

东海海流结构及涡旋特征概述*

管 秉 贤

(中国科学院海洋研究所)

东海是一个兼有下列浅海和深海特征的边缘海: 地形复杂, 西部为大陆架, 约占东海总面积的 $2/3$; 东南为大陆坡及深海槽, 最大深度可达 2700 余米; 西侧有年平均总值约 12000 亿立方米的巨量径流入海; 东侧又有强大的黑潮流经, 其流量约为 $20-30 \text{ SV}^{1)}$ 。海上盛行季风, 风向基本上每半年变换一次。东海水文特征以及水团、海流和涡旋等的分布, 就是在这样复杂的自然条件下形成和变异着的。

一、近二十余年来东海海洋调查概况

近二十余年来, 中、日以及其他一些国家对东海进行了一系列的调查研究。五十年代末, 我国开展全国海洋综合调查, 曾对东海我国近海部分进行了较系统的调查。除了定期的海面观测外, 还在许多测点上进行了海流昼夜连续观测, 取得了一批余流资料。六十年代以来, 又开展了定期的标准断面观测、大陆架调查和其他一些专题调查, 例如, 浙东沿岸上升流调查、济州岛西南冷涡调查、长江冲淡水调查等等。通过这些调查研究, 我们对东海近海和陆架区域的温、盐、密度以及跃层、水团和海流等的分布变化有了一个较全面和系统的认识, 也发现了其他国家以往在东海调查中所没有发现的一些重要现象(如冬季沿粤、闽、浙近海存在着逆风北上的海流等)。现在即将开展东海黑潮调查。

我国台湾省台湾大学海洋研究所自六十年代中期以来, 就开展了台湾附近海域的黑潮及上升流的调查研究, 对黑潮起源部分的变异特征及附近海域上升流的发生机制有了较详细的认识。

日本气象厅、水产厅、水路部等长期以来对东海进行了定期的调查。特别是六十年代中期开始的“黑潮及其邻近海域的合作调查”(CSK, 1965—1977) 以及正在进行中的“黑潮开发利用调查研究”(KER, 自 1977 年起) 等都对东海进行了以水文学为重点的综合调查。还有“东海综合研究”、“气团变性实验”(AMTEX, 1974, 1975)、“海洋污染调查”以及“东海陆架海流观测”等等, 更对东海分别进行了以研究黑潮水与大陆沿岸水的混合机制、东海黑潮流域的海-气能量交换和陆架海流等为重点的专题调查。七十年代末, 日本气象厅在东海陆架水深约百余米处安放了一个能长期记录流速流向等 16 个参数的海洋气象浮标, 并在西表岛附近、吐噶喇海峡以及陆架区域应用自记海流计进行海流长期观测^[27, 32, 35, 41, 54]。还在黑潮及其附近区域投放了卫星追踪的漂流浮标^[37]。

通过这些调查, 获得了大量系统的和质量较好的资料, 从而对东海陆架外缘及深海部

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1250 号。本文曾在“东海及其他陆架沉积作用国际学术讨论会”(杭州, 1983 年)上作邀请报告。

1) $1\text{SV}=10^6\text{m}^3/\text{s}$, 相对于 700dbar 面。

分的水团、流系,特别是黑潮的分布变异较以前有了系统和细致的认识^[24,43,46,51-53],还发现了一些温、盐度和海流结构的新现象。例如,观测证实,黑潮流轴不是由一个而是由2—3个分支的强流带(即多重结构)构成^[25,42]。同时,对东海黑潮流量的变异与日本以南海域黑潮出现大弯曲和冷水团的关系,也提出了一些有意义的见解^[19,38,39]。

六十年代初,苏联太平洋渔业及海洋学科学研究所(ТИНРО)在东海进行了以阐明水团和海流结构为主旨的调查^[59]。最近几年,中、美两国也在长江口附近海域开展了陆架沉积动力过程的联合调查。

就国内外对黄海、东海和南海调查研究的程度而论,东海是调查得最为频繁,研究得比较深入的海区。下面扼要地阐述通过这些调查研究,在东海流系结构和涡旋特征两方面所得出的一些主要结果。

二、东海水团概况

由于水团与海流及涡旋的分布变化密切相关,故先简述东海主要水团(或水系)的类型及其分布。从本质上讲,东海存在着两类性质不同的水体,即具有低盐特征的大陆沿岸水和具有高温高盐特征的黑潮外海水。性质介于其间的还有对马暖流水、台湾暖流水和黄海水团三个次级水团。它们本身已非原始水团,有的是外海水和沿岸水混合后的产物,有的孤立性较明显(如黄海水团)。

东海大陆沿岸水不仅含有长江及闽、浙沿岸诸河的大量径流水,还含有一些来自南海西岸和南海东北部的盐度较低的水体,成分较复杂。

黄海水团源地位于黄海中央区域,其深底层在夏季具有明显的低温特征,故又名“黄海冷水团”。这是黄海和东海水文学中一个突出而重要的现象。黄海水前锋南侵可达 30°N 或更南,故对东海北、中部影响较显著,尤以冬季为甚。

由于传统上认为对马暖流和台湾暖流是黑潮分支,所以过去没有单独提出对马暖流水(包括黄海暖流水)和台湾暖流水。鉴于近年来有一些学者对它们是黑潮分支提出了不同看法(详后),故本文将它们作为次级水团单独提出。

黑潮水按其垂直结构又可分为表层水、次表层水、中层水及深底层水。

上述诸水团本身的消长变化和相互作用(包括混合、扩散和楔入等)形成了本海区复杂的温、盐、密度分布、水团配置和海流结构。

三、东海流系结构

最早研究东海流系结构的是日本学者和田(1922)和宇田(1934)^[23]。他们先后绘制了包括东海在内的流系示意图,这些图迄今仍有较好代表性。稍后,其他一些日本学者及德国的 Wüst^[56]也提出过类似的流系图。

近二十年来,又有不少中外学者提出了流系图。国外如 Ninno 和 Emery(1961)^[44], Nitani(1972)^[46],井上(1975)^[21],藤原(1981)^[28]等。我们在六十年代初也提出了 28°N 以北东海近海流系示意图⁹⁾;前几年又主要根据海流连续观测资料提出了东海冬、夏两半年

1) 管秉贤;陈上及,1964。中国近海的海流系统。全国海洋综合调查报告,第五册,第六章,1—85页。

的各层平均余流流系示意图¹⁾；最近，还对东海环流作了较全面的阐述^[34]。近藤正人·王井一寿 (1975)^[26] 根据 GEK、海流瓶资料以及陆架上的定点测流结果阐述了东海流况。Харченко(1968)^[59] 分析探讨了东海地转流的分布变化。

日本学者自 1968 年以来曾几次施放海底漂浮器，调查了东海陆架上的底层流^[20,21,22]，但未见有底层流分布图问世。

另一方面，也有一些学者根据在不同假定条件下的运动方程进行了东海环流的数值计算，得出了一些模式图。例如，奚盘根等 (1980)^[7] 的东中国海环流模式，袁耀初等

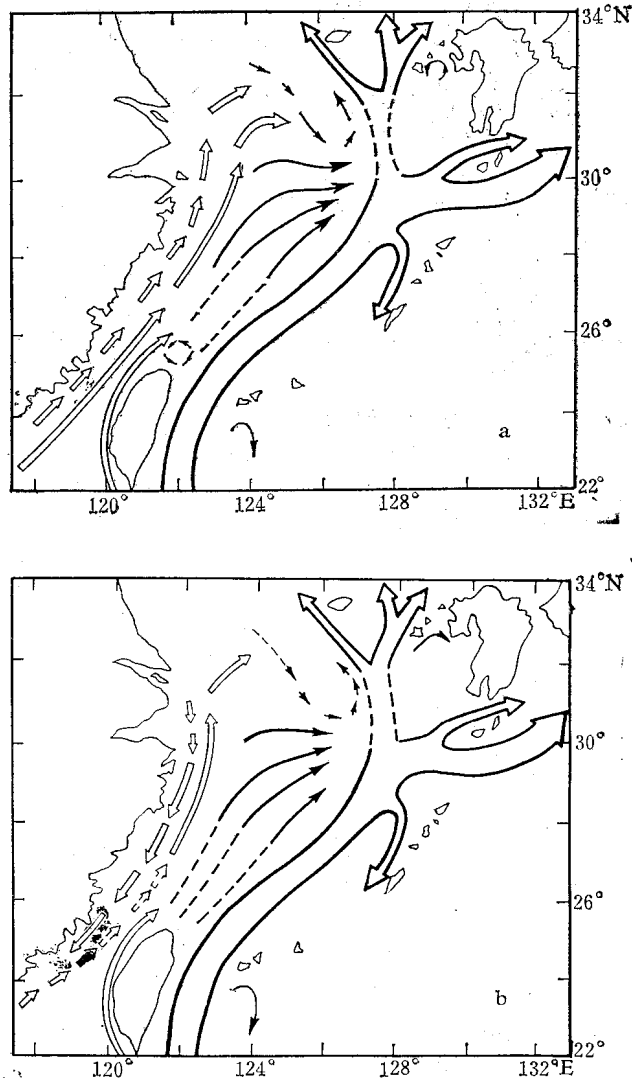


图 1 东海各层平均余流流系示意图

a. 夏半年 (4—9 月); b. 冬半年 (10—3 月)

(根据管秉贤 (1978) “东海海流系统概述”一文, 加以增补)

