

中國海洋學文集

OCEANOGRAPHY IN CHINA

11

西北太平洋副熱帶環流研究（一）

國家海洋局科學技術司 編



海洋出版社

中国海洋学文集

11

西北太平洋副热带环流研究（一）

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 20 篇论文。这些论文是“中日副热带环流调查研究”中方首批研究成果。采用资料来自于 1995 年 10 月及 1996 年 5~6 月由国家海洋局南海分局“向阳红 14”号调查船执行的第一与第二航次,台湾大学海洋研究所 1995 年 10 月 WOCE 航次,以及日方的调查资料,本文集主要反映内容为:(1)研究黑潮源区的水文结构,海流与涡的特征、变异及其与东海黑潮关系;(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;(5)副热带环流区浮游生物研究以及初级生产力的评估等。内容丰富,是反映我国在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(11):西北太平洋副热带环流(1)

/国家海洋局科学技术司编. —北京:海洋出版社,2000.1

ISBN 7-5027-4917-9

I. 中… II. 国… III. ①海洋学-文集 ②北太平洋-大洋环流,
副热带-研究-文集 IV. P7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 74869 号

责任编辑 陈茂廷

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 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12.25

字数:317 千字 印数:1~700 册

定价:25.00 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集文集的工作

前 言

“中日副热带环流合作调查研究”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。

在前两年的合作中,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和研究,取得了“中日副热带环流调查合作研究”的我国首批成果,并于1997年8月在青岛召开中日副热带环流国内第一次学术讨论会。会后,决定将此研究成果投送《中国海洋学文集》发表,并按照该文集编辑部所要求的程序,将这些论文提交该编辑部。经专家们审稿、推荐与修改等过程,形成了这本文集,共有20篇论文,其中物理海洋学(包括海洋气象)共14篇、海洋生物共6篇。

最后,谨对“向阳红14”号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 陈英仪

1997年10月

中国海洋文集

11

目次

北太平洋副热带西部海区水团的初步分析	卢中发	1
北太平洋副热带西部海域的流场特征		
..... 林葵 汤毓祥 郭炳火 道田丰 蒋松年		7
1995 年 10 月台湾以东黑潮与冲绳岛东南海域的水文特征		
..... 于洪华 苏纪兰 袁耀初 刘倬腾 苗育田 沈雪龙		16
1996 年 5~6 月台湾以东黑潮与冲绳岛东南海域的水文特征		
..... 于洪华 袁耀初 苏纪兰 沈雪龙 苗育田		24
1995 年 10 月台湾以东黑潮及冲绳岛东南海流		
..... 袁耀初 刘勇刚 刘倬腾 苏纪兰		31
1996 年初夏台湾以东与东海黑潮及冲绳岛东南海流		
..... 袁耀初 金子新 苏纪兰 朱小华 刘勇刚 江田宪彰 陈洪		39
1995 年 10 月台湾以东海流的三维诊断、半诊断及预报计算		
..... 王惠群 袁耀初 苏纪兰 刘勇刚 刘倬腾		52
1996 年初夏台湾以东海流的数值计算		
..... 袁耀初 金子新 王惠群 刘勇刚 苏纪兰 朱小华 江田宪彰		64
副热带西部海区北太平洋中层水的特征和西向延伸		
..... 郭炳火 森永健司		78
北太平洋副热带西部海域涡旋特性的初步分析		
..... 汤毓祥 万邦君 林葵 冈野博文		85
与那国岛以西黑潮海流的谱		
..... 袁耀初 金子新 王惠群 朱小华 苏纪兰 江田宪彰 陈洪 方同德		96
1992~1996 年琉球群岛以东海流的变异		
..... 刘勇刚 袁耀初 中野俊也 纲野正明		108
西北太平洋副热带海域的海气热交换分析		
..... 丁良模		122
7~8 月热带气旋与副热带西北太平洋 SST 关系初探		
..... 刘秦玉 张冬生 徐启春 王启		128

