

中国科学院海洋研究所编辑

海洋科学集刊

STUDIA MARINA SINICA

Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

49

科学出版社

北京

中国科学院南京地质古生物研究所

海洋科学集刊

SPECIAL MARINE SCIENCE

—— 中国海洋地质古生物研究所成立二十周年纪念 ——

49

—— 海洋科学集刊 ——

1999. 10

《海洋科学集刊》编辑委员会

THE EDITORIAL BOARD OF *STUDIA MARINA SINICA*

- 主 编** Editor-in-Chief
孙 松 SUN Song
- 副 主 编** Deputy Editors
侯一筠 HOU Yijun 杨红生 YANG Hongsheng
- 顾 问** Advisory Committee
刘瑞玉 LIU Ruiyu (J. Y. Liu)
秦蕴珊 QIN Yunshan
张福绥 ZHANG Fusui
胡敦欣 HU Dunxin
侯保荣 HOU Baorong
- 编 委** Members (按汉语拼音排序)
窦硕增 DOU Suozeng 段德麟 DUAN Delin
李安春 LI Anchun 李铁刚 LI Tiegang
李新正 LI Xinzheng 莫照兰 MO Zhaolan
庞重光 PANG Chongguang 秦 松 QIN Song
宋金宝 SONG Jinbao 宋金明 SONG Jinming
宋林生 SONG Linsheng 王斌贵 WANG Bingui
王 凡 WANG Fan 王广策 WANG Guangce
相建海 XIANG Jianhai 徐奎栋 XU Kuidong
尹宝树 YIN Baoshu 俞志明 YU Zhiming
张国范 ZHANG Guofan 周名江 ZHOU Mingjiang
- 主编助理** Editors-Assistant
宋金明 SONG Jinming 尹宝树 YIN Baoshu
- 编 辑 部** Editorial Office
徐 雯 XU Wen

海洋科学集刊 第 49 集

(2009 年 3 月)

目 录

台湾北部海域黑潮与中尺度涡旋研究进展	刘 泽 陈才生 侯一筠 (1)
长江口及其邻近水域硅酸盐的分布变化特征	潘胜军 沈志良 (10)
长江口外海域三维水动力模拟结果及与观测的比较 ...	王 凯 刘咪咪 施心慧 (19)
重力模型探寻南海北部陆坡特提斯痕迹	鲁银涛 栾锡武 (29)
动物重要经济性状相关分子标记筛选及应用的研究进展	倪 静 尤 锋 张培军等 (44)
真江鳊-黑鲷的网箱生态养殖系统研究	温珊珊 徐姗楠 肖 君等 (55)
亚油酸修饰羧甲基壳聚糖纳米粒固定化菠萝蛋白酶的研究	谭玉龙 刘晨光 刘成圣等 (63)
三种赤潮藻多克隆抗体制备及特异性分析	孙宁波 隋正红 包振民等 (71)
温度和饵料对双刺纺锤水蚤产卵率和孵化率的影响 ...	孙晓红 孙 松 李超伦等 (78)
温度对鱼类摄食及生长的影响	欧阳力剑 郭学武 (87)
中国对虾“黄海 1 号”生长性状对体重的影响效果分析	刘 博 李 健 刘 萍等 (96)
一株菲降解细菌的筛选及其降解条件的优化	雷 欢 黄 栩 田 蕴等 (104)
泥蚶锰超氧化物歧化酶基因的研究	杜莉莉 李太武 苏秀榕等 (112)
速生刺参选育组合胚胎发育及其幼体附着变态效果比较	李成林 胡 炜 宋爱环等 (119)
疏水修饰海藻酸钠纳米粒的制备及鉴定	董学猛 刘晨光 (125)
微波消解-电感耦合等离子体质谱测定海带中硒的含量	于振花 王小如 荆 森等 (133)
不同光生物反应器培养坛紫菜丝状体的比较研究	邓祥元 张 薇 姜 鹏等 (138)
几种胁迫方式对雨生红球藻积累虾青素影响的初步研究	黄水英 齐安翔 李 哲等 (144)
红藻碳代谢的研究进展	李 敏 隋正红 张学成 (152)
海洋微型和小型底栖生物相互作用研究综述	杜永芬 徐奎栋 类彦立 (163)

- by the polychaete *Nephtys incise*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34: 563 – 567
- Tietjen H. 1980. Microbial-meiofauna interrelationships: a review. *Aquatic Microbial Ecology*, p. 335 – 338
- Walters K and Moriarty D J W. 1993. The effects of complex trophic interactions on a marine microbenthic community. *Ecology*, 74: 1475 – 1489
- Wickham S, Gieseke A and Berninger U-G. 2000. Benthic ciliate identification and enumeration: an improved methodology and its application. *Aquatic Microbial Ecology*, 22: 79 – 91
- Wickham S, Nagel S and Hillebrand H. 2004. Control of epibenthic ciliate communities by grazers and nutrients. *Aquatic Microbial Ecology*, 35: 153 – 162
- Wieltchnig C, Fischer U R, Kirschner A K T and Velimirov B. 2003. Benthic bacterial production and protozoan predation in a silty freshwater environment. *Microbial Ecology*, 46: 62 – 72
- Wieltchnig C, Kirschner A K T, Fischer U R and Velimirov B. 2003. Top-down control of benthic heterotrophic nanoflagellates by oligochaetes and microcrustaceans in a littoral fresh water habitat. *Freshwater Biology*, 48: 1840 – 1849

RESEARCH PROGRESS IN THE INTERACTIONS OF MARINE MICRO-AND MEIOBENTHOS

DU Yongfen^{1,2} XU Kuidong¹ LEI Yanli¹

(¹Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

ABSTRACT

The microscopic organisms from sediments are classified into microbenthos and meiobenthos. The former groups are usually referred to protozoa, microalgae and bacteria, whereas the latter comprise micrometazoa defined by mesh-size. Micro-and meiobenthos have been suggested as being one complex and are characterized by their small size, relative short life spans, high turnover rate, and complicated trophic structure. The quantification of the exchange rate of carbon seems a prerequisite for understanding the processes regulating the trophic structure in this complex, where the basic interactions of micro-and meiobenthos include nutrition, competition, synergy and inhibition, etc. The ecological processes mediating the interactions between these groups are poorly understood and invite our attention to more detailed studies. In this paper, we summarize literature data to outline the interactions of the two major assemblages and discuss the main progress in benthic microbial food web.