1) 管秉贤, 1978. 东海海流系统概述. 东海大陆架论文集. 中国科学院海洋研究所编, 126—133 页。

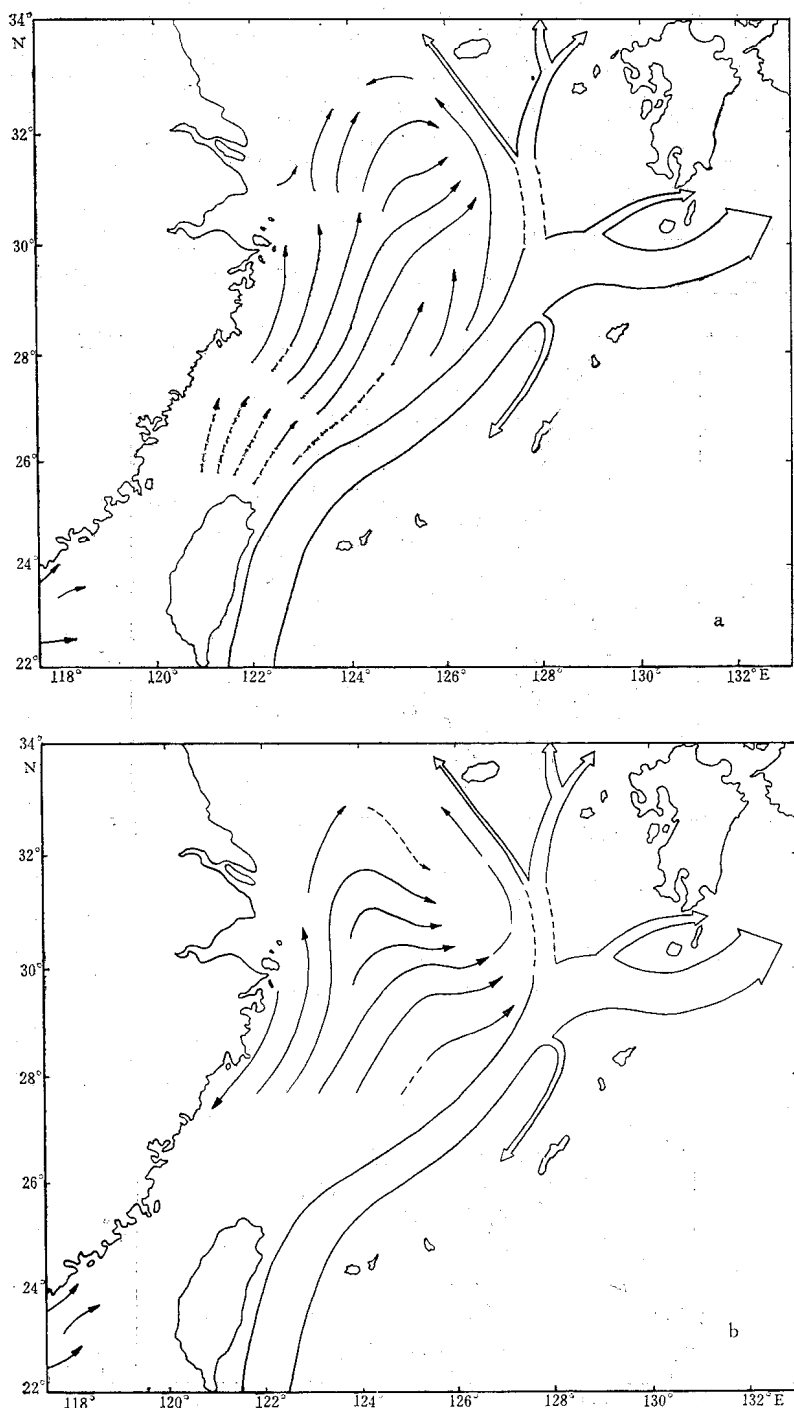


图2 东海陆架近底层余流分布示意图

a. 夏半年; b. 冬半年

(1982)^[8] 的东海陆架环流模式, 小田卷(1982)^[18] 的东海流线的诊断模式和 Choi(1982)^[30] 的稳定均匀风应力作用下黄东海陆架风生海流模式图等。

本节仍以“东海海流系统概述”(管秉贤, 1978)一文中所用海流连续观测资料(1932—

1978)为分析基础。由于该文提出的各层平均余流流系示意图在东海西南部分留有空白,本节引用由船舶定位得出的海流资料以及其他资料,将该图加以增补,使之较前全面一些,同时提出东海陆架近底层余流分布示意图。图 1,2 中的实流线及矢量主要是根据海流连续观测资料绘制的,虚流线及矢量则主要是根据船舶定位等资料及流动趋势具有连续性而推得的。图中的黑潮及对马暖流,仍引用 Nitani (1972)^[46] 的东海流系模式图(但已略作修改),因这一区域的深层测流资料迄今仍甚缺乏。为了便于讨论陆架近底层流相对于深海流系的位置,在图 2 中亦绘上了这一流系模式图。

(一) 各层平均余流流系以及主要海流的特征、分布和变异

由于风对近表层以下的海流影响不大,所以各层平均余流流系近似地代表了不依赖于局地风的环流系统。东海流系(见图 1)可大致以台湾岛北端与济州岛的连线为界,分为两部分。东侧为自台湾东北方流入东海再流向太平洋的黑潮主干,及其向北最后进入日本海的分支——对马暖流,和对马暖流流向南黄海的分支——黄海暖流这一外海流系。黑潮通过巴士海峡时有一部分海水贴近台湾西岸北上。在黑潮主干和琉球群岛之间为流向偏西南的黑潮逆流。西侧为沿台湾海峡和闽、浙海岸的方向自西南流向东北的一支海流,它在海峡以北及长江口以南部分称为“台湾暖流”;在长江口以北部分,夏季其近表层即为长江冲淡水。台湾暖流的西侧为东海沿岸流;其流向,夏季与台湾暖流同向,冬季则沿浙、闽海岸南下而与台湾暖流反向。东海沿岸流流向随季节而变,这是东海流型的特点之一。在黑潮和台湾暖流之间为流速较弱、流向偏东北的弱流区¹⁾。在此区以北,黄海低盐水向东南方扩展,伸入东海北部,并在对马暖流—黄海暖流的西侧转向北流,形成一个气旋式小环流。

除东海沿岸流流向有显著的季节变化外,东海主要流型冬、夏两半年颇相类似,这是东海流型的又一特点。从渤海、黄海、东海整体来看,这一海区大致构成了一个趋于封闭的气旋式环流系统;但东海流型的封闭性远较渤海、黄海为差,大部分区域的海流呈以东北为主要流向的带状分布,所以流型基本上是非封闭的。

1. 黑潮 它是东海流系的主干。黑潮及其变异不仅控制了几乎整个东海和邻近海域的水文分布变化,从而与这一海域水产资源的变动、污染物的漂移、海面和水下舰艇的航行等有着密切的关系,而且对我国东南沿海地区的气候变迁、雨量多寡等产生较显著的影响。近年来对东海黑潮有较多的研究,主要结果如下:

(1) 沿着台湾东岸北上的黑潮在通过苏澳—与那国岛之间水道时,是因受此处海脊地形的影响而流轴开始转向东北的^[12]。

(2) 由于深受地形(陆架外缘—陆坡—海槽—琉球群岛岛架组成一条“轨道”)的控制,其途径、流向及流幅较稳定,除台湾东北方秋、冬季可能出现小弯曲外,近二十余年间尚未观测到象日本以南海域所出现的那种持久的大弯曲^[14]。

(3) 流速流量的变化相当大。例如,半周日内 10m 层最大流速与最小流速之比可达

1) 在夏季和冬季都是这样。1975 年 2 月海流计浮标阵 20m 层的观测结果(见表 1)是一例证。

2.5. 季节变化和多年变化亦颇显著, 逐次观测的变幅可达到或略大于其平均值^[14,16]。从 G 断面(位于冲永良部岛西北) 1972—1981 年间每季一次的流量平均值来看, 春季最大, 夏、冬季其次, 秋季最小, 总平均值为 25.49SV, 标准偏差为 2.65SV。流轴处表层流速具有类似的季节变化趋势, 总平均值为 1.9kn^[29]。

(4) 东海黑潮流速流量的变化与北太平洋副热带中心区域(即夏威夷群岛附近)海面风应力涡度的相应变化有着显著的远距离相关关系, 并且流速流量的变化落后于风应力涡度的变化约 2 个月至 1 年。这表明, 东北信风和西风之间边界处风应力场的分布及其纬向移动, 几乎控制了东海黑潮的变异。但变化趋势有区域性差异, 表层流速的变化从台湾东北方到吐噶喇海峡约有 2—5 个月的迟后时间^[14,16]。G 断面与日本屋久岛东南断面两处黑潮流量变化的位相反^[46]。

(5) 东海黑潮年平均流量峰值期、夏威夷群岛附近年平均风应力涡度峰值期及日本以南黑潮出现大弯曲时期, 三者趋于一致。所以北太平洋副热带中心区域风应力场的分布变化或许有可能为研究黑潮大弯曲的机制提供某种线索。同时可看出, 黑潮流系各段的变异, 虽有区域性差异, 但仍有其一定的内在联系^[46]。

(6) 东海黑潮流量比通过九州东南方断面的流量要小得多。这表明, 在琉球群岛以东可能存在着一支流向东北的海流^[49]。

(7) 黑潮左右两侧经常出现一些尺度不等、趋于封闭的冷、暖水体(即“涡旋”, 详后)^[17]。

2. 对马暖流 黑潮在吐噶喇海峡以西(30°N, 128°E 附近)分出对马暖流。后者在九州以西(31°30'N, 128°15'E 附近)分出黄海暖流后, 主流逐渐转向东北, 在五岛列岛之西分为两支, 西支通过朝鲜海峡, 东支通过对马海峡进入日本海。与西支相比, 东支最大流速只及西支一半左右, 且水层较浅和不稳定。两支间有逆流。西支流量约 3.0SV, 东支约 1.9SV, 进入日本海的总流量约 4.5SV^[49]。根据两岸水位差得出的西分支上层流速 10 月最大, 3 月最小, 年平均约 48cm/s^[57]。进入日本海的对马暖流与进入南黄海的黄海暖流因系同源, 所以它们的季节变化趋势近似相反, 互为消长。