副热带环流区春季初级生产力及与环流关系 陈兴群 陈其焕 135

黑潮源区春季浮游植物的种类组成与分布 144

 杨清良 林更铭 林金美 陈瑞祥 林景宏 戴燕玉 林 茂 広田祐一 石田実 144

台湾岛以东副热带环流区秋季初级生产力 陈兴群 陈其焕 157

副热带环流区浮游动物的生态研究 165

 陈瑞祥 林景宏 戴燕玉 林 茂 杨清良 林更铭 林金美 広田祐一 石田実 165

1995 年秋季西太平洋副热带环流区的浮游动物 177

 林景宏 陈瑞祥 戴燕玉 林 茂 177

副热带环流区毛颚类的分布 戴燕玉 183

OCEANOGRAPHY IN CHINA

11

CONTENTS

A preliminary analysis of water masses in the western subtropical area of the North Pacific	<i>Lu Zhongfa</i>	6
Characteristics of current field in the western North Pacific subtropical area.....		
... <i>Lin Kui, Tang Yuxiang, Guo Binghuo, Yutaka Michida</i> and <i>Jiang Songnian</i>		15
Hydrographic characteristics in the regions east of Taiwan Island and southeast of Okinawa-jima during October of 1995		
<i>Yu Honghua, Su Jilan, Yuan Yaochu, Liu Cho-teng, Miao Yutian</i> and <i>Shen Xuelong</i>		23
Hydrographic characteristics in the regions east of Taiwan Island and southeast of Okinawa-jima during May – June of 1996		
..... <i>Yu Honghua, Yuan Yaochu, Su Jilan, Shen Xuelong</i> and <i>Miao Yutian</i>		30
The Kuroshio east of Taiwan Island and the current southeast of Okinawa-jima during October of 1995	<i>Yuan Yaochu, Liu Yonggang, Liu Cho-teng</i> and <i>Su Jilan</i>	38
The Kuroshio east of Taiwan Island and in the East China Sea and the current southeast of Okinawa-jima during early summer of 1996.....	<i>Yuan Yaochu, Kaneko Arata, Su Jilan, Zhu Xiao-Hua, Liu Yonggang, Gohda Noriaki</i> and <i>Chen Hong</i>	51
Three-dimensional diagnostic, semidiagnostic and prognostic calculations of the currents east of Taiwan Island during October of 1995.....		
..... <i>Wang Huiqun, Yuan Yaochu, Su Jilan, Liu Yonggang</i> and <i>Liu Cho-teng</i>		63
Numerical calculation of the currents east of Taiwan Island during early summer of 1996	 <i>Yuan Yaochu, Kaneko Arata, Wang Huiqun, Liu Yonggang, Su Jilan, Zhu Xiao-hua</i> and <i>Gohda Noriaki</i>	76
Characteristics of the North Pacific Intermediate Water and its westward extension in the		

western subtropical region	<i>Guo Binghuo and Kenji Morinaga</i>	84
A preliminary study on the eddy properties in the western North Pacific subtropical area ...		
.....	<i>Tang Yuxiang, Wan Bangjun, Lin Kui and Hirofumi Okano</i>	95
Spectra of the Kuroshio west of Yonakuni-jima.....	<i>Yuan Yaochu, Kaneko Arata, Wang Huiqun, Zhu Xiao-hua, Su Jilan, Gohda Noriaki, Chen Hong and Fang Tongde</i>	107
Seasonal and annual variations of the currents east of the Ryūkyū-guntō during 1992~1996		
.....	<i>Liu Yonggang, Yuan Yaochu, Toshiya Nakano and Masaaki Amino</i>	121
Analysis on the air-sea heat exchange in the subtropical region of the Northwest Pacific ...		
.....	<i>Ding Liangmo</i>	127
Study of the relation between tropical cyclone in July to August and SST of the subtropical Northwest Pacific	<i>Liu Qinyu, Zhang Dongsheng, Xu Qichun and Wang Qi</i>	134
The state of primary productivity and its relation with the subtpical circulation in spring...		
.....	<i>Chen Xingqun and Chen Qihuan</i>	142
Species composition and distributon of phytoplankton in spring in the origin of the Kuroshio		
.....	<i>Yang Qingliang, Lin Gengming, Lin Jinmei, Chen Ruixiang, Lin Jinghong, Dai Yanyu, Lin Mao, Hirota Yuichi and Ishida Minoru</i>	156
The primary productivity in subtropical circulation area east of Taiwan in autumn		
.....	<i>Chen Xingqun and Chen Qihuan</i>	163
An ecological study on zooplankton in the subtropical circulation area		
.....	<i>Chen Ruixiang, Lin Jinghong, Dai Yanyu, Lin Mao, Yang Qingliang, Lin Gengming, Lin Jinmei, Hirota Yuichi and Ishida Minoru</i>	176
Zooplankton of subtropical circulation area in West Pacific in the autumn of 1995		
.....	<i>Lin Jinghong, Chen Ruixiang, Dai Yanyu and Lin Mao</i>	182
Distribution of chaetognaths in the subtropical circulation area	<i>Dai Yanyu</i>	187

北太平洋副热带西部海区水团的初步分析

卢 中 发

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

摘 要 采用 1995 年秋季航次中日副热带环流合作调查区 ($18^{\circ}30' \sim 26^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ} \sim 129^{\circ}\text{E}$) 的水文资料, 应用模糊数学的原理和方法, 划分了本调查航次海区的水团。它们是: (1) 台湾以东黑潮表层水 (T_f); (2) 吕宋海峡表层水 (L_f); (3) 西北太平洋表层水 (W_f); (4) 西北太平洋次表层水 (W_s); (5) 西北太平洋中层水 (W_m); (6) 西北太平洋深层水 (W_d); (7) 副热带西部逆流区表层水 (SC_f); (8) 北赤道流北部表层水 (NE_f); (9) 副热带西部调查区东北部表层低温水 (SE_c); (10) 官古列岛南部表层水 (KS_f)。分析结果表明, 黑潮水在本调查区 75 m 以浅的表层是由 T_f 、 L_f 、 NE_f 、 SC_f 、 W_f 及部分 W_s 混合而成; 而在 75 m 以深的水层, 它主要来源于 W_s 、 W_m 及 W_d 。

