

台湾东北黑潮入侵东海陆架强度的变化规律： 持续一年的 ADCP 现场流速观测*

何源首^{1, 2} 胡 珀^{1, 3, 4} 侯一筠^{1, 2, 3, 4}

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋环流与波动重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋动力过程与气候功能实验室 青岛 266237; 4. 中国科学院海洋大科学中心 青岛 266071)

摘要 本文利用台湾东北陆坡附近海域持续一年的多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)定点深水测流数据提取了观测站点处黑潮跨陆坡入侵强度的时间序列, 并与美国海军混合坐标海洋模式(Hybrid Coordinate Ocean Model, HYCOM)分析数据中提取的观测站点处以及台湾东北陆坡东西区段黑潮入侵强度的时间序列进行了对比研究。研究结果显示黑潮在观测站点处的跨陆坡入侵强度存在显著的季节和季节内变化特征, 并且与台湾东北黑潮主轴位置的摆动有较好的对应关系, 黑潮主轴东(西)移, 则黑潮在台湾东北陆坡西段及观测站点处的入侵显著减弱(增强), 而在台湾东北陆坡东段的入侵显著增强(减弱)。此外, 观测站点处黑潮跨陆坡入侵强度的时间序列还显示出较强的 10d 和 20d 左右的短周期信号, 其中 10d 的周期信号对应着东海黑潮斜压不稳定波动的特征周期, 而 20d 的周期信号则体现了台湾东北附近海域局地涡旋的短期变化。

关键词 台湾东北; 黑潮入侵; ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)观测; HYCOM(Hybrid Coordinate Ocean Model)

中图分类号 P731.26 **doi:** 10.11693/hyhz20190600113

台湾东北附近海域是东海黑潮与陆架水体进行水交换最显著、最核心的海域(Liu *et al.*, 2014; Yuan *et al.*, 2015), 同时也是东海陆架上多支黑潮分支流的生成源地(Yang *et al.*, 2011, 2012, 2018a)。黑潮在台湾东北入侵东海陆架的过程对整个东海的环流结构(Wang *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2018b)、气候(Chow *et al.*, 2015)、营养盐输入(Li *et al.*, 2014; Kodama *et al.*, 2015; Lian *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2018)、生态环境(宋金明等, 2017; 杨德周等, 2017; Zhao *et al.*, 2019)等诸多方面都有着显著的影响, 因此研究台湾东北局地海域黑潮入侵东海陆架强度的变化规律对理解和预测东海海洋环境的变化具有重要意义。

黑潮在台湾东北入侵东海陆架的特征存在显著的季节性差异(Liu *et al.*, 2016), 并且伴随着明显的季

节内变化(Yin *et al.*, 2017)。Yang 等(2011, 2012, 2018a)通过数值模拟研究给出了夏季黑潮在台湾东北入侵东海陆架分支流的三维偏转结构模型, 并提出地形 β -spiral 理论合理地解释了该模型; Oey 等(2010)通过数值模拟研究提出陆架水的冷却会导致台湾东北黑潮在冬季形成一支强的反气旋式入侵分支流。Liu 等(2014, 2016)则通过卫星高度计数据反演了台湾东北黑潮入侵陆架冬夏季流态的变化, 并结合海表漂流浮标提出了黑潮在台湾东北入侵东海陆架的两条典型路径, 夏季以东部入侵路径为主, 而冬季则以西部入侵路径为主。Yin 等(2017)、Vélez-Belchí 等(2013); 程建婷等(2017)的研究则揭示台湾以东抵达的中尺度涡旋会使黑潮主体发生显著变化, 并进一步导致台湾东北黑潮入侵东海陆架发生明显改变。

* 国家自然科学基金, 41630967 号, 41476018 号, 41776020 号; 国家海洋局“全球变化与海气相互作用专项”, GASL-IPOVAI-01-06 号; 国家自然科学基金委员会-创新研究群体科学基金, 414121005 号; 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目, U1606402 号。何源首, 博士研究生, E-mail: heyuxiang@ocean@126.com