近年来, 朝鲜和日本学者认为不能将对马暖流简单地视为黑潮的分支, 而应认为是起源于黑潮水与大陆沿岸水在东海中部相遇时所形成的混合水的一支海流^[24,40,42], 这是东海流系结构中有待进一步研究的重要问题之一。

3. 台湾暖流 这是一支出现在长江口以南, 浙、闽近海的上层, 终年具有高温高盐水舌的海流。其西侧紧邻具有低盐特征的东海沿岸流, 两者构成了明显的锋面。自五十年代末以来的海流实测结果表明, 除冬季其表层可能受偏北风影响, 流向偏南外, 台湾暖流表层以下(5—10m 层起)的流向几乎终年一致地沿等深线流向东北或东北东, 近底层更为明显, 同时各层流速流向亦较稳定。台湾暖流接近深底层时, 趋岸爬坡迹象相当明显。

台湾暖流的流幅和强度具有明显的季节变化。夏季时它与东海沿岸流同向平行, 西南风使海水离岸输送, 故流幅较宽, 流速亦较强。冬季时它与东海沿岸流反向流动, 东北风使海水趋岸输送, 故流幅较狭, 流速亦略减。在锋面处, 水文要素及流速的梯度均甚大, 成为冬汛带鱼的好渔场。

4. 东海沿岸流及长江冲淡水 东海沿岸流为我国东南沿岸的主要流系之一, 其途径随季风的变换而异, 这与黄海沿岸流流向终年偏南颇为不同。夏季偏南风期间, 它贴岸北流, 流幅较宽, 流速较强; 冬季偏北风期间, 它贴岸南流, 流幅大减, 流速亦弱。

夏季东海沿岸流向北移时, 与长江及钱塘江的入海径流相汇合, 形成一股较强的冲淡水流。长江冲淡水的扩展、转向及其与周围海水的混合, 是东海水文分布特征中一个突出和重要的现象。长江入海径流起初是顺着河口朝向直下东南, 及至离岸稍远处才发生气旋式偏转而转向东或东北。洪水期长江冲淡水舌可延伸到济州岛附近, 几乎遍及东海西北部, 还影响到南黄海南部。长江径流量的消长变化是控制冲淡水核心带的尺度及其运动方向的主要因素之一; 此外, 离岸稍远处海底深度的增大对流轴偏向东北也起了一定的作用, 而侧向混合在整个混合过程中起着重要作用^[1,2]。关于长江冲淡水质量场与流场的关系, 六十年代初期曾提出冲淡水流具有“射形流”^[3]或“拟射流”^[4]的性质。迄今搜集到的洪水期实测流速资料初步证实了上述假设, 即随着冲淡水的向东北扩展, 海流主要沿水舌轴线方向流动¹⁾。但从夏季在苏北沿岸投放的海流瓶资料来看, 32°N 附近到舟山群岛一带海域的表层海水的总流动趋势仍然偏南, 这一差异值得注意。

从图 1 可以看到, 长江口外大沙滩附近的余流流向除冬季表层可能受风影响外, 不论冬夏均指向东北。这一现象近已引起人们的重视。初步认为, 这可能与台湾暖流流向终年偏北有关, 因此处已位于暖流延伸部分。

5. 台湾海峡中的海流 由于狭管效应, 台湾海峡是东海西部的强流区, 且流况较稳定。夏季整个海峡为流向东北的南海水(西侧)和黑潮水(东侧)所占。冬季除海峡东部中、下层为贴近台湾西岸北上的黑潮水外, 传统上认为海峡西、中部为一派南下的东海沿岸流。但自五十年代末以来, 局部海区海流实测结果却表明, 台湾海峡冬季流况实较以往所认识的要复杂得多。海峡西部冬季的海流亦非一派地流向西南, 偏南向的沿岸流仅限于福建中段贴岸海区的浅层, 而在较深及较远处(包括台湾浅滩西南海域)都存在着逆风流动的偏北(NE)向流^[4]。此外, 从本世纪初期(1910—1921)由船舰定位记录得出的海流图中也可看到, 冬季沿粤、闽、浙海岸除了顺风海流以外, 也存在着逆风海流。在冬季粤、闽、浙沿岸分别在 2 月及 11 月测得的 90 余个海流矢量中约有 1/3 是指向偏北(主要为 NE, 见日本水路部, 1925, 《日本近海的气象海流图》)。图 3 绘出了这部分偏北的流矢。

因此, 联系分别位于台湾海峡以北及以南的台湾暖流和南海暖流²⁾来看, 冬季海峡西、中部也可能存在着类似的逆风海流, 并通过它把上述两支海流联接起来, 形成一支贯穿东海和南海中国近海逆风北上的海流。期望今后在台湾海峡调查中能获得进一步的证据。

6. 近海的表面海流 我国沿岸的表面海流在性质上是一个以风海流(EKman 型漂流)为主的流系。冬季(12—2 月)在盛行偏北风的影响下, 东海近海除台湾暖流区域有时流向仍偏北外, 表层流向以偏南占绝对优势。夏季(6—8 月)在盛行偏南风的影响下, 流向均偏北。在春(3—5 月)、秋(9—11 月)风向转变期, 表层流向偏南和偏北几乎呈均势。所以, 近海表层流向在大多数场合下均随风向而变, 可谓“如影随形”关系密切。而在远海

1) 乐肯堂, 1984。长江冲淡水洪水期盐度分布与海流结构的初步分析。渤海黄海东海调查研究报告, 151—163 页。

2) 这是一支出现在粤东沿岸和广东外海深水区域冬季逆风流向东北的海流(见第 9 页脚注 1)及文献[13]。

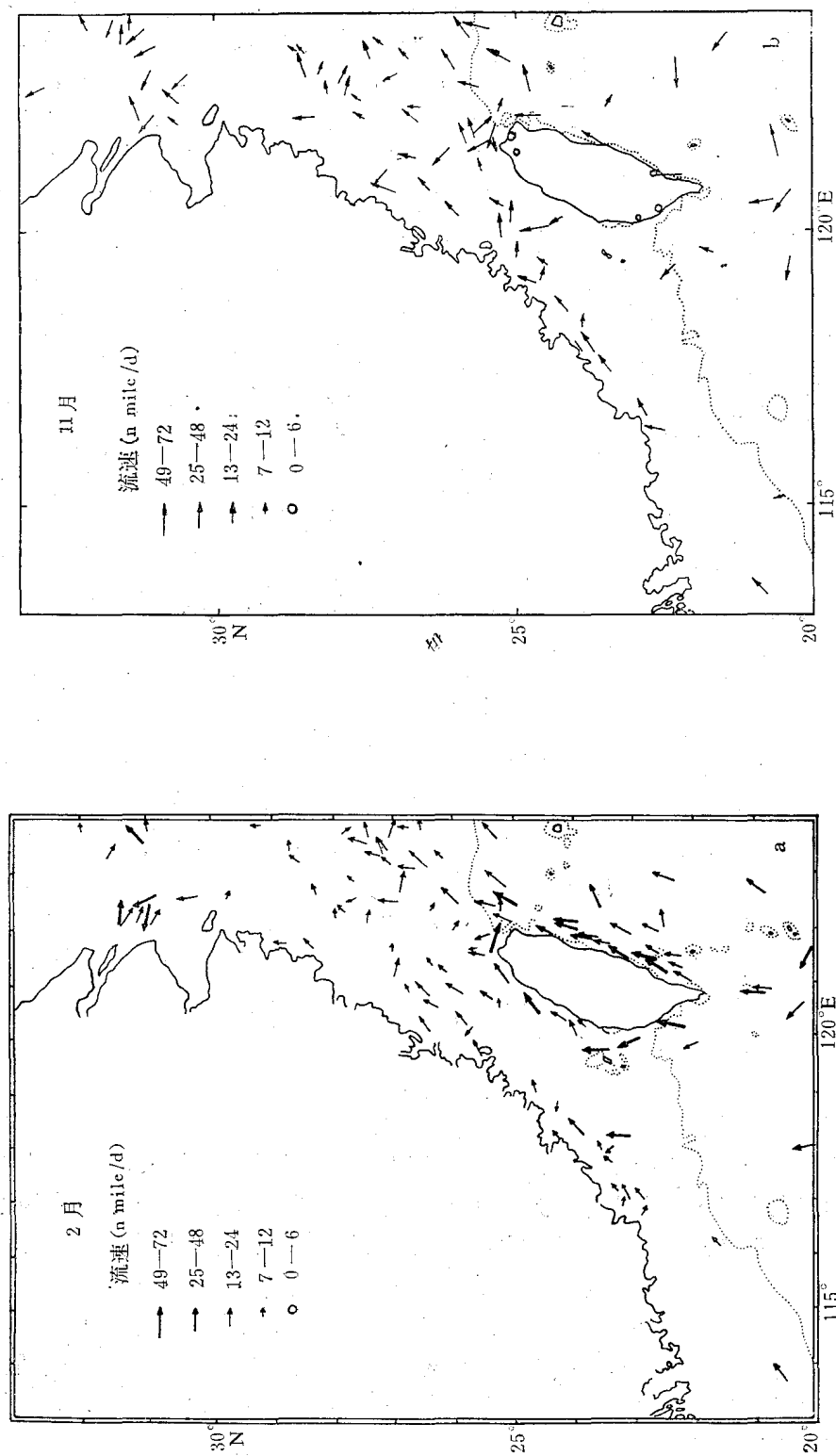


图3 根据船舰定位得出的东海、南海近中国海域中海流矢量(流速: n mile/d)
a. 2月; b. 11月(根据日本水路部, 1925)

黑潮区域,即使在隆冬较强偏北风影响下,流向仍稳定地指向东北,流速亦强,可达 2kn 左右。

海流实测结果表明,东海近海表层余流的平均值约 0.4kn,最大流速约 1—1.2kn,次于南海而比黄海为大。余流流速与风速之比约为 0.044,比风因子理论值为大,因其中除漂流外,尚含非风海流成分。风对海流的影响深度以 20m 层以内较为显著^{[10],1)}。