关键词 北太平洋 副热带 黑潮 水团 北赤道流 模糊数学

1 引言

中日副热带环流合作调查区位于黑潮起源区, 其环流从属于太平洋环流系统。从本调查区的水团来看, 这里有北赤道流北部表层水、吕宋海峡表层水 (为简便起见, 我们这里称巴士海峡、巴林塘海峡、巴布延海峡之间的表层水域为吕宋海峡表层水)、台湾以东黑潮表层水及西北太平洋表层及其中下层水等。本文不仅划分和分析了本调查海区的水团, 而且也初步分析了黑潮水的起源。如二谷颖男^[1]认为, 黑潮是太平洋的一部分, 是北赤道流的延续体。所以, 研究黑潮的起源, 与研究西北太平洋表层水及中、下层水, 菲律宾以东的北赤道流的北部表层水, 吕宋海峡表层水, 台湾以东黑潮表层水及东海黑潮表层水等有关。

水团分析往往涉及到研究水团间的混合强度及其消长规律, 而对这些问题的研究颇带有模糊性。所以, 我们在划分和分析副热带西部海区的水团时, 应用模糊数学的原理和方法也许是有益的。

2 资料和方法

采用中日副热带环流合作调查秋季航次 (1995 年 10 月) 的水文调查资料, 分析方法采用笔者应用过的方法^[2,3]。

3 计算结果与分析

利用 1995 年 10 月中日副热带环流合作调查海区的温盐资料, 分别依断面 K1、K2、K3、K4、S1、S3 及 0 m、75 m、400 m、1 200 m 等水层在 Vax 机上计算, 划分了本调查海区的水团、水团的平面配置与断面配置示于图 1 及图 2, 水团的温、盐特征值列于表 1。各水团的

稳定性量度——线性模糊度列于表 2. 最后由表 1、表 2 及图 1、图 2 对各水团作了简单分析, 其结果列于表 3.

3.1 水团的划分与分析

调查海区的水团可以划分成 10 种类型, 其特性分析如下:

(1) 台湾以东黑潮表层水 (T_f)

位于本调查海区西北部台湾以东近海 60 m 以浅的海域. 它是一次高温、中盐的较不稳定的水团 (参看图 1a, 图 2b、图 2d 及表 1~3). 由图 1a、图 2a 可看出 T_f 的相邻水团有 SC_f 、 W_f 及 W_s . 因此, T_f 的消长与西北太平洋水团的表层、次表层水及副热带西部逆流区表层水有关.