STUDIA MARINA SINICA, No. 49

(Mar., 2009)

CONTENTS

- Research Development of the Kuroshio and Mesoscale Eddies in the Sea Area North of Taiwan LIU Ze, CHEN Caisheng, HOU Yijun (9)
- Distribution and Variation of Silicate in the Changjiang Estuary and Its Adjacent Waters PAN Shengjun, SHEN Zhiliang (18)
- A Three-dimensional Hydrodynamic Simulation in the Offshore near the Changjiang Estuary
——A Case Study Compared with Observations WANG Kai, LIU Mimi, SHI Xinhui (27)
- Discussion on the Trace of Tethys in the Northern Slope of the South China Sea Using Gravitational Models LU Yintao, LUAN Xiwu (43)
- Research Progress on the Applications and Selections of Related DNA Molecular Marks with Animal Important Economic Traits NI Jing, YOU Feng, ZHANG Peijun, *et al.* (54)
- Study on Ecological Culture System of *Gracilaria verrucosa-Sparus macrocephalus* in Fish Cage-farming Areas WEN Shanshan, XU Shannan, XIAO Jun, *et al.* (62)
- Study on Linoleic Acid Modified Carboxymethyl Chitosan Nanoparticles Fixation Bromelain TAN Yulong, LIU Chenguang, LIU Chengsheng, *et al.* (69)
- The Preparation and Characterisation Analysis of Polyclonal Anti-bodies Against the Three Kinds of Red-tide Algae SUN Ningbo, SUI Zhenghong, BAO Zhenmin, *et al.* (77)
- The Effects of Temperature and Diet on Egg Production and Hatching Success of *Acartia biflosa* (Copepoda: Calanoida): A Laboratory Investigation SUN Xiaohong, SUN Song, LI Chaolun, *et al.* (85)
- The Effect of Temperature on the Feeding and Growth of Fish OUYANG Lijian, GUO Xuewu (94)
- Mathematical Analysis of Effects of Morphometric Attributes on Body Weight for *Fenneropenaeus chinensis* LIU Bo, LI Jian, LIU Ping, *et al.* (103)
- Isolation of Phenanthrene-degrading Bacteria and Optimization for Degrading Activity of Phenanthrene LEI Huan, HUANG Xu, TIAN Yun, *et al.* (111)

- Cloning and Analysis of Core Sequence of *Tegillarca granosa* Mn-Superoxide Dismutase
Gene DU Lili, LI Taiwu, SU Xiurong, *et al.* (118)
- Comparations of Embryo Development and Juvenile Metamorphosis between Different
Hybridization Groups of *Apostichopus japonicus* (Selenka)
..... LI Chenglin, HU Wei, SONG Aihuan *et al.* (124)
- Synthesis and Appraisalment of Nanoparticles of Hydrophobically Modified Alginate
..... DONG Xuemeng, LIU Chenguang (131)
- Determination of Selenium in Kelps by Microwave Digestion-Inductively Coupled Plasma
Mass Spectrometry YU Zhenhua, WANG Xiaoru, JING Miao, *et al.* (137)
- Comparison of Photobioreactors for Cultivation of *Porphyra Haitanensis* Sporophytes
..... DENG Xiangyuan, ZHANG Wei, JIANG Peng, *et al.* (143)
- Initial Studies on the Effects of Stress Conditions on Astaxanthin Accumulation of
Haematococcus pluvialis
..... HUANG Shuiying, QI Anxiang, LI Zhe, *et al.* (150)
- Advance on the Study of Carbon Metabolism in Rhodophta
..... LI Min, SUI Zhenghong, ZHANG Xuecheng (162)

台湾北部海域黑潮与中尺度涡旋研究进展^{*}

刘 泽¹ 陈才生¹ 侯一筠²

(¹ 河海大学理学院, 南京 210098)

(² 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

黑潮源自我国台湾省东南及巴士海峡以东海域, 具有流速强、流量大、高温高盐等特点, 是一支强大的西边界流。位于 130°E 以西海域的黑潮, 主要流经东海陆架外缘, 简称为“东海黑潮”。中尺度涡的垂向尺度在 100m 以上, 水平尺度和时间尺度分别为 100km 和 10d 数量级, 且具有强大的动能。台湾东北海域, 海底地形变化比较复杂。中、西部为广阔的东海陆架, 最大深度不超过 200m 等深线。冲绳海槽位于东海东南边缘, 平行于琉球岛弧展布约 1200km, 海槽主体深度大于 1000m, 为东海陆架与琉球群岛之间的地貌分界线。黑潮由台湾东岸进入东海, 大致沿陆架坡折处向东北方向流动, 并伴有入侵陆架的现象。东海黑潮与台湾海峡水在陆架区的相互作用, 以及台湾以北海域的若干涡旋, 是本研究关注的对象。

20 世纪 80 年代开始的“中日黑潮合作调查研究”(以下简称“中日调查”)为我们提供了丰富的实测资料, 并取得了众多重要成果。作者以“中日调查”的结论为基础, 并将关注的海域确定为 24°~31°N、130°E 以西(见图 1), 同时结合卫星、跟踪浮标等现代观测手段, 对黑潮及涡旋近年来的研究进展进行综述分析。

