

东海黑潮及琉球群岛以东海流研究进展^{*}

胡 珀^{1, 2} 侯一筠¹ 乐肯堂¹ 王 铮^{1, 2}

(¹中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(²中国科学院研究生院, 北京 100039)

东海是西太平洋的一个边缘海, 它西部有广阔的大陆架, 东面以九州岛、琉球群岛(由奄美诸岛、冲绳诸岛、先岛诸岛组成)和台湾岛连线为界, 具有较深的海槽。黑潮是一支高温、高盐、高流速的西边界流, 它起源于菲律宾以东海域, 流经台湾东岸进入东海, 沿东海大陆架外缘向东北向流动, 穿越吐噶喇海峡返回太平洋。通常的把自台湾东北端起至吐噶喇海峡一段称为东海黑潮。此外, 在琉球群岛以东海域也常年存在一支稳定的西边界流, 称为琉球海流。

对于东海黑潮和琉球海流的研究, 主要起步于 20 世纪 80 年代, 通过进行中日联合调查研究、中日副热带环流调查研究等, 取得了许多重要成果, 苏纪兰(1994)、袁耀初(2000, Yuan 2006)、管秉贤(2002)等人都做过评述。本文基于以上研究评述, 主要叙述 2000 年以来对东海黑潮及琉球海流的研究新进展。

一、东海黑潮

1. 主轴研究

通过孙湘平(1987)等利用日本观测的历史资料和中日黑潮联合调查资料对东海黑潮主轴路径变异的分析, 黑潮的主轴沿大陆架外缘流动, 位置基本稳定, 只是在台湾东北部以及临近吐噶喇海峡处有时出现反气旋式小弯曲的季节变异, 使黑潮主轴基本呈蛇状稳定结构。

近年来, 对于黑潮主轴的研究主要集中在对其流量以及流速的多核结构的季节及年际变化的研究。许多学者利用不同年代的资料分别研究了东海黑潮流量的变异。以 PN 断面(位于东海黑潮中段)为例, 管秉贤(1983)估算了 1955 年至 1978 年的 PN 断面流量, 认为春、夏季通过 PN 断面的平均流量大于多年平均值, 而秋、冬季则小于平均值; 而袁耀初等(1994)利用 1986 年至 1992 年中日联合调查资料得到 PN 断面的流量夏

^{*}国家重点自然科学基金“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)”和中国科学院创新方向项目(KZCX2-YW-201)资助。

通信作者: 侯一筠, 男, 研究员, 主要从事海洋物理学方面的研究; E-mail: yhou@ms.qdio.ac.cn

胡珀, 男, 博士; E-mail: hup@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2006 年 11 月 6 日

季最大, 冬、春季与夏季接近, 秋季最小, 多年平均值约为 27.0 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 / \text{s}$)。Ichikawa等(2000)利用 1981年至 1992年的 PN断面资料得到多年平均静流量夏季最大为 28.5 Sv 春季次之, 冬季最小为 14.2 Sv 。袁耀初等(2003)利用 ADCP资料得到 1999年 6月通过 PN断面的流量为 26.2 Sv 然而刘勇刚(1999)则指出 1995年为黑潮异常年, 该年黑潮通过 PN断面的静流量在春季最强, 夏季时则最小。袁耀初等(2001)分析了 1997~1998年 $E1n_{30}^{\circ}$ 至 Lan_{30}° 期间东海黑潮的变异, 发现 1997年强 $E1n_{30}^{\circ}$ 期间东海黑潮流量减小, 最大流量值出现在了春季, 约为 28.5 Sv 而夏季则最小, 约为 21.3 Sv 。袁耀初等(2006)分析了 2000年 5个航次的 PN断面静流量年平均值约为 26.4 Sv 其中 11月最大为 28.1 Sv 7月次之, 10月最小为 24.6 Sv 这与多年的平均结果相近似。从以上分析我们可以看到, 在正常年份黑潮的流量季节变化为春、夏季较大, 而秋、冬季较小; 而在 $E1n_{30}^{\circ}$ 年由于气候异常导致黑潮流量变化, 夏季流量变小。TK断面(位于吐噶喇海峡处)的静流量季节变化与同期的 PN断面基本相似, 但静流量值往往偏小。