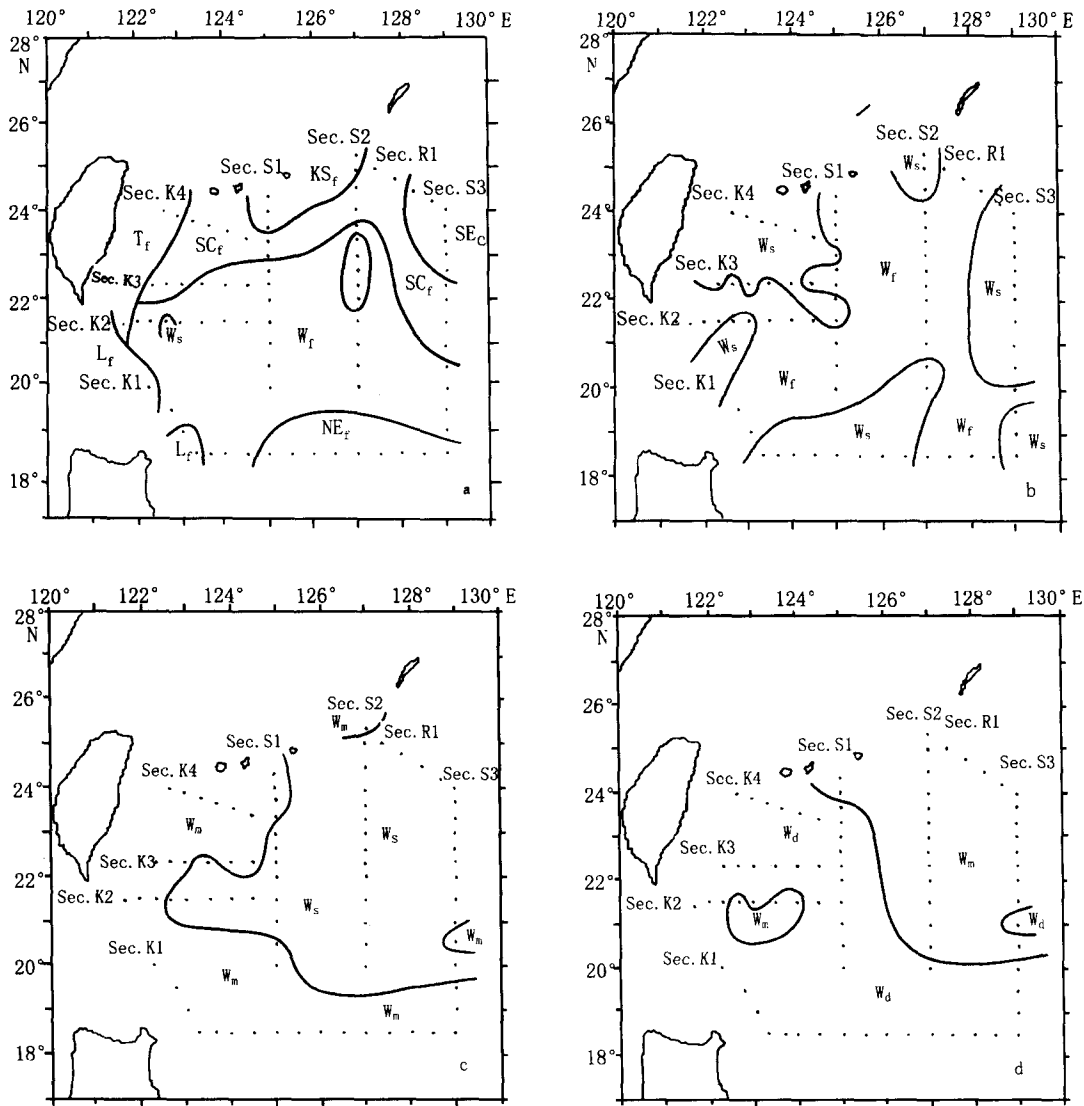


图 1 副热带西部海区 0 m、75 m、400 m 及 1 200 m 层的水团分布
a. 0 m 层 b. 75 m 层 c. 400 m 层 d. 1 200 m 层