一、台湾以北的东海黑潮

1. 东海黑潮路径与流量的变化

台湾东北方的钓鱼岛-赤尾屿附近是黑潮表层流轴季节变异最复杂的海域。管秉贤

^{*} 国家重点自然科学基金项目“中国海黑潮区关键动力过程的非线性特征及其预测方法(90411013)”和中国科学院知识创新工程方向项目“中国近海海洋动力环境的预测、评估方法与信息集成系统”(KZCX2-YW201)资助。

通讯作者: 侯一筠, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事物理海洋学方面的研究; E-mail: yjhou@ms.qdio.ac.cn。

刘泽, 男, 硕士; E-mail: liuze1982@qq.com。

在本文的立意和文献翻译方面, 得到了中国科学院海洋研究所乐肯堂研究员的指导和帮助; 台湾大学海洋研究所陈庆生(C. S. Chern)教授提供了相关的文献资料; 审稿专家提出了宝贵的修改意见和建议, 在此一并致谢。

收稿日期: 2008 年 1 月 15 日。

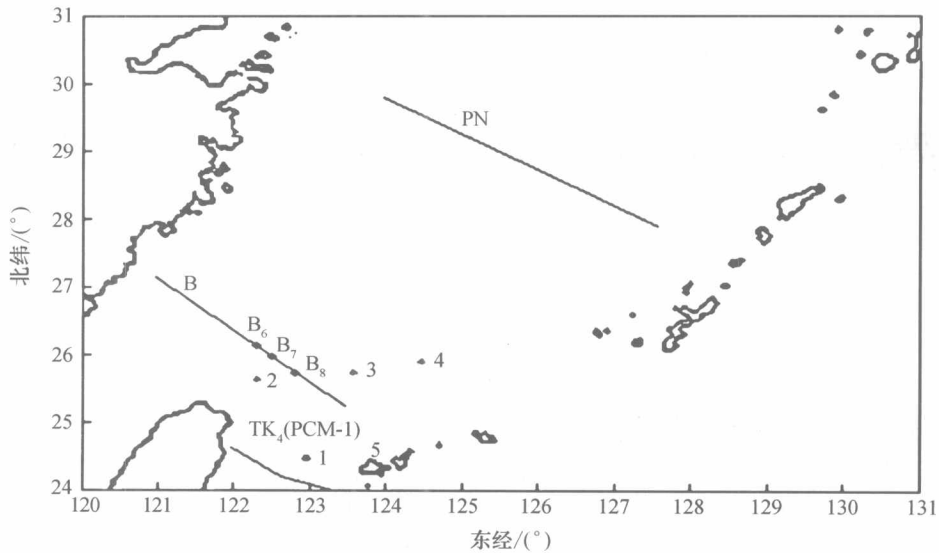


图1 研究海域简图

图中数字表示: 1. 与那国岛; 2. 彭佳屿; 3. 钓鱼岛; 4. 赤尾屿; 5. 西表岛

(1979)指出, 秋、冬季黑潮表层流轴总出现一个不大的反气旋式的小弯曲。其他研究显示, 在四季以及年平均, 此海域的黑潮表层路径, 均有一个先向北伸再折向东南或东的弯曲现象。相对讲, 春夏两季路径比较平直; 秋冬两季向北凸出的曲率最大。郭炳火等(1987)根据“中日调查”中走航表温度计的表面温度资料, 得到冬季黑潮在台湾东北方出现明显弯曲的现象, 并指出这是东海黑潮一个十分显著的动力特征。

黑潮断面流量的计算, 主要集中在台湾东部的 TK_4 (或 PCM-1) 断面和东海中部的 PN 断面。通过对断面流速的观测, 可以大致确定黑潮流核的位置以及黑潮主轴的变化趋势。Yuan 等(1998)对 1995 年 10 月两个航次的水文资料进行分析, 认为黑潮进入东海时出现了两个分支。黑潮的主体部分由台湾岛东岸向北流经 TK_4 断面西段, 苏澳以东 300m 以深海域出现流核, 其表层最大流速达 117cm/s ; 次分支向北流经 TK_4 断面西段, 由与那国岛和西表岛之间进入东海, 西表岛以西也有流核存在, 且表层最大流速为 136cm/s 。采用改进逆方法, 得到在观测期内 TK_4 断面的流量约为 21.6Sv ($1\text{Sv} = 10^6\text{m}^3/\text{s}$)。Liu 等(1998)根据 1990 年 10 月 ~ 1995 年 5 月 12 次水文调查资料, 在对比锚定 ADCP 测流数据和绝对地转流输送后, 对 PCM-1 断面的多年平均流量估计约为 $22.6 \sim 23.7\text{Sv}$ 。Johns 等(2001)通过 PCM-1 断面锚定浮标的观测数据的研究, 给出了 1994 年 9 月 ~ 1996 年 6 月间台湾以东黑潮流量的均值为 $21.5\text{Sv} \pm 2.5\text{Sv}$, 且明显具有趋于 100d 的季节内振荡周期。贾英来等(2004)利用基隆和石垣两个验潮站 18 年的海平面高度记录并结合 SODA 海洋数据同化资料, 探讨了台湾以东黑潮流量的年际变化及其与风应力旋度的关系, 并指出在黑潮大弯曲频发的年份, 台湾以东黑潮流量偏大, 与台湾以东太平洋区域风应力旋度间的关系较好; 在没有黑潮大弯曲的年份, 台湾以东黑潮流量偏低, 和台湾以东太平洋区域风应力旋度间的关系较差。