黑潮流速剖面的多核结构也是东海黑潮主轴的重要特征。赤松英雄(1979)利用 1978年的资料首次报道了 PN断面黑潮流速结构为 3核、4核。袁耀初(1991)是我国首位提出 PN断面上黑潮流速为多核结构的学者, 他利用 1987年 9~10月的水文资料, 通过计算发现黑潮在 PN断面上有两个流核。科学家通过对不同资料的分析, 也得到黑潮在不同年份、不同季节呈单核、双核甚至多核结构(孙湘平, 1993; 苏玉芬, 1991; 刘勇刚, 1998, 1999; 袁耀初, 1993; a, b; Chen, 2003)。袁耀初(2001)对 1998年 4个航次资料进行改进动力计算的方法首次在数值研究上发现黑潮的多核现象, 特别在 10月与 11月都出现了 3核的现象。袁业立等(2002)在对黑潮流速分布观测结果进行归纳分析基础上, 提出了东海黑潮多核结构是一种运动不稳定现象, 这一理论工作包括简化模式的提出、不稳定解存在条件的导出以及多核结构几种尺度的估计及特征分析, 理论结果与观测有较好的一致性。陈红霞(2006^a)基于 1955~2001年东海 PN断面的资料处理, 通过统计分析得到: 东海黑潮流轴段结构可归结为单核、双核和多核, 其中单核出现次数较多, 约占 1/2左右; 双核次之; 多核较少。东海黑潮的主流核一般位于大陆斜坡折处, 流轴比较稳定。虽然不同流核结构在四季均有出现, 但仍有较显著的时间变化。多核结构多出现在秋季, 四季不等; 单核结构多出现在冬季, 秋季较少。秋季流核个数偏多可能和秋季黑潮流量偏多有关。

2. 黑潮入侵东海陆架研究

根据众多研究表明, 黑潮水脱离其主轴进入东海陆架主要有两处: 一是台湾东北海域; 二是九州西南海域。其中, 台湾以北的陆架上总是存在着黑潮水的入侵现象。黑潮的上层水入侵陆架在秋、冬季节较为显著, 而次表层水在台湾东北部沿陆坡涌升入侵陆架, 这种现象似乎终年存在。早期的许多观测均证实了台湾东北部冷涡的存在。随着海洋遥感技术的发展, 修树孟等(2001, 2002)利用卫星资料分析认为台湾东北冷涡终年存在, 并出现在彭佳屿附近、台湾岛北部沿海和东岸北部沿岸 3处海域, 夏、秋季有双涡和三涡共存现象, 并用动力学证明黑潮进入东海因流径弯曲在台湾东北海域产生中尺度

涡诱导陆架上升流。孙湘平(2002)、于非(2002)等利用卫星跟踪浮标漂流资料也佐证了该东北冷涡的存在。该台湾东北冷涡的存在佐证了黑潮次表层水终年涌升入侵陆架。苏纪兰(2002)综合了调查和模式研究给出了黑潮入侵东海陆架的理论解释:当黑潮自台湾以东进入东海时,其西倾的等压面突然失去了台湾岸边的支撑,因而黑潮在台湾东北发生空间上的地转调整,出现黑潮入侵陆架。

黑潮在台湾东北部入侵陆架的另一个引人关注的问题,是关于台湾暖流水的起源问题。早期,有人认为它来源于台湾东北入侵陆架的黑潮水,也有人认为来源于台湾海峡。近来根据许多学者多方面研究资料认为,无论哪个季节台湾暖流都有两个来源,但两个来源在形成台湾暖流的过程中所起到的作用随季节不同而变化。具体说来,在秋、冬季,由于黑潮表层水入侵陆架较强,台湾暖流水主要来自台湾东北的黑潮水,而来自台湾海峡的水较少;春、夏季,台湾海峡水成为台湾暖流水的主要来源,而黑潮表层水受锋面阻挡难以侵入陆架,因而贡献较少。黑潮次表层水涌升入侵陆架几乎终年存在,它是台湾暖流深层水的主要来源。另据观测,台湾暖流水在北上过程中实际上存在着两支流:一支是大致沿 50m 等深线北上的传统上认为的台湾暖流;另一支则大致沿陆架外缘 100m 等深线附近向东北向流动,乐肯堂(1999)将其命名为东海暖流,该东海暖流在向东北向运动中,部分水又呈反气旋式旋转汇入黑潮主轴(乐肯堂,1999;林葵等,2002;Li²⁰⁰²)。