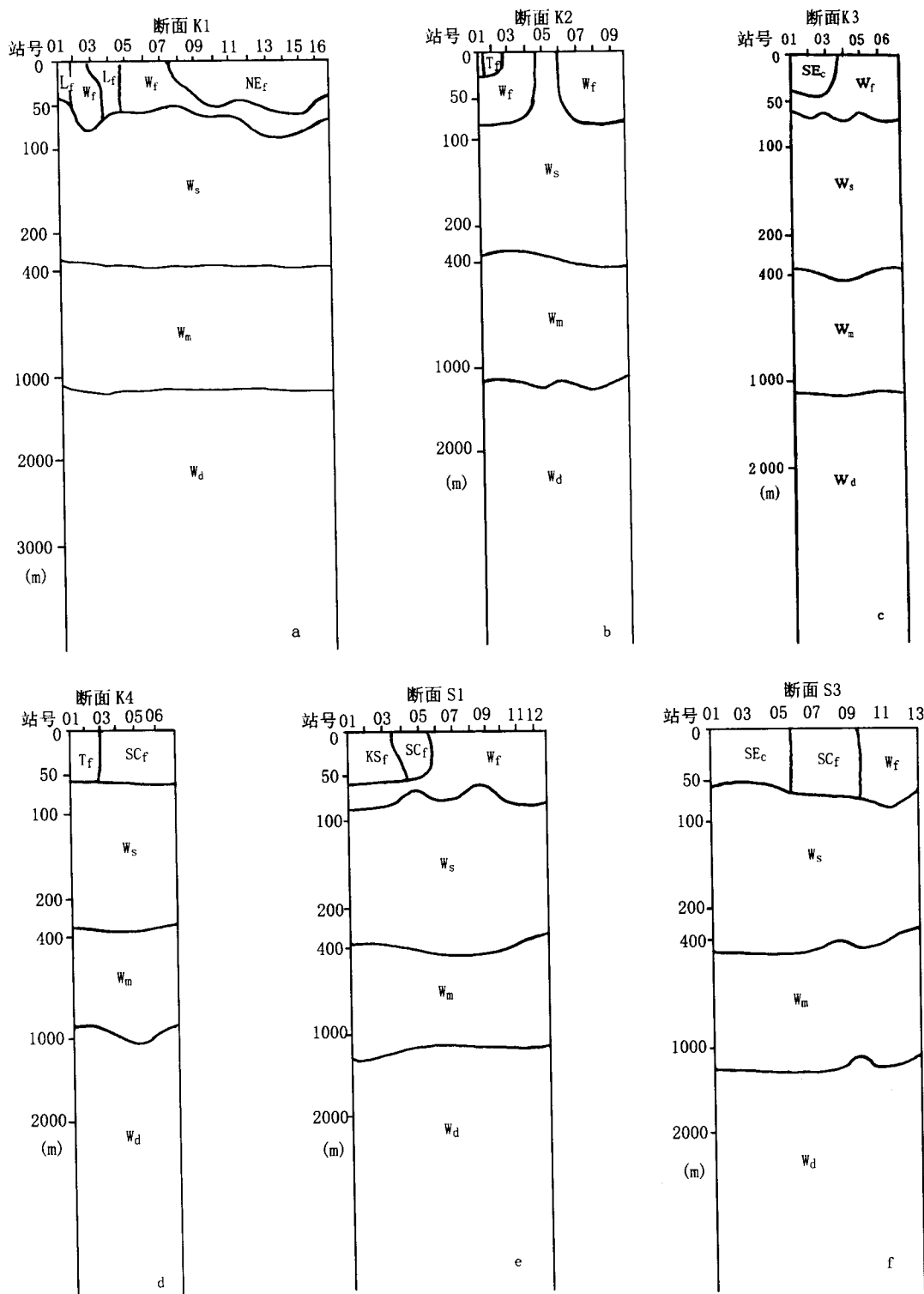


图 2 副热带西部海区各断面的水团分布

表 1 各水团的温盐特性

水团名称	T_f	L_f	W_f	W_s	W_m	W_d	SC_f	NE_f	SE_c	KS_f
水温 范围	28.07	28.84	27.96	14.28	4.29	1.5	27.96	28.38	27.42	28.23
($^{\circ}\text{C}$)	~28.52	~29.11	~29.24	~27.42	~13.50	~3.96	~28.54	~29.30	~27.96	~28.41
特征值	28.23	28.94	28.52	22.59	12.25	2.71	28.25	28.91	27.68	28.34
盐度 范围	34.58	34.39	34.58	34.73	34.32	34.47	34.56	34.18	34.70	34.61
	~34.63	~34.88	~34.71	~34.91	~34.41	~34.63	34.71	34.60	~34.73	~34.62
特征值	34.61	34.58	34.64	34.84	34.35	34.57	34.62	34.34	34.71	34.62

表 2 各水团的稳定性量度—线性模糊度

水团名称	T_f	L_f	W_f	W_s	W_m	W_d	SC_f	NE_f	SE_c	KS_f
线性模糊度	0.27	0.19	0.23	0.20	0.16	0.17	0.24	0.28	0.20	0.33

表 3 各水团的简单分析

水团名称	深度范围 (m)	温度特性	盐度特性	稳定性量度
T_f	0~60	次高	中	比较不稳定
L_f	0~50	高	中	比较稳定
W_f	0~75	次高	中	比较不稳定
W_s	75~400	中	高	比较稳定
W_m	400~1 200	次低	低	稳定
W_d	>1 200	低	中	稳定
SC_f	0~60	次高	中	比较不稳定
NE_f	0~60	高	低	比较不稳定
SE_c	0~50	中	次高	比较稳定
KS_f	0~60	次高	中	最不稳定

(2) 吕宋海峡表层水 (L_f)

它是连接南海与西北太平洋的主要通道。因本航次调查涉及此通道的范围较小，故无法得出较明确的结论。有兴趣的读者可参看如管秉贤的“巴士海峡及其附近夏季环流分布特征”^[4]等。 L_f 是位于本调查海区西部吕宋海峡 50 m 以浅的高温、中盐较为稳定的水团。该水团的高温特性说明此水团出现在本调查海区的高温区（参看图 1a、图 2a、图 2b）。

(3) 西北太平洋表层水 (W_f)

通常人们认为太平洋上层有 3 个主要水团，即西北太平洋水、西南太平洋水和太平洋赤道水。为分析方便，我们把西北太平洋上层水分划成西北太平洋表层水 W_f 和西北太平洋次表层水 W_s 。在本调查海区中， W_f 位于 75 m 以浅的表层中，是一次高温、中盐较不稳定的水团（参看图 1 中的 a、b，图 2 中的 a、b、c、f 及表 1~3）。

(4) 西北太平洋次表层水 (W_s)

W_s 位于本调查海区 75~400 m 水层。它是一中温、高盐较稳定的水团。 W_s 属于西北太平洋上层水，其盐度特征值为 34.84，是本调查海区的最高值。因此，我们称 W_s 为西北太平洋高盐水（参看图 1 中的 b、c，图 2 及表 1~3）。

(5) 西北太平洋中层水 (W_m)

它是以具有一最低盐度层为其特色，位于本调查海区 400~1 200 m 水层的次低温、低

盐水团（参看图 1 中的 c、d，图 2）。该水团的温、盐分布较为均匀，其温、盐特征值分别为 12.25°C ，34.35，且其线性模糊度为 0.16，为本调查区中的小量，因而为稳定水团（参看表 1~3）。