比较黑潮上、下游水文资料显示, 在 PN 断面的黑潮流轴摆动和流量变异均为最小; 从海流的稳定性来讲, PN 断面也是研究东海黑潮水与陆架水交换的理想断面。刘勇刚等(1998)根据 1992 年 4 个航次的水文资料, 得出 PN 断面的净北向流量夏季最大, 秋季最小, 冬、春季介于两者之间, 断面的净北向流量年平均值约为 $28Sv$; PN 断面黑潮在春、秋季均有两个流核, 冬夏两季则只存在一个流核, 且主核心稳定在陆架的坡折处。陈红霞(2006)对 PN 断面 47 年的水文观测资料进行统计, 指出东海黑潮的流结构可归结为单核、双核与多核等基本形态, 且具有显著的时间变化。多核结构在秋季比较明显, 单核结构多出现于冬季, 双核结构在春、夏季出现的概率则超过 50%; 但无论是何种结构, 黑潮的主流核均位于陆架斜坡的坡折处, 且流轴稳定。袁耀初等(2001)分析了 1997~1998 年 10 个航次的 CTD 资料并与以前的水文资料进行比较, 发现黑潮的流量和流结构都存在异常变化。1997 年厄尔尼诺现象发生期间, 东海黑潮流量在夏季是最少的, 通过 PN 断面的净北向流量年平均值也下降到 $25Sv$ 。1998 年夏、秋季的 4 个航次调查, 均在 PN 断面上出现了多核结构, 且主流核的位置在秋季时东移。需要注意, 1998 年夏季, 厄尔尼诺现象逐渐向拉尼娜现象过渡, 且后者的强度较大。

2. 黑潮锋与跃层现象

东海黑潮锋是一条以温度为主导的、太平洋西边界最强的海洋锋。郑义芳等(1987)基于“中日调查”冬、秋两个航次的温、盐资料指出, 冬季黑潮锋区是流动过程中与邻近低温水相汇形成的; 而夏季, 黑潮锋区则是由于受陆架斜坡和黑潮主流向东北流的诱导引起黑潮次表层低温水爬坡涌升形成的。因此, 黑潮锋主要以较强的温度水平梯度为标志, 仅在夏季的表层出现盐度锋。于洪华等(1991)根据 1977~1984 年间 KER 资料及“中日调查”期间的水文观测资料, 得到黑潮锋位的季节性变化: 在台湾东北海域, 均不同程度地显示出锋位拉伸入陆架, 而后又转向东北的分布趋势, 其中冬季入侵陆架势力强, 夏季退向外海一侧, 春秋两季介于冬、夏季之间。王元培(1987)也指出, 冬季黑潮锋沿 100m 等深线向东北延伸, 至 $26^{\circ}N$ 附近折向东南, 形成一个小弯曲, 曲率较大。Lin 等(1992)在分析卫星水温影像资料的基础上, 总结出三种黑潮锋型。第一种锋型自台湾东北沿陆架坡折处向东北方向延伸, 此锋型主要盛行于夏季; 第二种锋型在距台湾东北约 100km 处产生一个气旋式锋面涡旋, 除夏季和初秋以外的各个月份, 此锋型均有出现且具有较强的温度梯度; 第三种锋型沿台湾东北岸线弓形向西延伸再转向东方, 此锋型盛行于冬季且温度梯度最大。

冬季, 东海受偏北季风控制, 浅海区跃层现象基本消失, 温、盐度的垂直分布呈现出近似垂直均匀的状态。只有在台湾北部黑潮偏转的局部海域, 出现弱温跃层。夏季, 东海温、盐跃层进入强盛期, 整个东海普遍出现跃层现象, 但其深度较浅、变化较大, 并以盐度跃层为主。需要注意的是, 以长江径流为主的低盐系统, 使得低盐水域占据着研究海区的大部分。

3. 黑潮对东海陆架的入侵

在“中日调查”期间的结论表明, 黑潮在台湾以北海域终年入侵陆架, 只是规模

和形态有所不同(苏纪兰等, 1990)。在夏季, 黑潮入侵主要表现为黑潮次表层水的涌升, 而上层的黑潮高温高盐水只发生部分入侵且位于下游; 在冬季, 黑潮上层水大举入侵陆架并伴随出现黑潮逆流, 黑潮次表层水只在台湾以北 100m 等深线附近的近底层才有表露。潘玉球等(1990a)认为, 夏、冬季陆架区海水密度的轻、重和黑潮进入东海后失去台湾岸线的“支撑”, 是引起该海域水文结构产生季节性差异的主要原因。

Chern 等(1990, 1992a)认为, 黑潮次表层水入侵东海陆架是一个持续现象, 而在夏季却未发现黑潮表层水入侵的迹象。Chuang 等(1994)则认为黑潮于夏季存在入侵现象, 且与经过台湾东北部或其远海海面的台风有关。Tang(1999)分析了 1994 年 4 月贴近台湾东北部近岸的 ADCP 资料, 并指出流动在台湾东北陆坡处的空间模式由三部分组成: 向岸入侵的黑潮表层水; 约 200m 深度存在一支西南向逆流; 在台湾岛北部尖端处离岸方向的气旋式环流, 此环流的存在使得陆架水向黑潮方向流动。Lie 等(2002)认为在台湾东北海域的环流系统中, 主要存在沿东海陆架外缘向东的黑潮主流, 侵入东海陆架的北向分支以及台湾东北做逆时针爬坡的西向分支; 黑潮向陆架方向的入侵, 主要集中在 200m 以浅的上层。同时, 入侵的黑潮水将在陆架外缘分为三部分: 西向分支在陆架坡折处形成气旋式环流; 北向分支可侵入到东海陆架中部; 东北向分支沿陆架在下游汇入黑潮主体。于非等(2002)对 20 年的 Argos 卫星跟踪漂流浮标资料进行统计, 发现随黑潮流入东海的 110 个浮标中, 有 31 个浮标在台湾东北区域入侵陆架, 且运动时间集中在秋季和冬季。Lee 等(2007)根据实测数据和模式结果分析, 指出黑潮入侵 200m 等深线的现象终年存在, 进一步入侵陆架至 80m 以浅的现象仅在春季开始并持续至秋季结束。