对于九州西南海域黑潮水入侵陆架,早期的观点认为对马暖流是黑潮的一个分支,是在九州西南海域从黑潮主干分离出来,然后向北流动进入朝鲜海峡的一支流动。这个观点沿用了半个多世纪。Lin(1971)首先对对马暖流是黑潮的一个分支的论点产生疑问,通过分析东海水团性质,提出对马暖流水是在东海陆架边缘形成,为黑潮表层水和东海水的混合体的见解。此后很多学者围绕着对马暖流的来源问题进行了广泛的研究,取得了许多新的进展。郭炳火(1993)指出黑潮在九州西南产生一支支流,其先向西后偏北,随后其主要部分向东回转,在海槽北部形成反气旋式环流;另一部分入侵陆架然后北上成为对马暖流的一部分。对马暖流不仅是黑潮流的延续,而是多支流合成的结果,但其在季节变化上各有特点。夏季对马暖流的主要来源是台湾暖流水和长江冲淡水,黑潮分支仅有一小部分北上,而在冬季以黑潮分支水为主的混合水则成为对马暖流的主要驱动机制,许多研究均支持这一观点(于非,2002;乐肯堂,1999;林葵等,2002;Li²⁰⁰²)。

从上述分析中可以看出,黑潮在台湾东北海域和九州西南海域都呈反气旋状流动,一部分海水入侵陆架;另一部分呈反气旋状回到黑潮主轴。地形效应在黑潮入侵陆架过程中起到了非常重要的作用。

3. 两侧的中尺度涡旋

中尺度涡旋是海洋中的重要现象。自20世纪60年代以来,许多研究发现了东海黑潮两侧存在着许多中尺度涡旋,这些涡旋产生的地理位置不尽相同,其成因、类型和性质也有所差别。归纳起来主要有以下几类:

(1) 东海黑潮两侧的逆流与黑潮主轴闭合产生的涡旋。黑潮主轴东侧存在一支西南

向逆流, 并伴随着一个反气旋式暖涡。该暖涡几乎常年存在, 但其随季节不同其中心位置和强度略有不同。另外, 黑潮主轴西侧在某些时候也存在逆流及较弱的气旋式冷涡。陈红霞等(2006b)通过多种调查资料的综合分析, 提出了东海黑潮主段子环流系统的模型, 它是由较稳定的东海黑潮主段、经常出现的右侧逆流和有条件出现的外陆架逆流所构成的一个双环流结构。对于黑潮逆流及闭合涡旋对黑潮主轴的影响, 袁耀初等(2006a)认为黑潮右侧的反气旋式暖涡在秋季加强时恰好对应黑潮流量减弱, 而当夏季该反气旋式暖涡减弱时黑潮流量增强, 这表明了黑潮两侧的中尺度涡对黑潮主轴的变异起到了非常重要的作用。

(2)在东海黑潮西侧陆架区存在较稳定的锋面涡旋, 如九州西南海域的黑潮锋面涡旋(于非, 2002; 楼如云等, 2004; 郭炳火等, 1997; 罗义勇等, 2001)。东海黑潮锋面涡旋具有的典型特征是: 由于流速切变的非线性作用, 造成黑潮锋面的蛇型, 然后黑潮水倒卷, 陆架上的东海混合水被卷入黑潮, 它们构成锋面涡旋的外缘, 同时, 沿陆架坡折涌升的冷水构成了涡的内核。黑潮锋面涡旋在黑潮水和陆架水的物质和能量交换中起着非常重要的作用, 因此对它的研究引起越来越多人的重视。

(3)有些涡旋较不稳定, 如东海南部的暖涡, 东海黑潮主轴东侧出现的较弱的气旋式冷涡等(乐肯堂, 1999)。它们不定期出现且相对较弱或周期较短。

二、琉球群岛以东海流

琉球群岛以东常年存在一支稳定的东北向西边界流, 被称为“琉球海流”。在琉球群岛以东、琉球海流以西、水深小于 200m 海域表层有一股弱的南向流; 而在琉球海流东侧, 终年存在西南向逆流并伴随一较稳定的反气旋式暖涡以及一些不稳定的中尺度涡旋。