(6) 西北太平洋深层水 (W_d)

它为本调查海区 1 200 m 以深的低温、中盐的稳定水团。此水团的温度特征值为 2.71°C ，为本调查海区中的最低值，因此 W_d 属于低温水团。该水团的温、盐度随海水深度的增加其变幅很小，因而也是一较为稳定的水团（参看图 1a、图 2、表 1~3）。

(7) 北赤道流北部表层水 (NE_f)

它是表层 60 m 以浅的北赤道流北部区域水。其温盐特性是高温、低盐（参看图 1a、图 2a 及表 1~3）。 NE_f 的盐度特征值为 34.34，在本调查海区的表层属低值。而其温度特征值为 28.91°C ，因受北赤道流的热带高温性质影响，在本调查海区的表层为高值。故称 NE_f 为本调查海区的表层高温低盐水团。

(8) 副热带西部逆流区表层水 (SC_f)

这是本调查海区北部带状水团。其东、南、西、北面分别与 SE_c 、 W_f 、 T_f 及 KS_f 毗邻。 SC_f 是位于本调查海区 60 m 以浅的表层次高温、中盐较不稳定的水团（参见图 1a、图 2 中的 d~f、表 1~3）。 SC_f 的温、盐特征值与 T_f 接近，但比 T_f 稍稳定。

(9) 副热带西部调查海区东北部表层低温水 (SE_c)

位于本调查海区东北部 50 m 以浅的表层水域，是一中温、次高盐的较稳定水团。就表层而言， SE_c 与其邻近其他水团相比，其温度特征值为 27.68°C ，属低值，故在表层具有低温特性（参看图 1a、图 2f、表 1~3）。

(10) 宫古列岛南部表层水 (KS_f)

它是本调查海区北部宫古列岛南部的一小区域性水团，其温盐特性与 SC_f 、 T_f 相近。所不同的是， KS_f 是本调查海区中最不稳定的水团，其线性模糊度为 0.33，为本调查海区中诸水团的最高值，因而它的变性及与其邻近水团的混合作用在 60 m 以浅的表层为最激烈（参看图 1a、图 2e、表 1~3）。

3.2 黑潮水起源的初步分析

黑潮起源，一般是指吕宋岛和台湾以东的北赤道流的延续体^[1]。二谷颖男则将 130°E 以西至吕宋海峡，北赤道流南界到东海黑潮的北界之间的广阔海域，当作黑潮水的起源地^[1]。而我们所调查的仅是副热带的西部海区 ($18^{\circ}30'\sim 26^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}\sim 129^{\circ}\text{E}$)，范围很有限，比二谷颖男所说的范围小得多。

依笔者的计算，我们可以把台湾以东的黑潮表层水，吕宋海峡表层水，北赤道流北部表层水及西北太平洋表层水、次表层水及其中、下层水统称为黑潮系统的源地水。为分析方便，我们把黑潮源地水依其所在调查海区的表层、次表层及其中、下层加以分析。由图 1、图 2 和表 1~3 可以看出：

(1) 在表层 75 m 以浅的黑潮源区，这里的黑潮水是由多种水型混合的水体。它是由 T_f 、 L_f 、 NE_f 、 W_f 及部分 W_s 混合而成。

(2) 在副热带西部海区 75~400 m 水层，黑潮水主要源于 W_s 。

(3) 副热带西部海区 400~1 200 m 水层，黑潮水主要源于 W_m 。

(4) 副热带西部海区 1 200 m 以深水层，基本上由 W_d 所盘踞着。

4 结语与讨论

4.1 黑潮水在副热带西部海区 75 m 以浅的表层是由台湾以东黑潮表层水、吕宋海峡表层水、北赤道流北部表层水、西北太平洋表层水及部分西北太平洋次表层水等多种水体混合而成。而在 75 m 以深层，它主要源于西北太平洋次表层水及其中、深层水。

4.2 副热带西部海区 75 m 以浅的表层温盐分布较均匀，差别不大。由笔者计算所得出的各表层水团的温盐特征值可以看出，温度介于 $27.42 \sim 29.30$ $^{\circ}\text{C}$ 之间，盐度介于 $34.18 \sim 34.88$ 之间。因此运用二维模糊聚类方法进行水团划分较困难。如果能加上生化资料采用笔者所提出的模糊多元分析方法进行计算，效果可能会有所改善（参考文献 [5]）。