通信作者: 侯一筠, 博士生导师, 研究员, E-mail: yjhou@qdio.ac.cn

收稿日期: 2019-06-13, 收修改稿日期: 2019-08-14

已有的针对台湾东北附近海域黑潮入侵陆架的研究以数值模拟研究和海洋要素的大面走航观测或卫星海表观测研究为主,如 Oey 等(2010)、Yang 等(2018a)利用数值方法研究了台湾东北黑潮季节性入侵流态的相关机制,赵瑞祥等(2014)、Wang 等(2016)、Zhou 等(2018)利用陆架上海洋要素的大面观测数据研究了黑潮次表层水入侵东海陆架的变化规律, Liu 等(2014, 2016)利用卫星观测数据和海表漂流浮标数据研究了台湾东北黑潮入侵陆架的特征及其变化规律,而台湾东北附近海域持续的定点流速观测则较少,少数布放在台湾东北陆坡上深度超过 120m 的多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)持续流速观测均未能超过 116d(Chuang *et al.*, 1993; Tang *et al.*, 2000; Wong *et al.*, 2000; Yin *et al.*, 2017)。因此,本文利用台湾东北陆坡附近海域持续一年的现场深水流速观测数据并结合美国海军混合坐标海洋模式(Hybrid Coordinate Ocean Model, HYCOM)分析数据分析总结台湾东北黑潮入侵东海陆架强度的变化规律具有创新性,也可为后续台湾东北黑潮入侵陆架变化规律的相关研究提供可靠的观测证据和 HYCOM 分析数据的验证。

1 数据

1.1 现场测流数据

2017 年 5 月 23 日—2018 年 5 月 19 日,搭载在

深海锚系浮标上的一套 ADCP 记录了台湾东北陆坡上 483.5m 水深处至海表垂直剖面的水平流速数据。布放位置如图 1 所示,坐标为 25.51°N, 122.59°E,台湾东北陆坡的西段主体(D2—D3)与正东向的夹角约为 30°(台湾东北陆坡在 D3 点附近由东北-西南走向转折为纬向,黑潮入侵陆架的东(西)部路径则位于 D3 点东(西)侧),图 2 中沿陆坡和跨陆坡的流速均通过该角度换算得到。观测站点实测水深 621m,观测时间持续 1a,流速数据的采样时间精度为 1h,垂直采样精度为 8m,垂直方向共记录了 62 个数据层。离海表最近的 6 个数据层由于受到海表反射信号的干扰,在我们的数据预处理中已被剔除。为了研究台湾东北陆坡附近黑潮入侵陆架的平均流特征,本文对现场流速观测数据进行了 36h 的低通滤波处理,去除了主要的潮汐信号和其它高频信号。

1.2 卫星高度计数据

本文采用的网格化卫星高度计数据集融合了全球主要海洋动力卫星的观测数据,数据时间分辨率为 1d,空间分辨率为 0.25°×0.25°。本文利用潜标观测时间段内台湾东北附近海域的海表动力高度数据计算了台湾东北黑潮流量和黑潮主轴位置,并提取了测站点处地转流速异常的旋度等相关信息。