(二) 陆架近底层余流

东海宽广的陆架是著名渔场和丰富的油气矿产资源所在处。所以,对东海陆架近底层流的研究具有重要的实际意义。此外,底层流更是研究海底沉积动力过程的一项不可或缺的资料。

图 2 中近底层流分布示意图主要是根据 1932—1978 年间观测到的陆架区近底层余流的平均值资料²⁾,并参考日本自 1968 年以来所施放的海底漂浮器资料绘制的。

从近底层余流的平均矢量(冬、夏两半年分别有 28 及 71 个测站)来看,冬、夏两半年流向落入 0°—90° 范围内的分别约占该半年测站的 79% 及 68%。所以,陆架近底层流,除冬季东海沿岸流流向偏西南外,总趋势以指向东北或北为主,这是十分明显的。示意图主要反映了这一特点。但济州岛以南区域的近底层流比较复杂。在冬半年的分布图上可以看到,济州岛西南(33°—30°N)近底层流向偏东南,并逐渐向东;而在对马暖流及黄海暖流的西侧,流向偏西北。这一流动趋势是参考了 31°30'N 断面(124°30'—128°30'E)上的海底漂浮器资料(1969 年 11 月投放)^[21]绘制的。在此断面上,西端漂浮方向偏东南及南,没有一个漂浮器是在断面以北拾取的。125°30'E 以东漂浮方向以西北为主。这一漂浮趋势与济州岛西南方冷涡的运动以及海底沉积物中央粒径值(Md ϕ)的分布相吻合^[21]。但近底层余流平均矢量资料与上述漂浮趋势略有差异。在 32°—30°N, 124°—125°E 区域内的矢量以指向东北、东及东南东为主,而没有偏南的(32°N 以北缺矢量资料)。

在夏半年的分布图上,流向偏北及东北的趋势更为明显,除紧邻对马暖流-黄海暖流西侧处外,近底层流均流向北及东北。台湾以北实测资料甚少,虚流线是根据台湾北方 26°N 断面上的海底漂浮器资料(1971 年 6 月投放)^[21]绘制的³⁾。

在紧邻对马暖流-黄海暖流西侧处,底层流向偏西北,即指向南黄海。就这个趋势而言,平均余流矢量与漂浮器漂浮方向是相吻合的。奄美大岛西北方陆架上的海底漂浮器资料(1968 年 8 月 2—3 日投放)表明,在东海有一底层流近似地沿 100m 等深线的走向流向南黄海^[22]。可以认为,这一底层流是受到东侧对马暖流-黄海暖流的带动,也可能它已含有暖流西侧部分的成分。

夏半年平均余流矢量资料与漂浮器资料,如冬半年一样,也有差异处。例如,1970 年 5 月在长江口以东(31°30'N, 123°30'—126°00'E)投放的漂浮器以漂向西北方为主^[21],而在相应区域近底层平均余流矢量却仍然以指向北—东北为主。考虑到两种资料性质及

1) 管秉贤、丁文兰、李长松,1977。渤海黄海东海表层海流图。

2) 该项资料系缪经榜等(1978)计算得出。

3) 我所一室 1984 年 2—6 月在台湾海峡中、北部投放了海底漂浮器,从最近回收的数十张卡片来看,其底层流向也几乎全是偏北的。(与王从敏个人交流)

调查时间等的不同,上述小差异是可以理解的。

表 1 列举了 1975 年冬、秋季近底层应用自记海流计的观测结果,它可作为黑潮西侧陆架上近底层流确实流向东北的一个例证。

综上所述,东海陆架上的近底层流终年具有这样的特点:(1)总趋势以流向偏北为主;(2)济州岛以南的流动有明显趋于辐合之势,这可能与这里出现气旋式冷涡(中心海水具有上升运动)的机制有关。

表 1 东海陆架上海流观测结果

站 位	观测日期	层次 (m)	流速 (cm/s)	流向 (°)	水深 (m)	观测仪器	资料来源
27°40' N 125°30' E	1975年 2月19—22日	82	19.6	67	110	锚泊 海流计	文献[41]
		96	8.2	50			
28°30' N 125°30' E	1975年 10月12—27日	108	6.3	46	113	Richardson 海流计	文献[25]
浮标阵中心 28°33' N 125°22' E	1975年 2月14日—3月1日	20	8.95	53	105	Aanderaa 海流计	AMTEX- '75 及 文献[54]
		20	7.20	29			

以上简述了冬、夏两半年各层平均余流及陆架近底层余流分布的概况。下面再从实测余流的统计结果分析它们的季节变化。

从冬、夏两半年各层 20 余对相应测站资料的对比中看出,冬、夏各层流向相差在 30° 以内的约占 1/2—1/3,相差在 60° 以内的约占 75—80%。故可认为,冬、夏两半年的流向相差不大,从而主要流系(除东海沿岸流外)的分布趋势亦较一致。各层平均流速及 25m 层流速,夏半年的大于冬半年;50m 层及底层的流速则相反,冬半年的大于夏半年。这一差异也许表明,就本海区(主要指陆架部分)流系本身而论,可能是冬强夏弱;而近表层流由于受到方向相同(夏半年)或相反(冬半年)的盛行风的影响,则变为夏强冬弱,这仅是一个粗略的解释¹⁾,海流的季节变化极为复杂,各流系的变化规律亦各有其特点。这方面有待深入研究。

四、东海及其附近区域的涡旋特征

二十余年前的“*Aries*”号调查应用 *Swallow* 浮子初步发现了中大洋涡的存在,大大改变了人们有关世界总环流的概念及模式,开创了海洋环流研究的新世纪^[48]。七十年代通过多次大规模的现场实验,确认了中尺度涡旋的存在及其重要意义。涡旋,特别是西部边界强流(如湾流和黑潮)附近区域的涡旋,它们的出现及生命史愈来愈受到人们的重视。

其实,西部边界流附近存在着涡旋,这早为人所知。例如,三十年代 *Iselin* 指出,在湾流北方存在着一个强大的反气旋型涡旋^[36];茂松和肥沼指出,在吕宋海峡黑潮右侧存在着一个大暖涡^[46]。不过,这些涡旋当时都是从温盐结构上发现的,没有海流观测予以印证。二谷也曾指出,北太平洋西部边界区域存在着冷、暖涡^[46]。

1) 见第 3 页脚注 1)。

(一) 近二十年来这里出现过的一些涡旋

1. 东海黑潮左侧区域的涡旋

(1) 作者曾指出, 由于黑潮绕流及台湾岛的屏障作用, 台湾以北彭佳屿附近区域经常存在着气旋式冷涡^[12]。宇田及岸昭^[52]也指出这里存在着气旋式涡旋, 并谓此涡最早是宇田根据三十年代末的调查结果提出的。殷富^[58]及范光龙^[31]根据 CSK 及七十年代的调查资料也都指出过这里存在着冷涡。由此可知, 台湾东北方的冷涡是常常出现的。

(2) 井上^[21]根据秋、冬季(1969 年 11 月)投放的海底漂浮器资料指出, 在济州岛以南, 对马暖流左侧近底层存在着幅度较大的气旋式涡旋。在《渤海、黄海、东海表层海流图》(管秉贤等, 1977)上, 济州岛西南海域冬季(1—2 月, 10—12 月)也经常出现气旋式涡旋。胡敦欣等^[6]根据若干年夏季的水文、海流资料, 分析了这个涡旋的特征及成因, 并认为它似乎是终年存在着的。

(3) 浦泳修^[47]根据 1977 年 6 月的表层温度分布指出, 在济州岛以西, 长江口东北也出现过冷涡。

(4) 作者根据 1967 年 7 月日本“长风丸”的调查资料指出, 在台湾以北, 东海西南部存在过一个尺度较大的暖涡^[17]。邢成军^[3]引用 1973 年 7—8 月“长风丸”的调查资料也指出这里出现过类似的暖涡。

(5) 小田卷^[18]根据 1980 年 9 月调查的 BT 及 GEK 资料指出, 在五岛滩存在着一个冷水域及相应的气旋式小环流, 这里水深可达 300 余米。这是出现在陆架外缘和陆坡上的冷涡。

(6) Trump & Burt^[54] 根据 1975 年 2 月下半月自记海流计浮标阵资料指出, 在黑潮左侧陆架上 ($28^{\circ}33'N$, $125^{\circ}22'E$ 附近)出现过暂时性的中尺度涡或弯曲, 并叠置于东北向的平均流动之上。

2. 黑潮右侧区域的涡旋

(1) 高橋及茶丹^[52, 53]根据 CSK 资料指出, 在黑潮右侧, 琉球群岛以南, 四季都有气旋及反气旋型的大小不同的各类涡旋自西向东交互出现过。

(2) 作者引用 1975 年 4—5 月“长风丸”调查的水文和 GEK 资料指出, 在琉球群岛以南存在过一个尺度相当大, 纵向延伸深邃的暖涡^[17]。

(3) 作者引用 1966 年 3—4 月和 9—10 月“阳明号”调查资料指出, 在西表岛—石垣岛以南存在着冷涡^[17]。关于这一冷涡, 茶丹在 1979 年也有过类似报道, 但未见原文。

日本水路部从 1980 年起, 在冲绳岛西北黑潮主流区域投放了应用卫星追踪的若干漂流浮标, 在下列两处发现了一些涡旋^[37]。

(4) 奄美群岛以西的反气旋型涡旋: 1980 年 3 月 11 日投放的一个浮标在奄美大岛西北绕行了一圈反气旋型轨迹, 直径约 70km, 运转周期约 7 天。1981 年 2 月 6 日投放的另一浮标在奄美大岛以西及西南分别绕行两圈, 直径约 70 及 90km, 运转周期约 6—7 天。奄美群岛以西位于黑潮逆流区域, 在这里观测到“looped current”还是首次。