参考文献

- 1 Nitani H. Begining of the Kuroshio. In: Kuroshio—Its Physical Aspects (Stommel H, Yoshida K eds), Tokyo: University of Tokyo Press, 1972, 129~163
- 2 卢中发. 模糊目标函数聚类算法及其在东海黑潮水团分析中的应用. 海洋学报, 1989, 11(3): 265~274
- 3 Lu Zhongfa. Fuzzy set study of water masses mixing in the source region of the Tsushima Warm Current. Chinese J. Oceanol. Limnol., 1990, 8(4): 336~347
- 4 管秉贤. 巴士海峡及其附近夏季环流分布特征. 黄渤海海洋, 1990, 8(4): 1~11
- 5 卢中发. 模糊多元分析方法及其在对马暖流区水团和锋面涡旋分析中的应用. 海洋学报, 1994, 16(4): 35~47

A preliminary analysis of water masses in the western subtropical area of the North Pacific

Lu Zhongfa¹

1. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266003

Abstract—On the basis of the hydrographic data obtained from China-Japan Joint Investigation of subtropical circulation during the autumn cruise of 1995, the water masses in the western subtropical area of the North Pacific are classified by using the principle and methods of fuzzy mathematics. The classified water masses are as follows: T_f —Kuroshio Surface Water East of Taiwan, L_f —Luzon Strait Surface Water, W_f —Northwest Pacific Surface Water, W_s —Northwest Pacific Sub-surface Water, W_m —Northwest Pacific Mid-water, W_d —Northwest Pacific Deep Water, SC_f —Subtropical Counter-current Surface Water, NE_f —Surface Water North of the North Equatorial Current, SE_c —Surface Low Temperature Water Northeast of the Western Subtropical Area of North Pacific, KS_f —Surface Water South of Miyako-jima. The analyses indicate that the Kuroshio Surface Water in the upper 75 m of the observed area is a mixture of T_f , L_f , NE_f , SC_f , W_f and part of W_s , and the Kuroshio water at depths of more than 75 m in the observed area originates mainly from W_s , W_m and W_d .

Key words North Pacific, subtropics, Kuroshio, North Equatorial Current, fuzzy mathematics

北太平洋副热带西部海域的流场特征

林葵 汤毓祥 郭炳火

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

道田丰

蒋松年

(日本海上保安厅水路部, 东京)

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘要 利用 1995 年 10 月和 1996 年 5 月“向阳红 14”号调查船中日副热带环流合作调查研究项目进行的两个航次的 CTD 资料和 ADCP 资料, 用逆方法计算了副热带逆流区的流速和流量。着重分析了逆流区 3 个经向断面的流速结构, 估算了副热带逆流的流速和流量, 给出了研究海区的平均流态。

关键词 副热带逆流 流速结构 平均流态

1 引言

副热带逆流是指大洋西部 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 海域存在的东向流动。它首先由 Yoshida 等人^[1, 2]理论计算所揭示, 后由 CSK 等海上观测资料所证实。近 30 年来, 海洋学家对此作了进一步调查研究。如 Hasunuma 和 Yoshida^[3]利用 3 个动力高度脊和两个动力高度槽的结构, 解释了纬向流动的条状分布。管秉贤^[4, 5]总结了前人的研究成果, 精辟地指出: 副热带逆流是一支带全球性的海流, 它是终年都可能存在的多支多涡的流动。

1995 年 10 月, 我国“向阳红 14”号调查船首次在 $18^{\circ}30' \sim 26^{\circ} \text{N}$, 129°E 以西海域进行了中日副热带环流合作调查, 1996 年 5 月又在同一海区进行了第二次调查(图 1)。其结果填

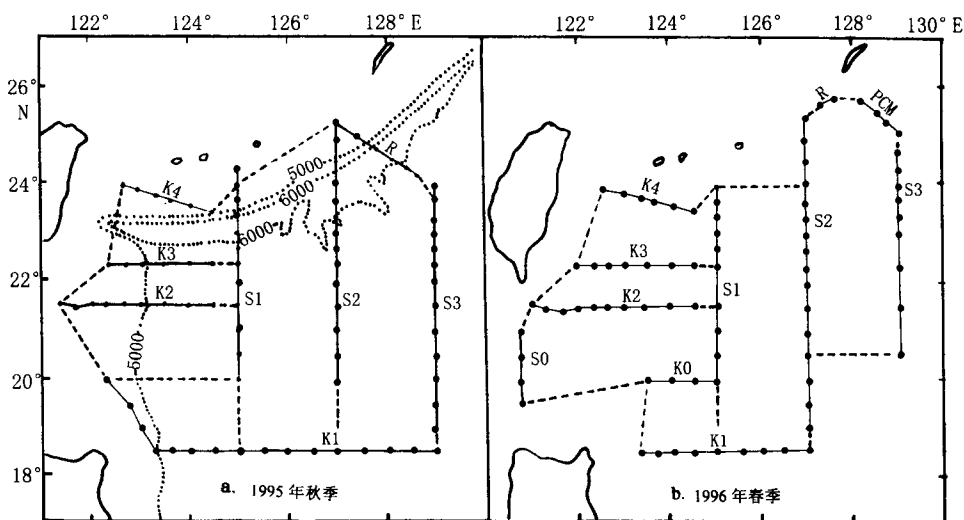


图 1 观测站位分布和闭合回路的选取

补了我国在该海域海洋调查的空白.在地转流计算的基础上,通过逆方法,分析和讨论了研究海区的流场特征,并首次给出该海域的平均流态.鉴于本海域范围较小,实际上是副热带逆流的源区,所以本工作对进一步研究副热带逆流及其形成机制是很有意义的.