Worthington等(1972)首先发现琉球群岛东南陆坡处存在一东北向流, 后被命名为“琉球海流”(王元培, 1990)。袁耀初等(2000)通过实测流与数值研究相结合, 发现琉球海流通常存在两个流核: 一个位于地形梯度较大处; 另一个位于其东侧。东侧流核一般位于次表层, 占有较大部分流量, 日本以南黑潮的中下层流量主要来自这支流的次表层流核。Shiga等(2000)利用1998年春、夏季资料测得300m层有一明显东北向流, 最大流速 20 cm/s 。科学家还采用改进逆方法估算琉球海流的净输送(袁耀初, 1995; Yuan et al., 1995; Liu et al., 1998; 刘勇刚, 2000a, b), 变化范围大约在 $3 \sim 28 \text{ Sv}$ 。最近许多学者开始对琉球海流流量输送进行长期测量。Zhu等(2003)利用2000年11月至2001年8月锚锭 ADCP 数据估计琉球海流平均输送为 6.1 Sv 。Ichikawa等(2004)利用1998年11月至2002年8月资料测得上1500m层流量为 16 Sv 并首次发现600m深度有一最大流速 23 cm/s 的流核。楼如云等(2004)指出冲绳岛以东表层主要被南向流控制, 琉球海流不明显, 琉球海流出现在200m以深的次表层, 300m处最大流速为 14 cm/s 。Zhu等(2006)认为日本以南的黑潮流量输送为 $64 \sim 79 \text{ Sv}$ 其中东海黑潮水提供 27 Sv 琉球海流提供 13 Sv 其余部分由日本四国岛南部的黑潮逆流构成。此外, 琉球海流的流量和流速存在季节变化, 就平均而言, 流量秋季略大, 而夏季较小。袁耀初

等 (2006 b) 利用 2000 年 5 个航次的水文资料得到: 琉球海流的最大流速在 5 个航次中 1~2 4 7 10 与 11 月分别为 40 cm/s 以上, 15 20 20 与 55 cm/s 流量在 1~2 月与 11 月时最大, 分别为 20 Sv 与 14.5 Sv 而 4 月时流量最小, 只有 3.1 Sv 关于年际流量变化, 1995 年被认为是异常年, 琉球海流流量较大, 这与东海黑潮在 1995 年发生异常相类似 (袁耀初等, 2000)。

关于琉球海流的来源, 袁耀初等 (2000) 都揭示来源于冲绳岛东南海域的反气旋式的再循环环流 (recirculation), 130°E 断面中纬度处的西向流以及台湾以东的黑潮东分支。值得注意的是, 黑潮的东分支并不是总存在。楼如云 (2004)、袁耀初等 (2006) 在冲绳岛西南海域发现存在一个中尺度的反气旋式暖涡和气旋式冷涡, 它们形成一个偶极子, 中间为一支较强的南向流。该偶极子的存在对黑潮的东分支向琉球海流提供水源起到了阻碍作用, 因此黑潮东分支并非琉球海流的主要水源, 然而琉球海流时常出现双核结构, 其北面的流核可能与黑潮东分支有关。冲绳岛东南海域终年存在着一反气旋式再生环流, 只是其位置和强度随季节有所变化。该反气旋式环流的强度变化与琉球海流的流量存在密切关系。

此外, 由于琉球群岛诸岛之间存在许多海槽, 琉球海流水在向东北向流动过程中部分海水通过这些水道流入东海, 这说明琉球群岛两侧间存在水交换 (楼如云等, 2004 袁耀初等, 2006)。由于这方面观测资料较少, 还有待于进一步调查研究。

三、结 语

通过以上综述, 我们可以看到, 对东海黑潮和琉球以东海流的研究已经取得了许多重大进展, 但仍存在以下几个问题: ①东海黑潮及琉球海流的流量和垂直结构在 $E1$ 年会发生变异。全球尺度的气候异常对东海黑潮的年际、季节变化的影响值得继续深入研究。②东海黑潮以及琉球海流与其两侧的中尺度涡之间存在的相互作用和相互关系。③东海黑潮水与陆架水及琉球海流水之间的水交换和物质、能量输运。④数值分析和模拟也是研究黑潮的一个重要手段。虽然如二维正压模式、三维原始方程模式、半诊断及预报模式等数值方法被运用到东海黑潮的研究上来, 但由于该海域地形复杂, 受模式分辨率等问题的影响, 现有的模式并不能完全模拟东海黑潮的真实流况, 因此, 有待于进一步开发更好的数值模拟方法。