(5) 冲绳岛以东的气旋型涡旋: 1980 年 3 月投放的那个浮标从东海通过冲永良部岛—冲绳岛之间的海峡后, 在冲绳岛以东停留了 200 天左右, 一直以 $25^{\circ}20'N$, $128^{\circ}40'E$

和 27°N , 130°E 两处为中心沿气旋型轨迹运动。浮标绕行半径平均为 70km , 转速约 40cm/s 。涡旋中心移动速度平均为 45km/d (约 1kn)。

上述诸涡旋的位置及特征见图 4。

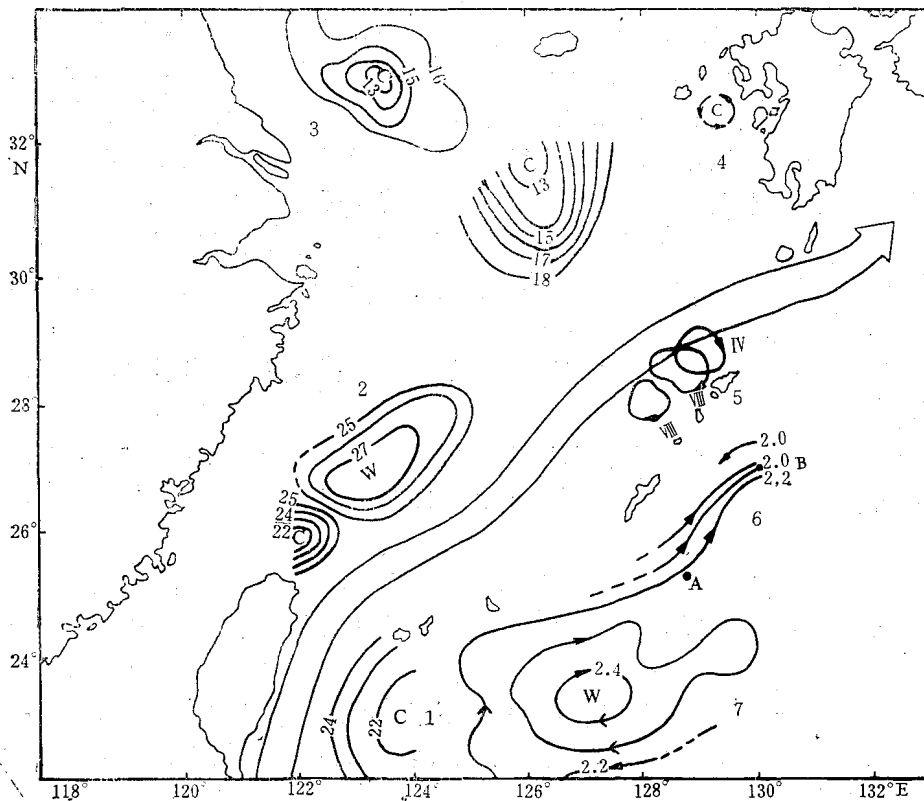


图 4 东海及其附近区域六十年代中期以来出现过的涡旋

1. $T^{\circ}\text{C}(100\text{m})$, 1966 年 3—4 月, “阳明”号观测;
2. $T^{\circ}\text{C}(50\text{m})$, 1967 年 6—7 月, “长风丸”观测;
3. $T^{\circ}\text{C}(0\text{m})$, 1977 年 6 月(根据文献[47]);
4. 1980 年 9 月(根据文献[18]);
5. 浮标漂浮途径, IV: 1980 年 3 月投放, VIII: 1981 年 2 月投放(根据文献[37]);
- 6, A, B: 气旋型涡旋途径中心(根据文献[37]);
7. 动力米 ($0/1000\text{dbar}$), 1975 年 4—5 月, “长风丸”观测。

(二) 涡旋特征及其在流系结构中的作用

从上述诸涡旋的出现情况,可归纳出下列一些特征:

1. 它们分布在黑潮左右两侧的陆架、陆坡和深水区域,两侧都可能有冷(气旋型)及暖(反气旋型)涡出现。正如 Swallow 所指出的,“在强大的表层流附近常常出现各类涡旋”,这在黑潮区域“看来也是无疑的”^[50]。

2. 有一些涡旋比较稳定,在几乎相同的位置上经常出现,如台湾东北、济州岛西南及西表岛—石垣岛以南的诸冷涡。它们的形成可能与地形有关,实际上变成特定水域的

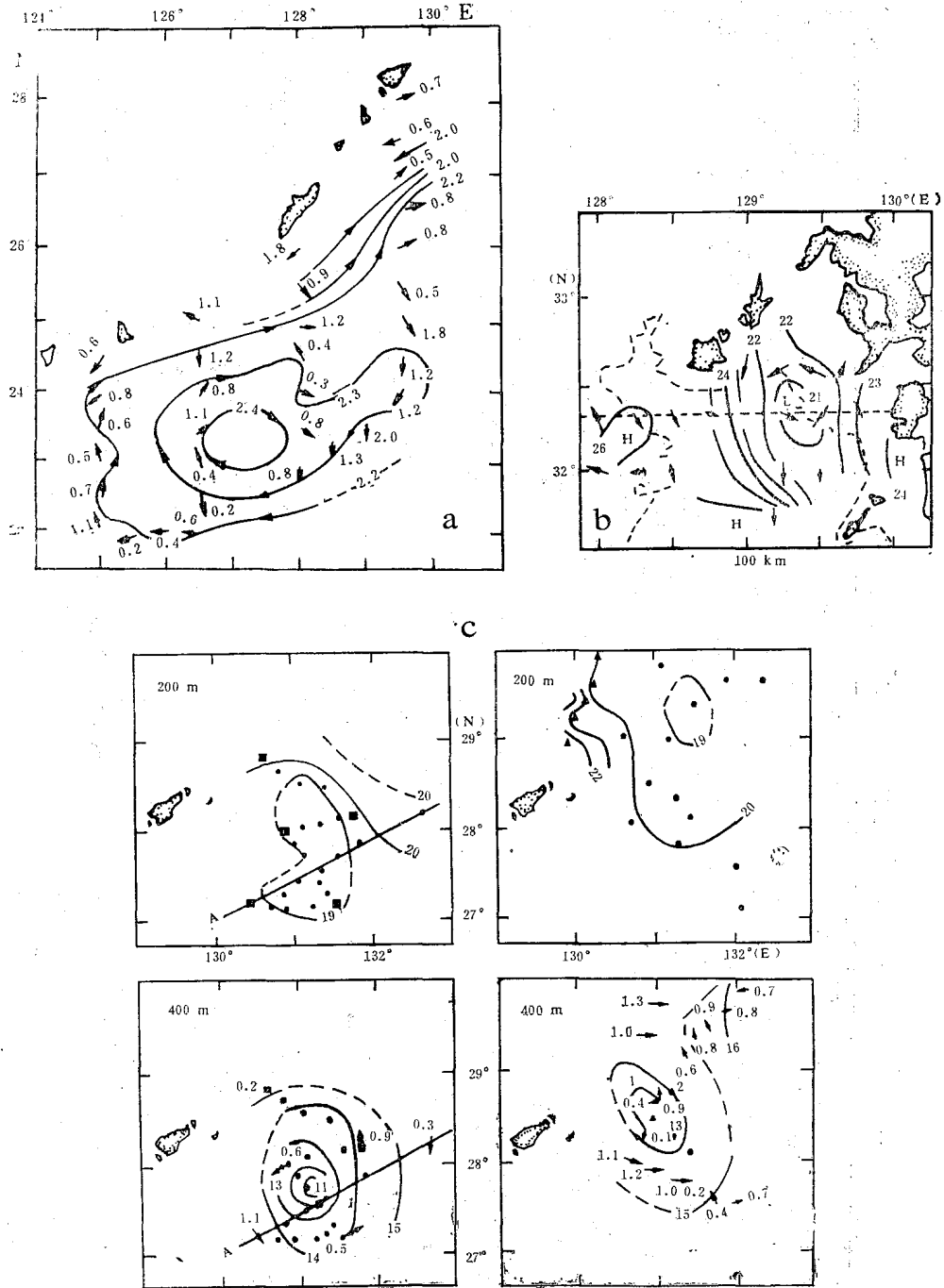
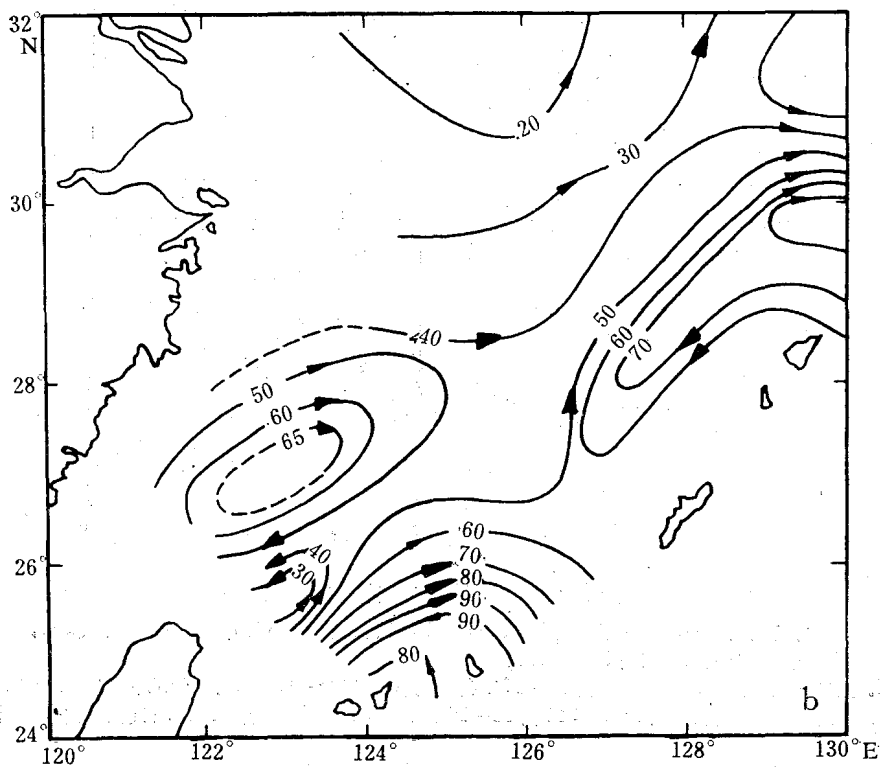
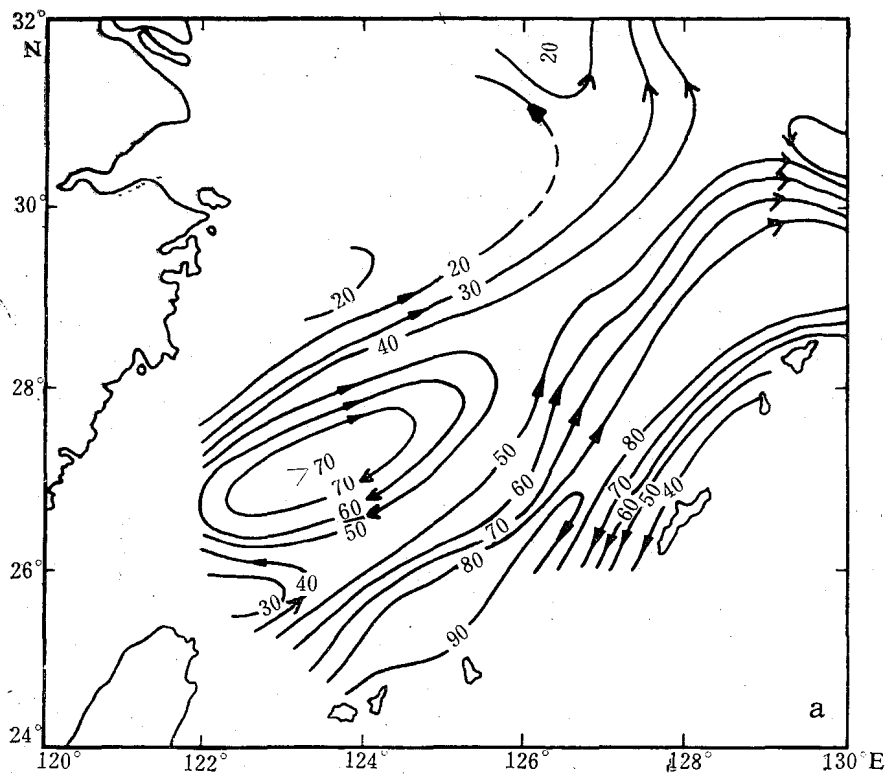