2 资料处理

本文选用“向阳红 14”号调查船 1995 年 10 月和 1996 年 5 月两个航次的 CTD 资料和同步观测的 ADCP 资料.首先按给定的一组 σ_t 值把 CTD 数据从海面至海底分成 10 层.然后计算各分层、各站对之间的地转流.同时按类似于 Worthington^[6]的方法,选取最佳零面.结果是:1995 年的 $\sigma_t = 27.68$,1996 年的 $\sigma_t = 27.55$,其相应的平均深度分别为 1 500 m 和 1 200 m.最后进行逆方法运算.上述计算时闭合回路的选取如图 1 所示.ADCP 资料选绘表层(0~50 m)流矢图供分析流场时用.

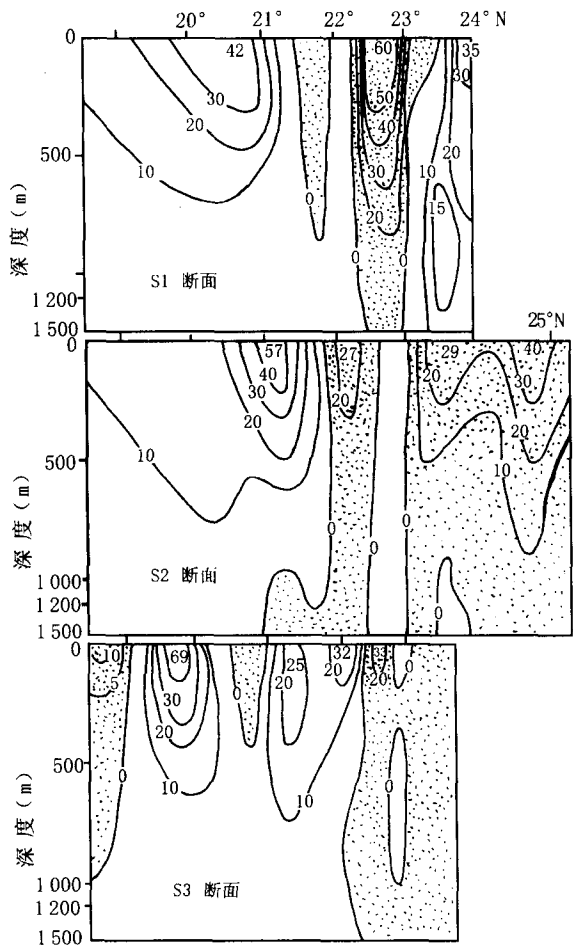


图 2 1995 年秋季航次断面流速分布 (单位: cm/s)

的流动称为流核,可以在 S2 断面找到东向流的双核结构:两核心流速为 29 和 40 cm/s,总流幅超过 120 n mile,核心厚度为 500 m;此外在 S3 断面出现西向流的双核结构:两核心流速为 25 cm/s 和 32 cm/s,核心厚度 400 m,流幅 39 n mile.除双核结构外,3 个断面有东、西向流的单核结构.核心流速的最大值分别为 69 cm/s (出现在 S3 断面的西向流中)和 60 cm/s (出现在

3 断面流速结构

本文主要讨论副热带逆流区的纬向流动.所以取 S1、S2 和 S3 三个纵向断面为主要研究对象,其中 S1、S2 两断面图向南延伸至 K1 断面.

3.1 1995 年秋季航次

图 2 为 1995 年秋季航次断面流速分布.图中影区为东向流,空白为西向流(后同).从图 2 可知纬向流的带状分布是逆流区秋季航次海流的显著特征之一:东、西向海流相间,以西向流为主,中间插入 2~3 个东向流.3 个纵向断面的南半段几乎全被西向流所占据.其表层流速在 2~69 cm/s 之间变化;平均表层流速呈顺流递增趋势:从 S3 断面的 23.6 cm/s 到 S1 断面增至 25.0 cm/s (见表 1).表中数值为逆方法计算中第一层纬向流速的算术平均值.

我们感兴趣的是各断面 22°N 以北出现的东向流.这就是人们所说的副热带逆流.其流速在 2~60 cm/s 之间变动. S1、S2 和 S3 断面的平均表层东向流速分别为 24.9 cm/s、22.6 cm/s 和 22.0 cm/s,即呈现顺流递减趋势.整个逆流区的平均表层东向流速为 23.1 cm/s.若把流速大于 20 cm/s