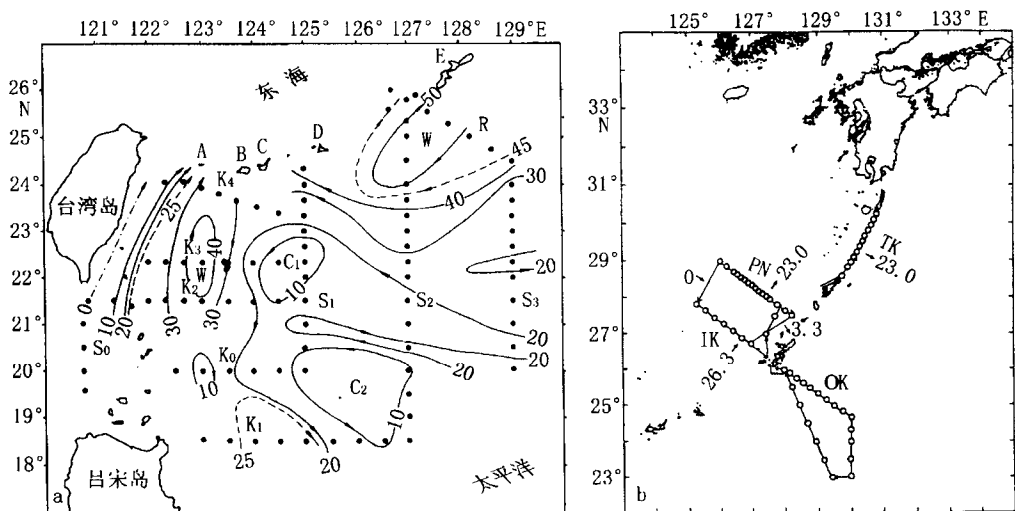


图 8 1997 年 7 月台湾岛以东及吕宋岛以东海域流函数及流量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) (a) 和东海海域各断面的流量 (b) 分布

A—F 说明同图 1

表 1 在一些航次黑潮通过断面 K_2 的位置及流量

航次	黑潮的流量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)	黑潮的位置
1985 年初夏	45.0	123°E 以西
1995 年 10 月	57.8	$123^\circ 20' \text{E}$ 以西
1996 年初夏	44.6	$123^\circ 40' \text{E}$ 以西
1997 年 7 月	37.5	123°E 以西

潮流态比较^[2,3], 1997 年 7 月在台湾岛以东海域并没有黑潮分支流向琉球群岛以东海域, 这不同于 1995 年 10 月及 1996 年初夏时黑潮在台湾岛以东海域的流态。黑潮以东有一个反气旋式暖涡, 其暖涡中心位于 $22^\circ 20' \text{N}$, 123°E , 水平温度分布自表层至 1 000 m 以深, 都显示这个暖涡的存在 (见图 9a—c)。图 8a 还表明在暖涡以东存在南向流, 而在南向流以东存在一个气旋式冷涡 C_1 , 冷涡中心约位于 $22^\circ 20' \text{N}$, $124^\circ 30' \text{E}$, 水平温度分布也显示这支南向流及冷涡 C_1 的存在。其次, 在宫古岛以东及冲绳岛东南和上述冷涡 C_1 之间的海域, 有一个反气旋式的再生环流 (recirculation) (见图 8a 及图 9a—c), 这个反气旋式的再生环流在其他航次^[1~3]也总是存在, 只是它的强度及尺度范围有所不同, 如文献 [1~3] 所述, 此反气旋式的再生环流是琉球群岛以东北向海流的来源之一。最后, 在计算海域东南也有一个冷涡 C_2 。

图 10 表示 1997 年 7 月航次在调查海域 ADCP 的测流结果。把上述计算结果 (见图 8a)、

温度分布（图 9）与 ADCP 测流结果（见图 10）比较，它们在定性上甚为一致，例如图 10 证实黑潮以东有一个暖涡，其中心约位于 $22^{\circ}20'N$, $123^{\circ}E$ ，暖涡以东有一支南向流，而在南向流以东有一个气旋式冷涡 C_1 。图 10 还证实在宫古岛以东、冲绳岛东南有一个反气旋式的再生环流等。