参 考 文 献

- 陈红霞, 袁业立, 华锋. 2006a 东海黑潮中段 G-PN 断面的多核结构. 科学通报, 51 (6): 730~737
- 陈红霞, 袁业立, 华锋等. 2006b 东海黑潮中段环流子结构研究. 海洋科学进展, 24 (2): 137~145
- 赤松英雄. 1979 东シナ海この观测かじ. 海洋科学, 11 (3): 175~181
- 管秉贤. 2002 中国东南近海冬季逆风海流. 青岛: 中国海洋大学出版社
- 郭炳火, 道田丰, 中村保昭. 1993 对马暖流源区水文状况及其变异的研究 II 对马暖流的起源. 黑潮调查研究论文选 (五). 北京: 海洋出版社. 16~24
- 郭炳火, 葛人峰. 1997 东海黑潮锋面涡旋在陆架水与黑潮水交换中的作用. 海洋学报, 19 (6): 1~11
- 乐肯堂. 1999 东海的水文和环流. 见: 曾呈奎主编. 中国海洋志. 河南: 大象出版社. 161~180

- 林葵, 汤毓祥, 郭炳火. 2002. 黄海、东海表、上层实测流分析. 海洋学报, 24(2): 9~19
- 刘勇刚, 袁耀初, 山本浩文. 2000^b. 1993年夏季至1994年初夏琉球群岛东南海域海流. 中国海洋文集. 31~39
- 刘勇刚, 袁耀初, 志贺达等. 2000^a. 1997年琉球群岛以东海流季节变化. 中国海洋文集. 21~30
- 刘勇刚, 袁耀初. 1998. 1992年东海黑潮的变异. 海洋学报, 26(6): 1~11
- 刘勇刚, 袁耀初. 1999. 1993和1994年东海黑潮的变异. 海洋学报, 21(3): 15~29
- 楼如云, 袁耀初. 2004. 1995与1996年夏季琉球群岛两侧海流. 海洋学报, 26(3): 16~27
- 罗义勇, 吴德星, 林霄沛. 2001. 地形对东海黑潮锋面弯曲影响研究. 青岛海洋大学学报, 31(3): 305~312
- 苏纪兰, 袁耀初, 姜景忠. 1994. 建国以来我国物理海洋学进展. 地球物理学学报, 37(增刊1): 3~13
- 苏纪兰. 2002. 中国近海的环流动力机制研究. 海洋学报, 23(4): 1~16
- 苏玉芬. 1991. 1988年春秋季节东海南部陆架区的海流分析. 黑潮调查研究论文选(三). 北京: 海洋出版社. 212~219
- 孙湘平, 金子郁雄. 1993. 1989~1991年黑潮的变异. 黑潮调查研究论文选(五). 北京: 海洋出版社. 52~68
- 孙湘平, 修树孟. 2002. 台湾东北海域冷水块的特征. 黄渤海海洋, 20(1): 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
- 王元培, 孙湘平. 1990. 琉球海流特征的探讨. 黑潮调查研究论文选(二). 北京: 海洋出版社. 237~255
- 修树孟, 王克阆, 孙培光. 2001. 台湾东北海域冷涡及其变异的遥感信息研究. 黄渤海海洋, 19(2): 57~64
- 修树孟, 郑全安, 孙湘平. 2002. 中尺度涡诱导的陆架上升流. 水动力学研究与进展, 17(1): 61~68
- 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
- 袁耀初, 高野健三, 潘子勤等. 1995. 1991年秋季东海黑潮与琉球群岛以东的海流. 中国海洋学文集. 1~11
- 袁耀初, 刘勇刚, 苏纪兰. 2001. 1997~1998年 El-Niño 至 La-Niña 期间东海黑潮的变异. 地球物理学学报, 44(2): 199~210
- 袁耀初, 潘子勤, 金子郁雄. 1993. 东海黑潮的变异与琉球群岛以东海流. 黑潮调查研究论文选(五). 北京: 海洋出版社. 279~297
- 袁耀初, 苏纪兰, 潘子勤. 1993. 1990年东海黑潮流量与热通量计算. 黑潮调查研究论文选(五). 北京: 海洋出版社. 298~310
- 袁耀初, 苏纪兰. 2000. 1995年以来我国对黑潮及琉球海流的研究. 科学通报, 45(22): 2353~2356
- 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 II. 冲绳岛东南海域海流及其附近中尺度涡的变异. 海洋学报, 28(3): 17~28
- 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
- 袁耀初, 远藤昌宏, 石崎广. 1991. 东海黑潮与琉球群岛以东海流的研究. 黑潮调查研究论文选(三). 北京: 海洋出版社. 220~234
- 袁业立, 万振文, 张庆华. 2002. 东海黑潮多核结构的运动不稳定性形成机理. 中国科学(D辑), 32(12): 1011~1019
- Chen H X, Yuan Y L. 2003. The current structure analysis of PN Section in the East China Sea. Proceedings of 12th PAMS/JECSSW workshop 2-17-1~2-17-4
- Guan B X. 1983. Analysis of the variations of volume transports of the Kuroshio in the East China Sea. China Ocean Limnol., 1(2): 156~165
- Ichikawa H, Chaen M. 2000. Seasonal variation of heat and freshwater transports by the Kuroshio in the East China Sea. Journal of Marine Systems, 24: 119~129
- Ichikawa H, Nakamura H, Nishina A et al. 2004. Variability of northeastward current southeast of northern Ryukyu Islands. Journal of Oceanography, 60: 351~363
- Lie H J, Cho C H. 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. Fisheries Oceanogr., 6: 318~328
- Lim D B. 1971. On the origin of the Tsushima Current Water. J Oceanogr Soc Korea, 6(2): 85~91