$$KVT = \int_{x_w}^{x_e} v_g(x) dx, \quad (1)$$

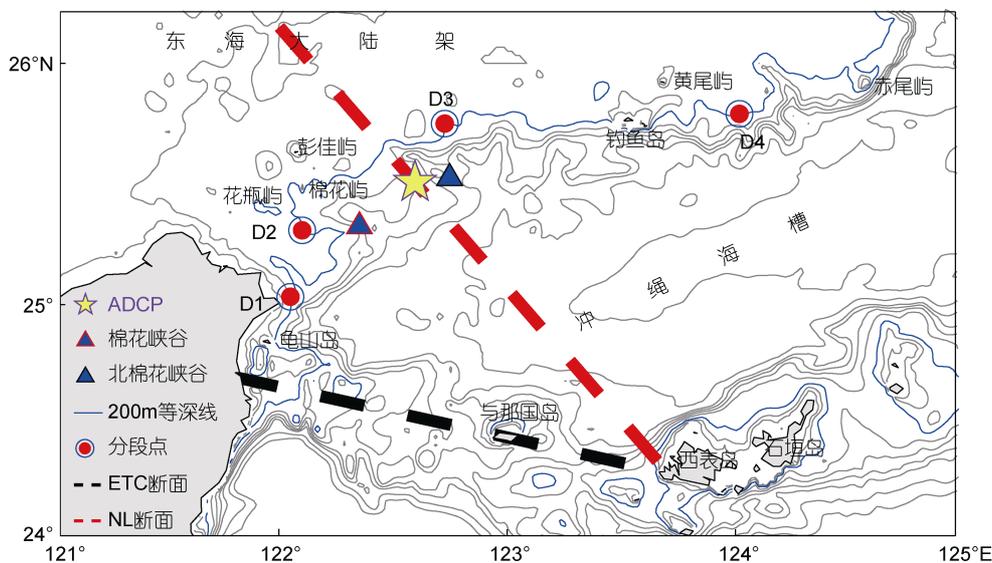


图 1 台湾东北附近海域地形及潜标布放站位图

Fig.1 The bathymetry off northeastern Taiwan and the location of the submerged buoy deployment

注:黑色和红色虚线均为分析数据中设置的断面,ETC断面用于提取台湾东北黑潮强度,NL断面用于提取台湾东北黑潮主轴位置;蓝色实线为 200m 等深线;D1, D2, D3, D4 为 200m 等深线上的分段点

$$X = \frac{\int_{x_w}^{x_E} v_g(x) dx}{\int_{x_w}^{x_E} v_g(x) dx}, \quad (2)$$

$$V_{ga} \text{ curl} = \frac{\partial v_{ga_y}}{\partial x} - \frac{\partial v_{ga_x}}{\partial y}, \quad (3)$$

其中, v_g 为选取断面的法向地转流速, v_{ga} 为地转流速异常, x_w 为断面最西侧坐标, x_E 为断面最东侧坐标, KVT 为 ETC 断面黑潮流量, X 为 NL 断面黑潮主轴位置, $V_{ga} \text{ curl}$ 则为地转流速异常的旋度。

1.3 分析数据

HYCOM 分析数据集是目前物理海洋学领域常用的海洋分析数据之一, 该数据集是基于 HYCOM 数值模式的输出结果采用美国海军耦合海洋资料同化系统(Navy Coupled Ocean Data Assimilation, NCOA)融合了卫星观测数据, 海表漂流浮标, Argo 浮标, 定点观测数据等多种海洋观测资料得到的分

析数据产品, 数据时间分辨率为 1d, 空间分辨率为 $0.08^\circ \times 0.08^\circ$ 。本文利用 ADCP 现场观测期间的 HYCOM 分析数据提取了观测站点处的流速剖面数据, 计算了黑潮在台湾东北跨越 200m 等深线入侵东海陆架的水体输运量, 并与现场观测的入侵强度进行了对比分析和研究。HYCOM 分析数据在观测站点处跨陆坡和沿陆坡的流速剖面随时间的变化如图 2c 和图 2d 所示, HYCOM 分析数据能较好地反映观测时间段内台湾东北黑潮跨陆坡入侵强度(图 2、图 3)和沿陆坡西南向流动的陆坡逆流(Tang *et al.*, 2000)的变化。

2 黑潮入侵东海陆架强度的变化

观测站点处黑潮跨陆坡方向流速剖面的时间序列记录了黑潮入侵陆架强度(跨陆坡方向流速 v_c 的垂直积分 $\int_{z_b}^{z_s} v_c dz$)的变化, 同时, 沿陆坡方向流速剖面的时间序列则记录了台湾东北陆坡西段(D1—D3)次