图5 涡旋质量场与流场的比较

- a. 琉球群岛以南暖涡, 1975年4月29日—5月10日(根据文献[17]), $\rightarrow$ GEK 流速 (kn), $\nearrow$ 动力高度(动力米) (0/1000dbar);
- b. 五岛滩以南冷涡, 1980年9月22—24日(根据文献[18]), $\rightarrow$ GEK 流速 (kn), $-T^{\circ}\text{C}$ (50m);
- c. 冲绳岛以东冷涡, 左图 1980年11月23—25日, 右图 1980年12月11—14日(根据文献[37])



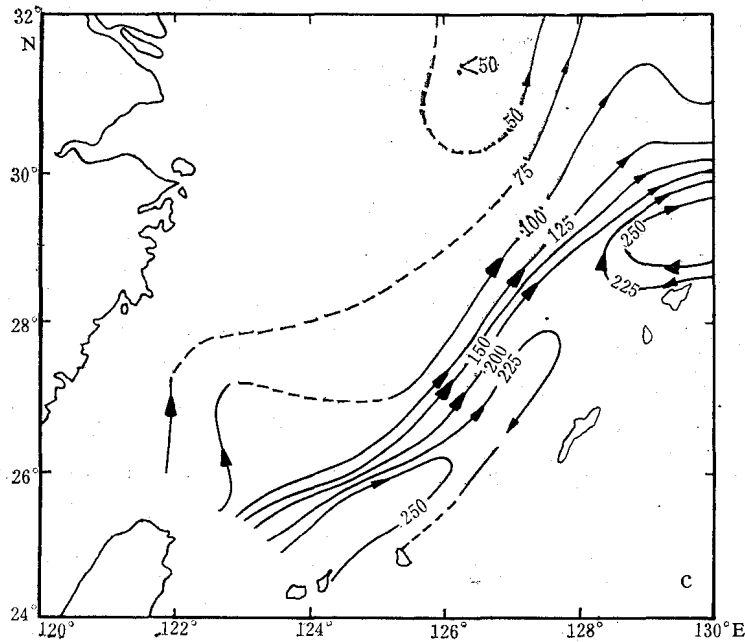


图 6 东海夏季等比容面的等深线 (m) 图

a. $\Delta_{\sigma_t} = 500 \text{cl/t}$, 1967; b. $\Delta_{\sigma_t} = 500 \text{cl/t}$, 1973; c. $\Delta_{\sigma_t} = 300 \text{cl/t}$, 1967

冷水体。另一些涡旋较不稳定,时现时无,性质亦常变化,如东海西南部的暖涡(据作者现有资料,只在 1967,1973 年夏季出现过)和琉球群岛以南的暖涡(有时这里出现冷涡)。气旋型涡旋比较稳定,反气旋型涡旋较不稳定,这与流体动力学原理相符^[5]。

3. 从一些涡旋的热盐结构和动力高度分布得出的流场与 GEK 实测流速、浮标轨迹的比较中可以看到,两种流场趋于吻合,故可认为,这些涡旋运动具有地转或准地转的性质。例证如下:

(1) 琉球群岛以南的暖涡,动力高度 (0/1000dbar) 分布与当时 GEK 测得矢量分布基本一致(见图 5a)。

(2) 五岛滩以南的冷涡,水温 (50m 层)分布与 GEK 测得矢量分布趋于一致(见图 5b)。

(3) 冲绳岛以东气旋型涡旋,为以后调查的 GEK 及 XBT 资料所证实, 300—400m 层冷涡性质明显(见图 5c)。

4. 涡旋的出现在总环流系统结构中起了较重要的作用,这不仅在大洋中,在浅海陆架中也是这样。东海环流分布形式的变异与涡旋的出现有密切关系。例如, (1)东海冬、夏两半年的平均流场,基本上为 SW → NE 的一派非封闭性流线(见图 1a, b)。但当台湾以北和东海西南部出现冷、暖涡时,黑潮左侧就出现相应的封闭性流线,使流场复杂化(见图 6a, b)。(2)在 CSK 期间,琉球群岛以南的东向副热带逆流就是沿着带有弯曲的前后连贯的涡旋边缘向更东方向延伸的。所以,涡旋使东向流具有不规则性及弯曲^[53]。

5. 另一方面,涡旋受到大气,特别是风场的影响时,也会发生变化。例如,1966 年 3—

4 月在西表岛—石垣岛以南出现的冷涡,在 9—10 月受到台风的影响,东北风使涡旋趋岸西移,并使之向纵深发展^[17]。

五、对东海流系结构中存在问题见解

东海流系结构中有一些重要问题有待解决,而“黑潮在东海到底有无分支?如有,则有几个?”又是其中最重要的问题之一。

传统上认为,东海黑潮有两个分支,即对马暖流(自九州西南、奄美大岛西北分出)和台湾暖流(自台湾东北方分出)¹⁾。关于对马暖流起源的新见解已如上述。关于出现在闽、浙近海的台湾暖流,作者认为,至少在夏季当源自台湾海峡;并认为此时在台湾东北方黑潮并无分支^[12]。但对这两支海流与黑潮的关系,迄今学者们的意见远非一致,多数人仍持传统观点。

1. 关于黑潮在台湾东北方有无分支的问题,作者仍持原有观点。补充证据如下:

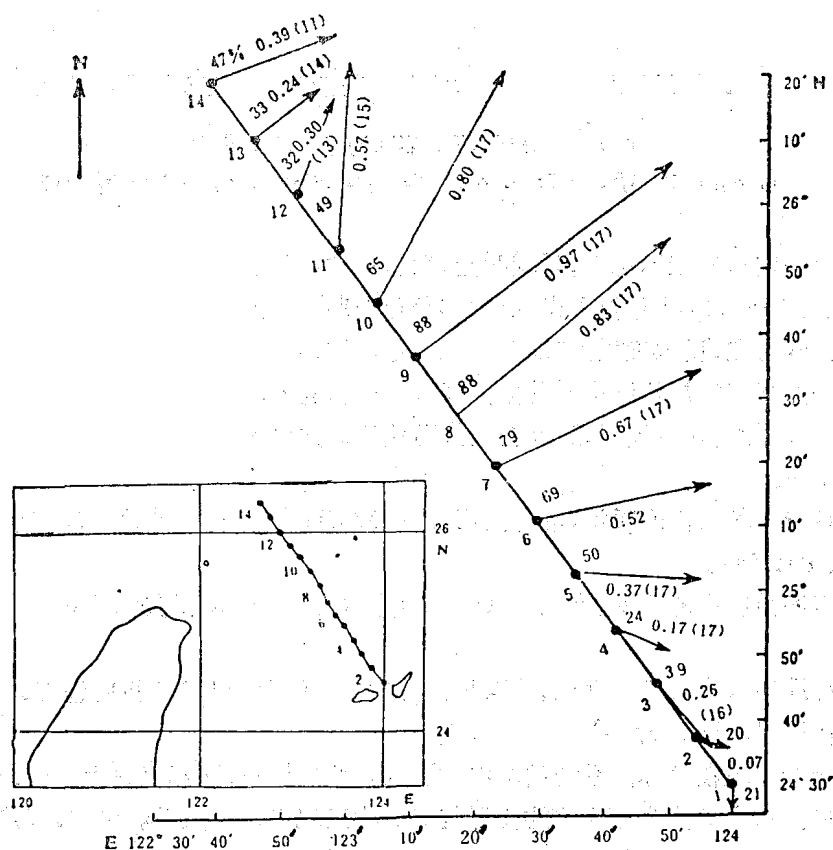


图 7 石垣岛 NW 向断面 GEK 观测所得的合成流速
 矢量旁%数表示稳定度(如 45%),小数表示合成流速(如 0.40kn),
 括号内数表示观测次数(如 15)