二、台湾暖流

1. 台湾海峡水与黑潮水的相互作用

Chern 等(1992b)指出, 台湾海峡水与黑潮入侵的次表层水的动力学平衡, 对台湾以北陆架环流起着决定性作用。当台湾海峡的北向流较强时, 黑潮的入侵现象将被限制在陆架外缘, 陆架表层水的典型盐度在 34psu 以下; 当北向流减弱时, 低温高盐的黑潮次表层水将深入到东海陆架中部, 受其影响, 台湾北部海面的盐度值将在 34.1psu 以上。Hsueh 等(1993)根据水文观测资料, 认为夏季台湾近岸的涡旋场水体明显具有高温低盐的特点, 这并不像黑潮水, 而更像是侵入东海的台湾海峡水。乐肯堂(2003)根据“中日调查”和其他资料提供的水文状况, 对东海南部陆架区环流和台湾暖流区环流结构进行了总结, 并指出在 28°N 以北存在着两支海流, 一支为沿 50m 等深线北上的台湾暖流; 另一支为沿 100m 等深线向东北流动的东海暖流。其中, 东海暖流水的主要来源为黑潮水, 而在夏季的表层则以台湾海峡水为主。

2. 台湾暖流水的来源

上述关于黑潮锋和黑潮入侵陆架现象的叙述, 对解释台湾暖流水的来源及流向等问题, 有很大的帮助。台湾暖流水的来源, 目前还没有一致的结论。早期的研究认为台湾

岛东北海域有一北上的黑潮分支; 也有夏季台湾暖流来自台湾海峡的结论。在“中日调查”的盐度调查中发现, 台湾海峡北部盐度小于 34.4×10^{-3} , 东海近岸底层冷水的核心区域盐度却大于上述该值, 所以东海近岸的深底层冷水不可能来自台湾海峡, 而应来自台湾岛东北部海域。翁学传(1984)根据 1930 ~ 1966 年间台湾海峡平均温、盐资料得出, 台湾暖流表层水是由台湾东北侧北上的黑潮表层水和来自台湾海峡的海水混合形成的。

在冬季, 黑潮表层水将涌入台湾北部陆架水域, 与台湾暖流水汇合形成黑潮锋。由于锋面两侧的温、密度差异较大, 黑潮表层水不可能越过海洋锋继续深入陆架, 而应沿海洋锋东侧退出陆架。同时, 夏季的陆架水比黑潮上层水轻, 这使得黑潮表层水很难侵入东海陆架, 进而诱导了次表层水涌升并入侵陆架。通过水文观测和相应的数值实验, 可以认为冬季的台湾暖流水, 其上层为黑潮表层水和台湾海峡水的混合, 夏季则是台湾海峡水占主要部分; 在近底层, 台湾暖流水应来自终年入侵陆架的黑潮次表层水(伍佰瑜, 1991; 陈敏, 2002)。

三、台湾以北海域的涡旋

1. 东海西南的暖涡

在夏季, 东海西南部会出现一个反气旋式涡旋, 这一现象已成为大家的共识。由于观测时间和资料的不同, 对该暖涡水体来源和形成机制的研究, 目前仍存在分歧。邢成军(1983)利用 1967 年和 1973 年两个夏季航次的调查资料, 指出该暖涡位于台湾暖水舌的内尖端, 且具有高温、低盐的特点。考虑到夏季东海的盐度分布以及台湾暖流水的构成, 可认为此暖涡水体来源为台湾海峡水。但在“中日调查”中的资料显示, 该暖区盐度超过 34×10^{-3} , 具有高盐特征, 这说明暖涡水体中应有黑潮上层水(宋万先, 1987)。潘玉球等(1987)认为, 在形成机制方面, 该暖涡虽没有强的密度环流, 但具有生成的环境条件。在该海区中、上层的台湾暖流外海侧分支流路有反气旋的弯曲特征, 部分黑潮表层水从台湾东北向北弯曲段内侵入。上层高温高盐水在弯曲处内侧堆积并促使跃层下陷, 这种状态必然会引起暖涡的生成。这也说明, 该暖涡的水体来源应是台湾海峡水与黑潮上层水的混合。但在冬季, 该海区的实测资料没有显示此涡旋的存在。

2. 台湾东北部的冷涡

在台湾东北海域 26°N 附近, 经常可以观测到一个尺度不大的气旋式涡旋, 且在夏季尤为明显。如上所述, 黑潮进入东海时, 表层流轴将在台湾东北部产生弯曲, 进而引起黑潮次表层水涌升形成上升流; 而台湾东北海域的海底地形, 也有助于诱发上升流。管秉贤(1978)认为是海流在绕过台湾岛时产生的尾涡。潘玉球(1990b)认为该冷涡形成的动力因子, 是为了平衡部分夏季黑潮进入东海后产生的水位梯度。修树孟等(2001)通过对卫星遥感资料的分析, 认为东海西南的暖涡至少在夏季对台湾东北的上升流具有明显的调制作用, 并指出中尺度暖涡诱导陆架上升流的必然性。而 Wong 等(2000)认为, 台湾东北海域的上升流虽然存在季节性变化, 但却是终年存在的, 且有时上升流强

度会直至海面。

断面温盐结构的研究,有助于认识黑潮的入侵和涡旋的生成,而“中日调查”期间的B断面是距台湾岛最近的一条横向断面。夏综万等(1987)通过对B断面水文资料的分析并与其他断面资料进行比较,指出在夏季的陆架边缘,均存在着黑潮次表层水的涌升和入侵现象,并以B断面涌升最高。在 B_6 到 B_8 站之间,从海底到近海面均有低温水舌上凸,且在50m到20m之间等温线特别密集;盐度和密度分布也有相似结构。冬季黑潮上层高温高盐水入侵陆架,且“深度”较大,但断面的温、盐分布的上凸现象并不明显。这与我们叙述黑潮入侵陆架及跃层分布的情况相符。