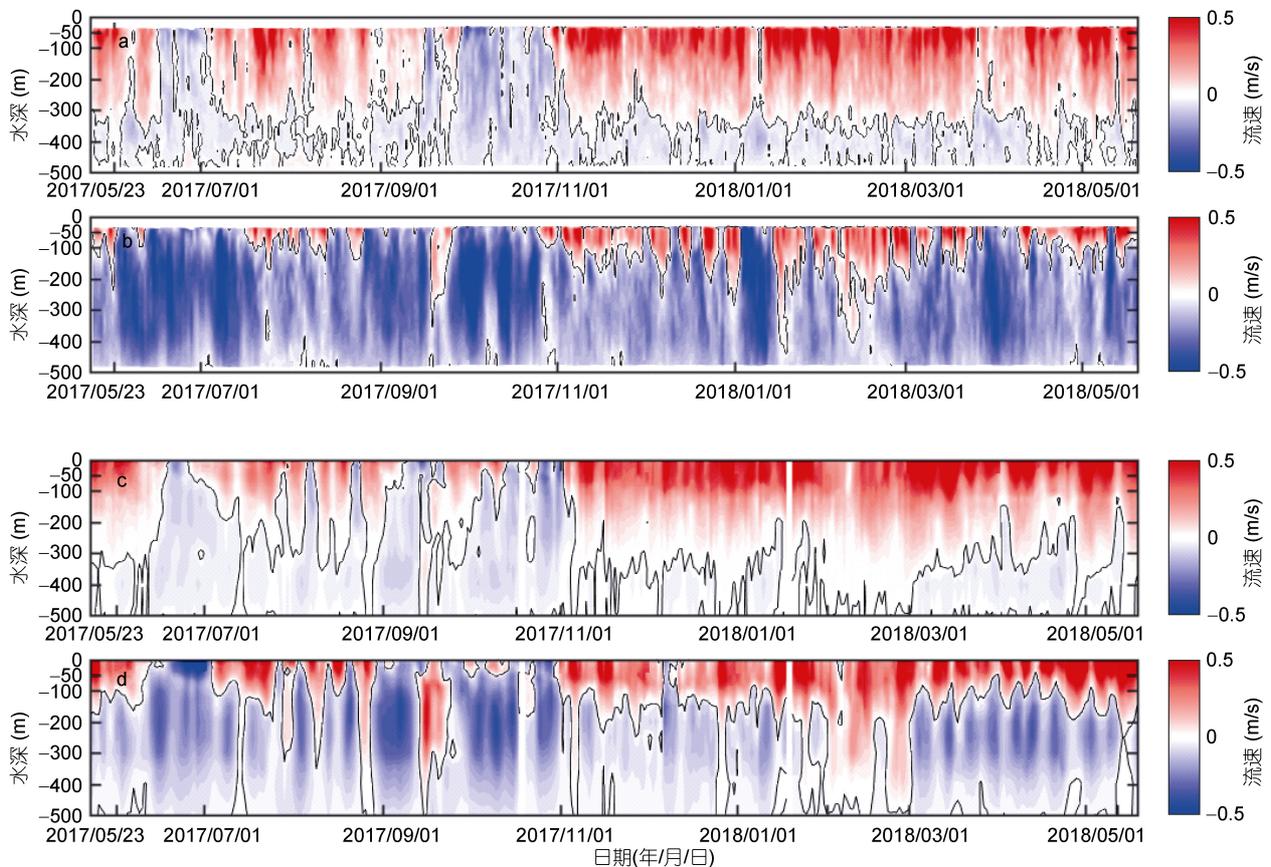


图 2 观测站点处观测数据和分析数据的流速剖面随时间变化的分布图

Fig.2 The current velocity distribution as a function of depth and time derived from the observations and HYCOM analysis data
注: a: 垂直陆坡方向的实际观测; b: 沿陆坡方向的实际观测; c: 垂直陆坡方向的分析数据; d: 沿陆坡方向的分析数据; 垂直陆坡方向的红色: 向岸方向; 垂直陆坡方向的蓝色: 离岸方向; 沿陆坡方向的红色: 东北方向; 沿陆坡方向的蓝色: 西南方向; 黑色实线: 0m/s 等值线