- Liu Y G Yuan Y C Nakano T et al 1998 Variability of the currents east of the Ryukyu Islands during 1995-1996. Proceedings of Japan-China Joint Symposium of Cooperative Study on Subtropical Circulation System. Nagasaki Sea National Fisheries Research Institute Publisher. 221 ~ 232
- Liu Y G Yuan Y C 1999 Variability of the Kuroshio in the East China Sea in 1995. Acta Oceanologica Sinica 18(4): 459 ~ 475
- Shiga T Ueno D Takatsuki Y et al 2000 Variations of oceanic conditions east of the Ryukyu Islands in 1997. Proceedings of Japan and China Joint Symposium on Cooperative Study of Subtropical Circulation System. China Ocean Press. 57 ~ 65
- Worthington V L Kawai H 1972 Comparison between Deep Sections Across the Kuroshio and the Florida Current and Gulf Stream. Kuroshio Its Physical Aspects ed by H Stommel and K Yoshida. Washington Univ. Press. 371 ~ 385
- Yuan Y C Liu Y G Zhou M Y et al 2003 The circulation in the southern Huanghai Sea and northern East China Sea in June 1999. Acta Oceanologica Sinica 22(3): 321 ~ 332
- Yuan Y C Pan Z Q Kaneko I et al 1994 Variability of the Kuroshio in the East China Sea and the currents east of Ryukyu Islands. Proceedings of China-Japan JSRCK. China Ocean Press. 121 ~ 144
- Yuan Y C Su J L Pan Z Q et al 1995 The western boundary current east of the Ryukyu Islands. La Mer 33(1): 1 ~ 11
- Yuan Y C 2006 Circulation in the East China Sea and dynamics of the Kuroshio and the Ryukyu Current. To appear in the China National Report (2002 ~ 2006) on Physical Sciences of the Oceans (in press)
- Zhu X H Han S Park J H et al 2003 The northeastward current southeast of Okinawa Island observed during November 2000 to August 2001. Geophys Res Lett 30: 1071 ~ 1074
- Zhu X H Park J H Kanek I 2006 Vortex Structures and Transports of the Kuroshio and the Ryukyu Current during Fall of 2000 Estimated by an Inverse Technique. Journal of Oceanography 62: 587 ~ 596

STUDY ADVANCES ON THE KUROSHIO IN THE EAST CHINA SEA AND CURRENTS IN THE REGION EAST OF RYUKYU ISLANDS

HU Po² HOU Yijun LE Ken'ang WANG Zheng²

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

(² Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

ABSTRACT

On the basis of study overview of SU Jilan, YUAN Yaochu and GUAN Bingxian, the recent study advances on the Kuroshio in the East China Sea (ESC) and currents in the region east of Ryukyu Islands are reviewed, especially since 2000 years. The most interested problems awaiting solution in the ESC are as follows: the structure variability of the Kuroshio in part, the Kuroshio intrusion northeast of Taiwan and southwest of Kyushu, meso-scale eddies on both sides of Kuroshio and so on. Study of east of Ryukyu Islands is concentrated on the Ryukyu Current, anti-cyclonic warm eddies and cyclonic cold eddies east of the Ryukyu Current. From the above analysis, finally, the author put forward some problems to be further studied.