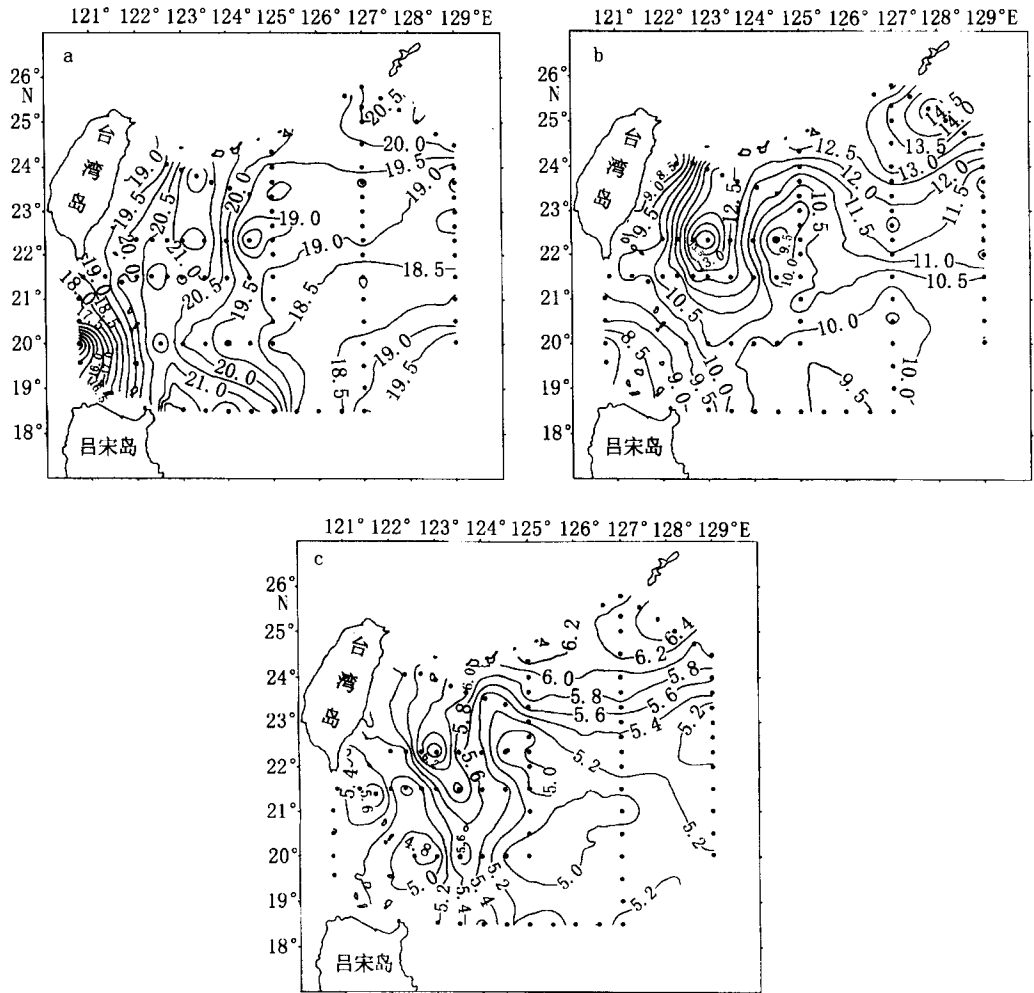


图 9 1997 年 7 月在 200 m (a)、500 m (b) 和 800 m (c) 的水平方向温度 ($^{\circ}C$) 分布

图 8b 表示在东海断面的流量分布。由图 8b 可知，通过断面 IK 及 PN 的北向净流量分别为 26.3×10^6 及 $23.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ，而通过断面 TK 的东向净流量为 $23.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由水平温度分布可知，在 IK 断面上黑潮以东可能存在一个反气旋式暖涡，其中心位于 IK 断面的东端，该反气旋式暖涡的流量约为 $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ，如图 8b 所示。

6 结语

基于 1997 年 7 月“中日副热带环流合作调查”航次获得的 CTD 及 ADCP 测流资料，以及 1997 年 7 月日本“长风丸”号调查船在东海获得的 CTD 资料，采用改进逆方法分别对这两个调查海域进行了计算，得到以下的主要结果：

6.1 1997 年 7 月黑潮通过台湾岛东南断面 K_2 时位于 123°E 以西，其北向净流量约为 $37.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ，与 1985 年 5 月、1995 年 10 月及 1996 年 5~6 月三个航次比较，本航次黑潮在 K_2 断面位置要偏西，黑潮的强度及流量都明显减小，表明在 1997 年强 El Niño 期间，黑潮的强度及流量在台湾岛东南海域都减小。