表层自北棉花峡谷沿陆坡西南向流动的陆坡逆流 (Tang *et al*, 2000; Hsu *et al*, 2018) 的变化。由于本文主要讨论黑潮在台湾东北跨陆坡入侵强度的变化, 因此对次表层准稳定存在的台湾东北陆坡逆流不作展开讨论。

黑潮在观测站点处以及台湾东北陆坡西段的跨陆坡入侵强度存在显著的季节变化特征。2017 年 6 月—2017 年 10 月, 观测站点处黑潮跨陆坡入侵强度明显弱于 2018 年 11 月至 2018 年 4 月的入侵强度, 表现出显著的冬强夏弱的特征。如此显著的季节特征

主要与台湾东北黑潮入侵流态的转变有关, 夏季黑潮主轴偏东, 黑潮在东部(西部)陆坡的跨陆坡入侵较强(较弱), 而冬季黑潮主轴偏西, 黑潮在西部(东部)陆坡的跨陆坡入侵较强(较弱)(Liu *et al*, 2014, 2016)。因此, 观测站点处由观测数据、分析数据分别提取的黑潮跨陆坡入侵强度(图 3)和由分析数据计算的台湾东北陆坡西段黑潮跨陆坡入侵强度(跨越 200m 等深线断面水体运输的垂直积分)均呈现出显著的冬强夏弱的特征, 与之相反的是, 陆坡东段则呈现出显著的夏强冬弱的特征(图 4)。