表征冷涡最显著的要素为温度,具有冷中心并有闭合等温线构成若干同心圆的水域即为冷涡。孙湘平等(1997)根据1985年1月~1989年8月的CTD资料分析,指出台湾东北近海于春、夏、秋三季均有海水涌升现象。在100m层以上,存在等温线不闭合的冷水块;在20m层和50m层呈现等温线闭合的冷涡。但冬季的温度资料不易反映出海水的涌升现象。该海域冬季海水的涌升现象,可借鉴海洋化学要素的分布情况(王桂云等,1987)。上升流可以将下层海水中丰富的营养盐带到上层,因此营养盐分布是上升流的很好示踪。仍以B断面为例,营养盐浓度在冬、夏季的断面分布基本相同。冬季的断面中部(B_7 站),各化学要素等值线均从200m深度起向上密集隆起直达30m深度,但范围较夏季有所缩小。

对于该涡旋是否存在于从表至底的整个垂直水层,目前还没有明确的结论。根据测流资料显示,B断面以南的彭佳屿附近区域下层流为稳定的西北方向(郭炳火等,1985);台湾大学1981年在该海区位于涡旋西南侧的两个浮标站余流资料,显示表层流向为东南,可见此涡旋似仅存在于上层。

3. 黑潮东侧的涡旋

黑潮东侧经常出现逆流现象,奄美大岛以西、冲绳岛以西海域的逆流区比较稳定、季节性变化不大,且具有较强的流速。特别在奄美大岛以西海域存在一个尺度较大的反气旋涡,这是黑潮通过吐噶喇海峡前作反气旋弯曲形成的(袁耀初等,2007)。早期的调查中,对该区域漂流浮标的漂流路径或GEK表面流图的分析,均能证实上述涡旋的产生与黑潮逆流有关,特别在夏季,暖涡的形成尤为明显(孙湘平,1987)。在Ichikawa(2002)绘制的东海50m层季节平均的温、盐度分布图上,黑潮东侧明显存在一条近似封闭的高温水舌,自宫古岛经琉球岛链向冲绳岛方向延伸。袁耀初等(2006)在2000年5个航次的观测中,于PN断面东侧发现上述暖的反气旋式涡旋存在,且10月最强、11月时却出现弱的反气旋式涡旋。黑潮东侧的暖涡似与黑潮的流量密切相关,涡旋强则黑潮流量减小,反之亦然。这说明黑潮与中尺度涡旋的相互作用是十分重要的。

4. 黑潮锋面涡旋

前面叙述指出,存在于陆架边缘处的强锋面,阻碍了陆架水和黑潮水的交换。但在“中日调查”期间的黑潮下游、东海陆架或陆坡附近,曾多次观察到黑潮锋面涡旋,且在冬春两季最为频繁(郑义芳等,1992)。特别在日本九州岛西南海域的陆架坡折处,锋面涡

旋十分发达, 且较为稳定。锋面涡在水体交换中起了重要作用, 它以中尺度的形式将黑潮水向陆架区输送, 同时将较轻的陆架水卷入黑潮。郭炳火等(1995)在1992年春季东海黑潮锋面涡的专题调查中指出, 发生在黑潮西侧的锋面涡叠加在陆架斜坡的涌升区, 涡中心呈狭长带状, 且存在涌升冷水和卷入的陆架混合水两种不同性质的水团。

四、讨论与问题

通过以上叙述, 台湾以北海域的黑潮与涡旋的研究已经获得了许多的成果, 但也有需要解决的问题。通过长期的观测, 虽然得到了东海大致的水文和环流特点, 但对于两者之间的联系, 还没有令人满意的论述, 特别是在黑潮与中尺度涡旋的相互作用、黑潮水与陆架水在陆坡处的相互作用等方面。在研究台湾北部的黑潮时, 很有必要将中国南海、台湾海峡和中国东海看做一个整体来关注(Tang *et al.*, 1999)。许多学者都认为, 在整个东海环流系统里, 黑潮、地形效应和热盐效应起主要作用, 季风的影响和台湾海峡水的流出量也是不能忽略的因素(奚盘根等, 1980; Liu *et al.*, 1992)。

关于黑潮与两侧的中尺度涡旋, 其变化规律与季节交替不能很好地吻合。因此, 确定变化的循环周期应是下一步研究的方向之一。在台湾东北这一关键海区, 上升流的动力机制和黑潮与中尺度涡旋的相互作用, 黑潮的非线性行为(如黑潮的台湾暖流分支和黑潮两侧冷、暖涡现象)及其年际、年代际变化特征, 建立研究区黑潮和中尺度涡旋的动力学模式等问题, 也是关注的重点内容。