6.2 1997 年 7 月在台湾岛以东海域并没有黑潮分支流向琉球群岛以东海域，这不同于 1995 年 10 月及 1996 年初夏时黑潮在台湾岛以东海域的流态。

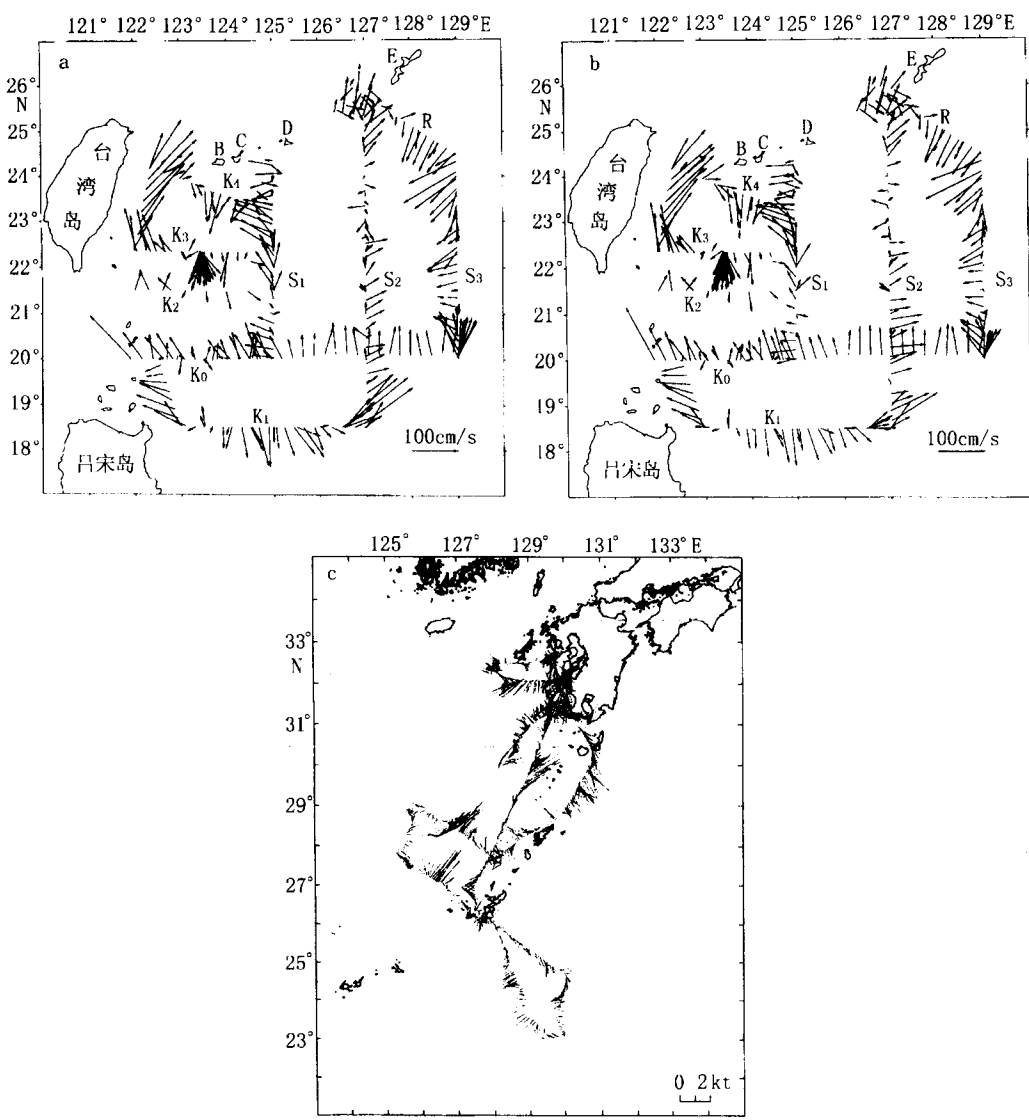


图 10 1997 年夏季在调查海域 ADCP 测流在以下层次的平均流速矢量分布
a. 25~75 m 层次, b. 75~125 m 层次, c. 在东海 ADCP 实测表层流
(6 月 13 日至 8 月 1 日, 图 c 来自长崎气象台“海洋速报”第 163 号)
B—F 说明同图 1

6.3 黑潮以下有南向逆流。

6.4 在台湾岛以东黑潮的右侧有一个反气旋式涡，暖涡中心位于 $22^\circ 20' \text{N}$, 123°E 处，而该