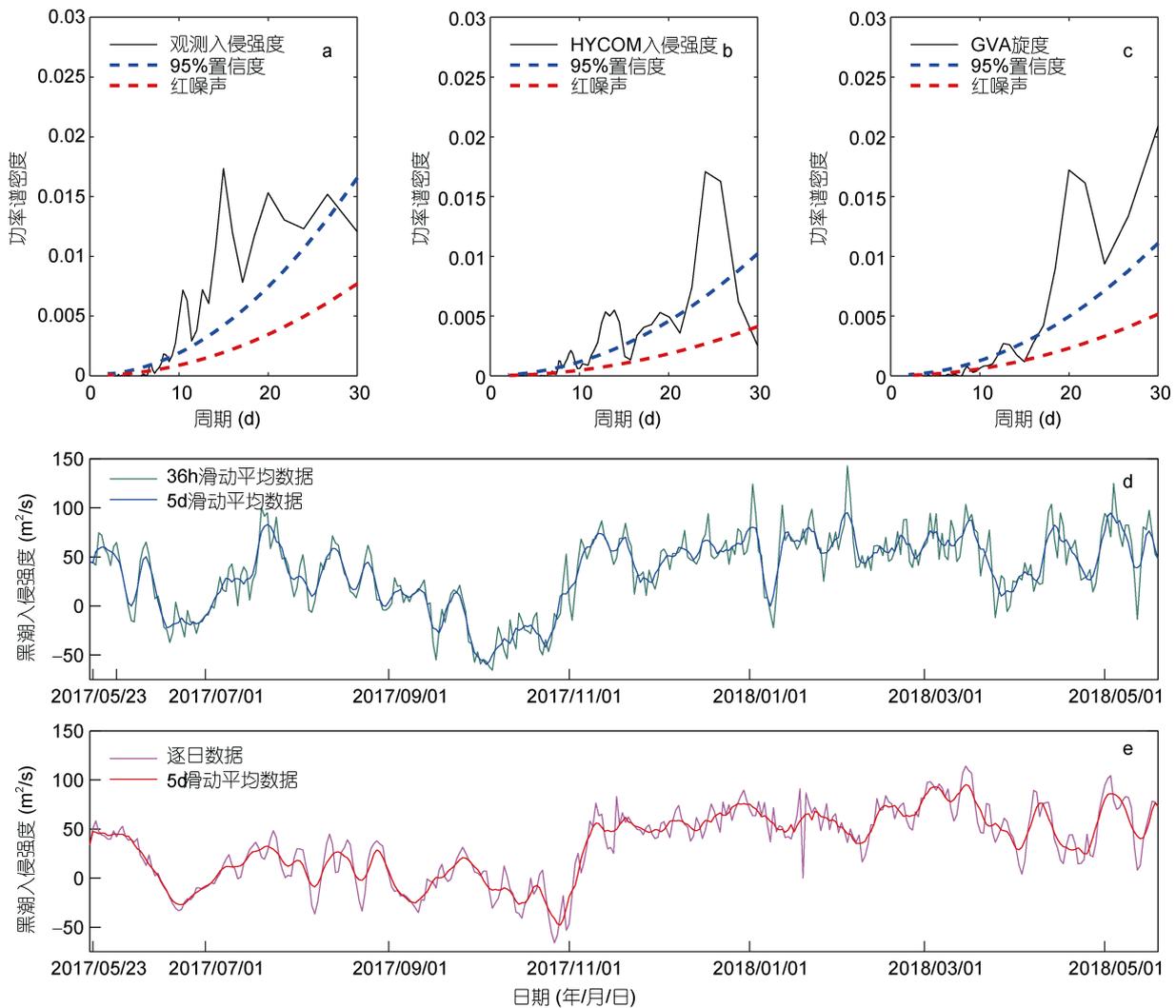


图 3 观测站点处观测及分析数据中黑潮跨陆坡入侵强度的时间序列及谱分析图

Fig.3 The time series in intensity of Kuroshio intrusion and the power spectrum

注: a: 观测站点处流速观测数据功率谱; b: 观测站点处 HYCOM 分析数据功率谱; c: 观测站点处地转流速异常旋度时间序列的功率谱; d: 观测数据结果; e: 分析数据结果

与前人的研究对比, 本文对陆坡西段黑潮跨陆坡水体运输季节变化的定量研究结果(图 3、图 4)与黑

潮表层水入侵陆架强度的季节变化特征较一致, 但是与黑潮次表层水入侵陆架强度的季节变化特征相

反。针对台湾东北黑潮入侵陆架强度的季节变化特征, 赵瑞祥等(2014, 2015)通过研究总结表层漂流浮标轨迹以及东海陆架上各季节大面观测的温盐分布特征后提出: 黑潮表层水体侵入东海陆架在秋冬季较强, 春夏季较弱, 而黑潮次表层水体侵入东海陆架在夏季最强, 冬季最弱。Liu 等(2014)的数值研究结果也表明夏季黑潮在台湾东北陆坡西段主要表现为次表层水体的入侵, 但这并不意味着夏季台湾东北陆坡西段次表层的黑潮跨陆坡水体输运要强于冬季, 夏季陆坡西段黑潮分支流的强度相比于冬季强的反气旋式分支流(Oey

et al., 2010)仍然较弱(Liu *et al.*, 2014)。本文将台湾东北陆坡西段这一关键区域作为整体从水体输运的角度研究了黑潮跨陆坡入侵强度的季节变化, 对黑潮水体跨越陆坡后在陆架上的分布以及黑潮水体更深入入侵陆架的机制没有展开研究。此外, 夏季台湾东北陆坡西段附近还存在有待深入研究的海洋现象和流速结构, 如台湾东北冷水块(Cheng *et al.*, 2009), 台湾东北陆坡逆流(Wu *et al.*, 2008)等, 定量研究并解释这些结构的变化对于理解此处黑潮入侵强度的季节变化也很重要, 但还有待更深入研究工作的开展。