1) 日本学者称此分支为“东海中央暖水”^[43]或“黑潮分派”^[21]。

(1) 石垣岛 NW 向断面的 GEK 观测结果 (见图 7, 资料根据“日本水路部观测报告”海洋编, No. 13—17) 为研究黑潮在台湾东北方有无指向闽、浙近海的分支提供了有力的证据。该断面系在 1973—1977 年间观测, 共 17 航次, 凡 221 站次。各站合成流表明, 黑潮主干处的 NE 向流颇稳定, 稳定度¹⁾达 65%, 流轴处高达 88%; 右侧为 SE—S 向流, 稳定度约 20—50%; 左侧为 NE—N 向流, 稳定度约 32—49%。左侧这种流况表明, 在这五年间, 钓鱼岛西北附近区域的表层流向以 NE—N 向为主, 即使有指向 NW 者, 亦属暂时性。

(2) 无论在夏季的水温分布图或 $\Delta_{st} = 500 \text{cl/t}$ 面的等深线分布图 (见图 6a, b) 上, 均看不出在台湾东北方有高温水舌或类似走向的等深线从黑潮主干分离出来而指向闽、浙近海, 只能看到较平直的等值线掠过陆架边缘, 并指向 NE。这表明, 从热盐结构来看,

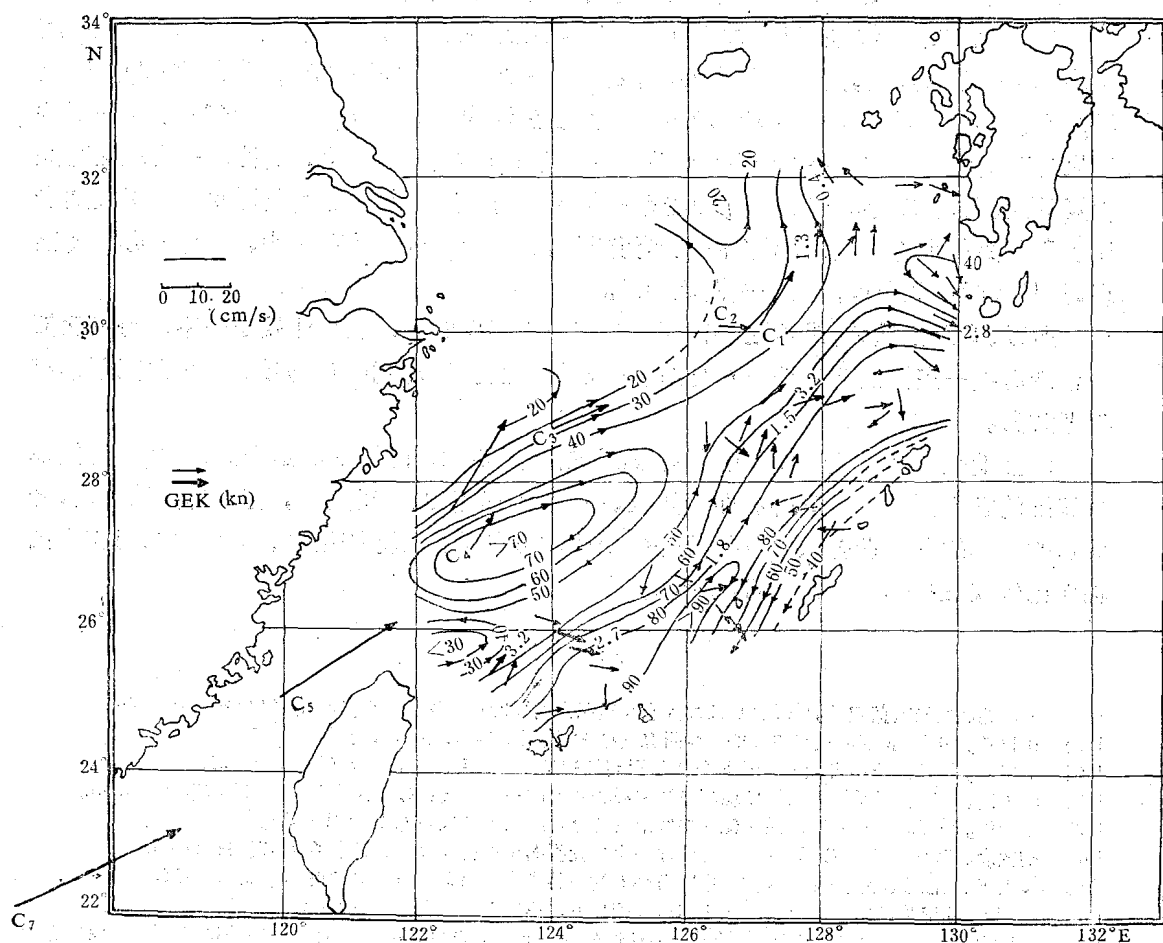


图 8 夏季实测流矢与 $\Delta_{st} = 500 \text{cl/t}$ 面等深线 (m) 的比较

长矢: 1939 年 6 月日本“Soyo 丸”观测所得 10, 25m 及底层合成余流矢量;
短矢: 1967 年 7—8 月日本“长风丸”GEK 测得流矢。

1) 稳定度 = 几何平均流速 / 算术平均流速。

黑潮的上部水层在这里并无分支。

(3) 七十年代以来,在台湾以北及东北海域相继发现夏季存在着冷、暖涡(见图4),即黑潮与闽、浙近海之间隔着一些涡旋。黑潮即使有分支,也难逾越涡旋区域而流向闽、浙近海(只有基隆以北的涡旋,其部分边缘流线指向W或NW)。

但作者上述观点并不排斥黑潮较深的水体(如次表层水)可逆坡向西北流动而趋向闽、浙近海。从图6c($\Delta_{st} = 300\text{cl/t}$)即可看出这样的迹象。并认为,黑潮在台湾东北方虽无分支,但当其边缘部分沿陆架外缘流动时,不但将与附近低盐水发生混合,还会带动这部分混合水沿黑潮主流方向流动,这部分海水可能与对马暖流的起源有联系。

2. 在东海西南部暖涡两侧存在着两个梯度很强的锋面,东南一侧的即黑潮,西北一侧的锋面实为一支自SW指向NE的海流。这从 $\Delta_{st} = 500\text{cl/t}$ 面的等深线分布(图6a, b)可以看得很明显,还可举出一些测流历史资料作为佐证。

Soyo丸1939年6月13—29日的海流昼夜连续观测结果表明,南起台湾海峡西南部,沿闽、浙近海直上,向北至九州西南,夏季存在着一支较强的NE向流(见图8)。图上(C_1-C_5 , C_7 站)粗长矢量为10, 25m层及底层余流的平均值(根据文献[43])。这一观测结果与暖涡西北侧 $\Delta_{st} = 500\text{cl/t}$ 面等深线的分布相吻合。当然,两种资料的观测时间相隔甚远,几达30年。但这一锋面的存在是无疑的。这里即是黑潮上层水与中国大陆沿岸水和黄海冷水的接壤处;不论海况如何变化,这几种水体总是存在的,即锋面必定要出现,只是有时中间可能间隔一些涡旋而已。

所以,有理由认为,沿着这一锋面存在着一支NE向流,它可能就是联系南海东北部—台湾海峡—东海西北半部—对马海峡的水量通道。这对阐明对马暖流的来源问题也有参考意义。

以上就是作者对“东海黑潮分支与否”这一重要问题的看法。这个问题很复杂,简单和笼统的答案都是不合适的。作者建议,在今后的东海调查研究中,应把它列为专题,开展目的明确的现场调查,进行深入研究,期望能得出切合实际的结论,以便对东海流系结构作出较现在更为全面和合理的阐明。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、甘子钧、蓝淑芳,1963. 长江冲淡水及其混合过程的初步探讨. 海洋与湖沼 5(3): 183—206.
- [2] 乐肯堂,1984. 长江冲淡水路径的初步研究(I)模式. 海洋与湖沼 15(2): 157—167.
- [3] 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—271.
- [4] 陈季良,1978. 对于海洋温盐度观测方法和观测精度的一些看法. 海洋仪器 1978年第1期,59—61页.
- [5] 罗四维,1963. 冬季我国高原东侧切变线形成的分析. 气象学报 33(3): 303—319.
- [6] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成,1980. 东东北部一个气旋型涡旋的初步分析. 科学通报 25(1): 29—31.
- [7] 奚盘根、张淑珍、冯士筈,1980. 东中国海环流的一种模型. 山东海洋学院学报 10(3): 13—25.
- [8] 袁耀初、苏纪兰、赵金山,1982. 东中国海陆架环流的单层模式. 海洋学报 4(1): 1—11.
- [9] 曹欣中、潘玉球、宣维莹、许建平,1982. 浙江近海沿岸上升流的初步探讨. 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议(1980)论文集. 科学出版社,125—136页.
- [10] 管秉贤,1957. 中国沿岸的表面海流与风的关系的初步研究. 海洋与湖沼 1(1): 95—122.
- [11] ———,1962. 有关我国近海流研究的若干问题. 海洋与湖沼 4(3—4): 121—141.
- [12] ———,1978a. 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—21.
- [13] ———,1978b. 南海暖流——广东外海一支冬季逆风流动的海流. 海洋与湖沼 9(2): 117—127.
- [14] ———,1979. 东海黑潮变异研究的若干结果. 海洋与湖沼 10(4): 297—306.
- [15] ———,1981. 苏澳—与那国岛断面上黑潮流速结构的特征及其季节变化. 海洋科学集刊 18: 1—18.