参考文献

- 陈红霞, 袁业立, 华锋. 2006. 东海黑潮主段 G-PN 断面的多核结构. 科学通报, 51(6): 730-737
- 陈敏. 2002. 冬季东中国海环流及中尺度涡旋数值模拟. 中国科学院海洋研究所硕士学位论文
- 管秉贤. 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: 1-17
- 管秉贤. 1979. 东海黑潮变异研究的若干结果. 海洋与湖沼, 10(4): 299-306
- 郭炳火, 林葵, 宋万先. 1985. 夏季东南南部海水流动的若干问题. 海洋学报, 7(2): 144-153
- 郭炳火, 卢景明, 林葵等. 1987. 东海环流的某些特征. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 15-32
- 郭炳火, 汤毓祥, 陆赛英等. 1995. 春季东海黑潮锋面涡旋的观测与分析. 海洋学报, 17(1): 13-23
- 贾英来, 刘秦玉, 刘伟等. 2004. 台湾以东黑潮流量的年际变化特征. 海洋与湖沼, 35(6): 507-512
- 刘勇刚, 袁耀初. 1998. 1992 年东海黑潮的变异. 海洋学报, 20(6): 1-11
- 潘玉球, 苏纪兰, 徐端蓉. 1987. 1984 年 6~7 月台湾暖流附近海域的水文状况. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 118-132
- 潘玉球, 苏纪兰, 徐端蓉. 1990a. 台湾以北海域夏、冬季的海洋学特征及其变异. 黑潮调查研究论文选(二), 北京: 海洋出版社, 126-135
- 潘玉球, 苏纪兰, 徐端蓉. 1990b. 1986 年 5~6 月台湾以北水文状况的分析. 黑潮调查研究论文选(一), 北京: 海洋出版社, 125-136
- 宋万先. 1987. 1984 年 6~7 月东海黑潮及其邻近海域的水文特征. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 99-117
- 苏纪兰, 潘玉球. 1990. 台湾以北黑潮入侵陆架途径的探讨. 黑潮调查研究论文选(二), 北京: 海洋出版社, 187-197
- 孙湘平, 修树孟. 1997. 台湾东北海域冷涡的分析. 海洋学报, 16(2): 1-10
- 孙湘平. 1987. 东海黑潮表层流路(途径)的初步分析. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 1-14
- 王桂云, 臧家业. 1987. 东海海洋化学要素含量及其分布. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 267-284

- 王元培. 1987. 1984 年 12 月 ~ 1985 年 1 月东海黑潮及其邻近海域的水文特征. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 133 - 148
- 翁学传等. 1984. 台湾暖流水 (团) 夏季 T-S 特征和来源的初步分析. 海洋科学集刊, 22: 113 - 132
- 伍佰瑜. 1991. 黑潮和中国近海环流. 台湾海峡, 10(1): 25 - 32
- 奚盘根, 张淑珍, 冯士筭. 1980. 东中国海环流的一种模式 I 冬季环流的数值模拟. 山东海洋学院学报, 10(3): 13 - 26
- 夏综万, 王鍾裙, 郑义芳. 1987. 关于台湾东北海域的一个冷涡. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 228 - 237
- 邢成军. 1983. 1973 年夏季一个反气旋型涡旋的初步分析. 海洋与湖沼, 14(3): 263 - 268
- 修树孟, 王克因, 孙培光. 2001. 台湾东北海域冷涡及其变异的遥感信息研究 I 冷涡的季节性变化. 黄渤海海洋, 19(2): 57 - 64
- 于非, 臧家业, 郭炳火等. 2002. 黑潮水入侵东海陆架及陆架环流的若干现象. 海洋科学进展, 20(3): 21 - 28
- 于洪华, 苗育田. 1991. 东海黑潮锋的特征分析. 黑潮调查研究论文选(三), 北京: 海洋出版社, 204 - 211
- 袁耀初, 管秉贤. 2007. 中国近海及其附近海域若干涡旋研究综述 II 东海和琉球群岛以东海域. 海洋学报, 29(2): 1 - 17
- 袁耀初, 刘勇刚, 苏纪兰. 2001. 1997 ~ 1998 年 El-Nino 至 La-Nina 期间东海黑潮的变异. 地球物理学报, 44(2): 199 - 210
- 袁耀初, 杨成浩, 王彰贵. 2006. 2000 年东海黑潮和琉球群岛以东海流的变异 I 东海黑潮及其附近中尺度涡的变异. 海洋学报, 28(2): 1 - 13
- 乐肯堂. 2003. 东海的水文和环流. 中国海洋志, 河南: 大象出版社, 161 - 180
- 郑义芳, 郭炳火, 汤毓祥等. 1992. 东海黑潮锋面涡旋的观测. 黑潮调查研究论文选(四), 北京: 海洋出版社, 23 - 32
- 郑义芳, 谭铎. 1987. 东海海洋锋和跃层现象. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 190 - 203
- Chern C S and Wang J. 1990. On the Kuroshio branch current north of Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 25: 55 - 64
- Chern C S and Wang J. 1992a. On the seasonal variation of the Kuroshio intrusion onto the East China Sea. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 29: 1 - 17
- Chern C S and Wang J. 1992b. The influence of Taiwan Strait waters on the circulation of the southern East China Sea. *La mer*, 30(3): 223 - 228
- Chuang W S and Wu C K. 1991. Slope-current fluctuations northeast of Taiwan, winter 1990. *Journal of Oceanography*, 47: 185 - 193
- Chuang W S and Liang W D. 1994. Seasonal variability of intrusion of the Kuroshio water across the continental shelf northeast of Taiwan. *Journal of Oceanography*, 50: 531 - 542
- Hsueh Y, Chern C S and Wang J. 1993. Blocking of the Kuroshio by the continental shelf northeast of Taiwan. *Journal of Geophysical Research*, 98(C7): 12351 - 12359
- Hsueh Y, Wang J and Chern C S. 1992. The intrusion of the Kuroshio across the continental shelf northeast of Taiwan. *Journal of Geophysical Research*, 97(C9): 14323 - 14330
- Ichikawa H and Beardsley R C. 1993. Temporal and spatial variability of volume transport of the Kuroshio in the East China Sea. *Deep-Sea Research I*, 40(3): 583 - 605
- Ichikawa H and Beardsley R C. 2002. The current system in the Yellow and East China Seas. *Journal of Oceanography*, 58: 77 - 92
- Johns W. E., Lee T. N., Zhang Dongxiao *et al.* 2001. The Kuroshio east of Taiwan: Moored transport observations from the WOCE PCM-1 Array. *Journal of Physical Oceanography*, 31: 1031 - 1053
- Lee S J and Takeshi Matsuno. 2007. Intrusion of Kuroshio water onto the continental shelf of the East China Sea. *Journal of Oceanography*, 63: 309 - 325
- Lie H J and Cho C H. 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. *Fisheries Oceanography*, 11(6): 318 - 328
- Lin C Y, Shyu C Z and Shih W H. 1992. The Kuroshio fronts and cold eddies off northeastern Taiwan observed by NOAA-AVHRR imageries. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 3: 225 - 242