- [16] —, 1982. 東海黑潮流量的變動及其原因的分析。中國海洋湖沼學會水文氣象學會學術會議(1980)論文集。科學出版社, 103—116 頁。
- [17] —, 1983. 黑潮源地區若干冷暖渦的主要特征。第二次中國海洋湖沼科學會議論文集。科學出版社, 19—30 頁。
- [18] 小田卷 実, 1982. 五島灘における潮流と恒流系に関して。沿岸海洋研究ノート **19**(2): 112—120。
- [19] 小長俊二, 1978. 過去の冷水域発生時に生じた他の現象について。黒潮大蛇行と大冷水塊——その消長と予測に関する研究。昭和 52 年文部省科学研究費総合研究 A 研究報告書, 106—111 頁。
- [20] 川合英夫、坂本久雄, 1970. 人工クラゲにより観測された東シナ海海底流について—I。南海海区水産研究所研究報告, 第 2 号別刷, 39—48 頁。
- [21] 井上尚文, 1975. 東シナ海大陸棚上の海底付近の流動。海と空 **51**(1): 5—12。
- [22] 井上尚文、川合英夫, 1972. 人工クラゲにより観測された東シナ海海底流について—II。西海区水産研究所研究報告, 第 42 号別刷, 91—105 頁。
- [23] 宇田道隆, 1934. 日本海及びその隣接海区の海況。水産試験場報告, 7: 91—151。
- [24] 佐原 勉、半沢洋一, 1979. 東シナ海の水系分布。海と空 **54**(4): 135—148。
- [25] 赤松英雄, 1979. 東シナ海での観測かう——陸棚斜面付近における黒潮。海洋科学 **11**(3): 175—181。
- [26] 近藤正人、王井一寿, 1975. 東シナ海の流況。海洋科学 **7**(1): 27—32。
- [27] 稻葉栄生, 1980. 東シナ海大陸棚上における自記測流。海と空 **56**(1): 29—38。
- [28] 藤原伊佐美, 1981. 東シナ海の場合。海洋科学 **13**(4): 264—270。
- [29] 藤原伊佐美、江口一平、中尾一見、半沢洋一, 1982. 東シナ海の黒潮定線における海況(水温・塩分・流れについて)。黒潮の開発利用の調査研究成果報告書(その 5), 日本海洋科学技術センター, 61—70 頁。
- [30] Choi, B. H., 1982. Note on currents driven by a steady uniform wind stress on the Yellow Sea and the East China Sea. *La mer* **20**(2): 65—74。
- [31] Fan Kuang-lung, 1980. On upwelling off northeastern shore of Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica* **11**: 105—117。
- [32] Fujimoto, M. and S. Hattori, 1980. Preliminary report on Fisheries Oceanographical observation at the fixed station CM in the East China Sea. The Kuroshio IV-proceedings of the Fourth Symposium for CSK, Saikon Publishing Company, Ltd. Tokyo, pp. 819—829。
- [33] Fukasawa, M. and Y. Nagata, 1980. Cold water areas in the vicinity of the Shoal, Kokushô-sone. *J. Oceanogr. Soc. Japan*. **36**: 141—150。
- [34] Guan Bingxian and Mao Hanli, 1982. A note on circulation of the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **1**(1): 5—16。
- [35] Inaba, H., K. Kawabata, H. Futi and M. Sato, 1982. Current measurements in the East China Sea. Proceedings of the Japan-China Ocean Study Symposium on “Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea”. Special Report of Institute of Oceanic Research, Tokai University, pp. 95—117。
- [36] Iselin, C. O'D. 1936. A study of the circulation of the western North Atlantic. *Pap. Phys. Oceanogr. and Meteor.* **4**(4): 1—100。
- [37] Ishii, H., R. Saruwatari, Y. Ueno, S. Kuramoto and H. Nishida, 1982. Application of drifting buoys in ocean research. *Report of Hydrographic Researches*. **17**: 347—365。
- [38] Kawabe, M. 1980. Sea level variations around the Nansei Islands and the large meander in the Kuroshio south of central Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan* **36**(4): 227—235。
- [39] Konaga, S., K. Nishiyama and H. Ishizaki, 1980. Geostrophic transport in the East China Sea and south-east of Yakushima Island—A case study *The Oceanographic Magazine* **31**(1—2): 33—40。
- [40] Lim, D. B., 1971. On the origin of the Tsushima current water. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **6**(2): 85—91。
- [41] Maeda, A., 1979. Short internal waves on the margin of the continental shelf of the East China Sea. *La mer* **17**(1): 18—27。
- [42] Nagata, Y., 1982. Oceanic conditions in the East China Sea. Proceedings of the Japan-China Ocean Study Symposium on “Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea”. Special Report of Institute of Oceanic Research, Tokai Univ., pp. 25—41。
- [43] Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Faculty of Marine Science and Technology*, Special Number: 199—234。
- [44] Ninno, H. and K. O. Emery, 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **72**: 731—762。
- [45] Nishizawa, J., E. Kamihira, K. Komura, R. Kumabe and M. Miyazaki, 1982. Estimation of the Kuroshio mass transport flowing out of the East China Sea to the North Pacific. *La mer* **20**(2): 55—59。

- [46] Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. *In* The Kuroshio. (Eds. H. Stommel and K. Yoshida.) University of Washington Press, pp. 129—163.
- [47] Pu Yongxiu, 1982. The upwelling and eddy phenomena in the north part of the East China Sea. *In* Proceedings of the Japan—China Ocean Study Symposium. Institute of Oceanic Research, Tokai University, pp. 79—94.
- [48] Robinson, A. R., 1976. Eddies and ocean circulation. *Oceanus* 19(3): 2—17.
- [49] Shuto, K., 1982. A review of sea conditions in the Japan Sea. *La mer* 20(2): 119—124.
- [50] Swallow, J. C., 1976. Variable currents in mid-ocean. *Oceanus* 19(3): 18—25.
- [51] Takahashi, T. and M. Chaen, 1967. Oceanic conditions near the Ryukyu Islands in summer of 1965. *Mem. Fac. Fish.*, Kagoshima Univ., V. 16. pp. 63—75.
- [52] ———, 1969. Oceanic conditions near the Ryukyu Islands—II. Oceanic conditions on 125°E in Spring and Summer of 1966. *Mem. Fac. Fish.*, Kagoshima Univ., V. 18, pp. 99—114.
- [53] ———, 1971. Oceanic conditions near the Ryukyu Islands—III. Oceanic conditions along 125°E in spring and summer of successive four years, 1965—1968. *Mem. Fac. Fish.*, Kagoshima Univ., V. 20, No. 1, pp. 31—54.
- [54] Trump, C. L. and W. V. Burt, 1981. Wintertime current meter measurement from the East China Sea. *J. Physical Oceanography* 11(9): 1300—1306.
- [55] Uda, M. and A. Kishi, 1974. Cyclonic cold eddies along the edge of the Kuroshio current in relation to the genesis and passage of cyclones. I. Waters north of Taiwan. *In* "The Kuroshio III, Proceedings of the 3rd CSK Symposium, Bangkok, Thailand, 1972", pp. 199—218.
- [56] Wüst, G., 1936. Kuroshio und Golfstrom. Eine vergleichende hydrodynamische Untersuchung. Veröff. Institut f. Meereskund, Berlin Univ., N. F. A. Georg-naturwiss. Reihe, Heft 29, 69pp.
- [57] Yi, S. 1970. Variations of oceanic condition and mean sea level in the Korean Strait. *In* The Kuroshio—A symposium on the Japan current (Ed. J. D. Marr). East-West Center Press, Honolulu, pp. 125—141.
- [58] Yin Fuh, 1973. Preliminary study of cold water mass near N. N. E. of Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica* 3: 157—180.
- [59] Харченко, А. М., 1968. Течения и водные массивы Восточно-Китайского моря. *Океанология* 8(1): 38—48.

A SKETCH OF THE CURRENT STRUCTURES AND EDDY CHARACTERISTICS IN THE EAST CHINA SEA*

Guan Bingxian

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Hydrographic investigations in the East China Sea (abbreviated as ECS hereafter) carried on by China, Japan and other countries in the last two decades are briefly reviewed, current structures and eddy characteristics in ECS are elucidated, and viewpoints to the important problem concerning the current patterns in ECS are suggested.

(1) More comprehensive schematic representations of vertically averaged current patterns in ECS and schematic representations of near-bottom current patterns in the continental shelf area of ECS are provided chiefly based on data of 24-h. anchored current observations. It is shown that the major current patterns of ECS are essen-

* Contribution No. 1250 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

tially flowing northeastward and nonclosed, winter patterns and summer ones are quite similar, and the near-bottom currents on the continental shelf area flow mainly northward. The major characteristics and variabilities of the components of currents in ECS (such as the Kuroshio, Tsushima warm current, Taiwan warm current, coastal current of ECS and the Changjiang diluted flow, current in Taiwan Strait and the surface currents in the near-sea region) are elucidated.

(2) Major characteristics of the cold and warm eddies which appeared during the last ca. twenty years are enumerated. It is shown that the motion of these eddies is basically geostrophic or quasi-geostrophic and it is considered that appearance of eddies is one of the main factors drawing the variabilities of the current patterns in ECS.

(3) Further evidences are presented for substantiating the following ideas: 1) There is no direct branch set off from the near-surface layer of the Kuroshio in the northeast of Taiwan, at least it is so in summer period; 2) There is a northeastward current flowing obliquely over the west-central part of ECS and it would be probably a direct passage from the Taiwan strait to the Tsushima Strait.