- Liu C T, Cheng S P, Chuang W S *et al.* 1998. Mean structure and transport of Taiwan Current (Kuroshio). *Acta Oceanographica Taiwanica*, 36(2): 159 – 176
- Liu K K, Gong G C, Zhyu C Z *et al.* 1992. Response of Kuroshio upwelling to the onset of northeast monsoon in the sea north of Taiwan: Observations and a numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*, 97: 12511 – 12526
- Tang T Y, such Y H, Yang Y J *et al.* 1999. Continental slope flow northeast of Taiwan. *Journal of Physical Oceanography*, 29: 1353 – 1362
- Tang T Y and Yang Y J. 1993. Low frequency current variability on the shelf break northeast of Taiwan. *Journal of Oceanography*, 49: 193 – 210
- Wong George T F, Chao S Y, Li Y H *et al.* 2000. The Kuroshio edge exchange processes (KEEP) study — an introduction to hypotheses and highlights. *Continental Shelf Research*, 20: 335 – 347
- Yang Y, Liu C T, Hu J H *et al.* 1999. Taiwan current (Kuroshio) and impinging eddies. *Journal of Oceanography*, 55: 609 – 617
- Yuan Y C, Liu Y G, Liu C T *et al.* 1998. The Kuroshio east of Taiwan and the currents east of the Ryukyu-gunto during October of 1995. *Acta Oceanologica Sinica*, 17(1): 1 – 13

RESEARCH DEVELOPMENT OF THE KUROSHIO AND MESOSCALE EDDIES IN THE SEA AREA NORTH OF TAIWAN

LIU Ze¹ CHEN Caisheng¹ HOU Yijun²

(¹College of Sciences, Hohai University, Nanjing 210098)

(²Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT

The Kuroshio, originating from the sea area southeast of Taiwan and east of Bashi Channel, is the western boundary current of the Pacific and has the characteristics of strong flows, high temperature and high salinity. Mesoscale eddies have strong kinetic energy with a vertical extent of 100m and a horizontal magnitude of 100km. The submarine topography northeast of Taiwan has complicated structures. The continental shelf region shallower than 200m occupies the western and middle part of the East China Sea (ECS). In the southeastern ECS lies the deep Okinawa Trough, in which the main depth can reach more than 1000m. It is the geomorphological separatrix between the continental shelf and the Ryukyu Islands. The Kuroshio enters the ECS along the east coast of Taiwan, flows northeastward along the shelf slope, and hence intrudes across the shelf break. In this paper, our concern is the interaction between the Kuroshio in ECS and the Taiwan Strait waters on the continental shelf. Meanwhile the mesoscale eddies in the north of Taiwan is another attention point.

长江口及其邻近水域硅酸盐的分布变化特征^{*}

潘胜军^{1,2} 沈志良¹

(¹ 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071)

(² 中国科学院研究生院, 北京 100049)

由于沿海经济的快速发展, 人为活动影响加重, 长江口海区富营养化程度和范围逐年加重和扩大, 已经成为我国有害赤潮高发区之一, 有记录的赤潮事件约 1/4 发生在这个海区(周名江等, 2003), 从而引起了科学家们的高度重视。赤潮的发生很大程度上与营养盐时空分布特征密切相关(Hodgkiss *et al.*, 1997)。

巨大的长江径流不断地向河口及邻近水域输送营养盐, 成为有机生命生存和发展的物质基础。长江入海径流中营养盐含量以硅酸盐为最多, 为硅藻的繁殖生长提供了丰富的营养物质。关于长江口及其邻近海域营养盐的分布变化, 已有不少报道。王方正等(1983)指出在长江口海域中, 硅酸盐($\text{SiO}_3\text{-Si}$)具有良好的保守性; 沈志良(1991)报道长江每年向长江口海区输送 $222.10 \times 10^4 \text{ t}$ 硅酸盐; 王保栋等(2002)根据长江口及其邻近海域硅酸盐和硝酸盐的分布特征, 提出了长江冲淡水双向扩展的观点。然而, 上述调查大多只有丰水期和枯水期两季, 且仅限于分析长江口门外及其附近营养盐的分布变化, 口门内的报道很少, 而口门内的研究能更清楚地说明营养盐的来源及其在河口的转移过程; 相对于氮和磷, 有关 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 的调查研究较少。作者对 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 在长江口内及其邻近海域四个季节的分布特征和变化规律进行了分析讨论, 为更好地了解长江口生态环境变化提供参考。

一、调查和分析方法

研究资料来源于 2004 年 2、5、8、11 月的 4 次调查, 分别代表冬、春、夏、秋 4 个季节。在长江口海域设 7 个断面共 40 个站位(图 1), 其中口门内包括 35-39 号 5 个站位。利用颠倒采水器根据各站水深采集表、底层以及 5、10、20、30 水层水样。水样经 Whatman GF/F 滤膜过滤后加 0.3% 的氯仿固定, 储存于聚乙烯瓶中, 立即于低温冰箱

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-232); 国家自然科学基金重点基金资助项目(50339040); 国务院三峡工程建设委员会资助项目(SX2004-010)。

通讯作者: 沈志良, 研究员, 博士生导师, 从事海洋生物地球化学研究; E-mail: zlshen@ms.qdio.ac.cn。

作者简介: 潘胜军(1982—), 男, 山东邹平人, 硕士; E-mail: panshengjun@ms.qdio.ac.cn。

致谢: 盐度、叶绿素 a 数据分别由张启龙教授、张芳博士提供, 谨致谢意!

收稿日期: 2007 年 10 月 25 日。