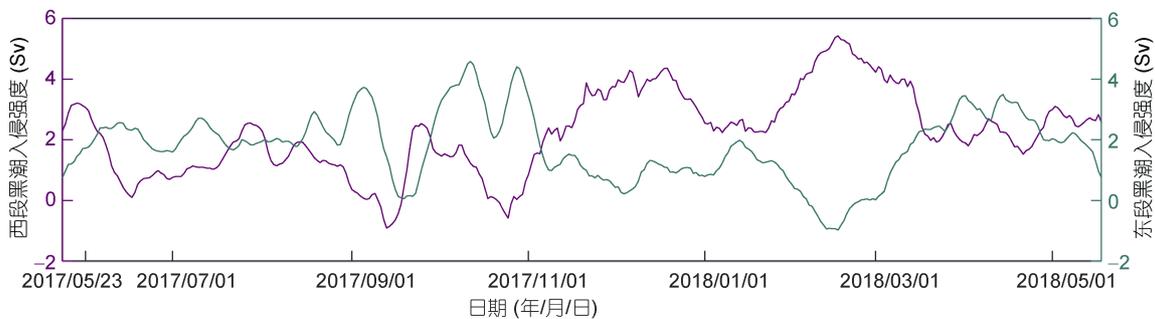


图 4 台湾东北黑潮跨陆坡西段与陆坡东段入侵强度的时间序列

Fig. 4 The Kuroshio intrusion intensity through the eastern slope and western slope off northeastern Taiwan

注: 紫色曲线: 台湾东北陆坡西段(D1—D3, 图 1)黑潮跨陆坡入侵强度的时间序列; 青色曲线: 台湾东北陆坡东段(D3—D4, 图 1)跨陆坡入侵陆架强度时间序列; 分区段的黑潮入侵陆架强度均由分析数据计算得到

除了季节特征, 黑潮在观测站点以及陆坡西段的入侵强度还显示出显著的季节内变化, 如夏季 7 月发生的观测站点处及陆坡西段黑潮入侵显著增强的事件, 冬季 1 月上旬发生的观测站点处及台湾东北陆坡西段黑潮入侵显著减弱的事件(图 3、图 4)。在这些显著事件期间, 台湾东北陆坡西段与东段入侵陆架的强度均表现出较好的负相变化, 两者 10 天低通滤波时间序列的相关系数达到 -0.67 (图 4), 显示出黑潮强入侵区段的显著季节内变化。进一步的数据分析结果则显示, 陆坡西段观测站点处观测的跨陆坡入侵强度的季节内变化特征与台湾东北黑潮主轴位置的变动具有一致性(图 5)。Yin 等(2017, 2019b)的研究表明, 台湾以东抵达的大洋中尺度涡旋会对黑潮主轴及黑潮流量产生显著影响, 气旋式涡旋显著减弱黑潮流量, 并使得台湾东北黑潮主轴西移, 反之, 反气旋式涡旋显著增强黑潮流量, 并使得台湾东北黑潮主轴东移, 进而影响黑潮在台湾东北的入侵变化; 需要指出的是, 台湾东北黑潮主轴位置的显著摆动也会受其它多种因素的影响, 如过境的台风(Sun *et al.*, 2009; Zheng *et al.*, 2014) 等。在本次台湾东北持续一年的定点深水观测中, 黑潮入

侵陆架强度显著的季节内变化均在台湾东北黑潮主轴位置的摆动中得到较好的体现, 两者 10 天滑动平均时间序列的相关系数达到 -0.58 (图 5)。

对观测站点处持续一年观测的黑潮跨陆坡入侵强度的时间序列进行谱分析(图 3), 结果显示, 入侵强度存在显著的 10d、15d 以及 20d 左右的短周期信号。其中 10d 的信号多见于东海黑潮的观测中, 是东海黑潮斜压不稳定波动的特征信号(James *et al.*, 1999)。15d 左右的周期信号则主要体现了在数据预处理中未被滤掉的太阴-太阳半月分潮(MSf, 14.765d)信号, 在本文的结论部分对该信号不再作特别说明。20d 的信号则与观测站点处地转流速异常的旋度有关, 以往的研究表明, 台湾东北附近海域是东海两个涡动能集中的区域之一(Qin *et al.*, 2015), 并且台湾东北涡旋的短期变化比较显著(Cheng *et al.*, 2009; Yin *et al.*, 2019a), 观测站点处黑潮跨陆坡入侵强度 20d 左右的信号在观测站点处地转流速异常旋度的时间序列中有同样的信号出现(图 3c), 因此, 可以合理推断, 观测站点处黑潮跨陆坡入侵强度 20d 左右的周期信号主要体现了台湾东北局地涡旋的短期变化。

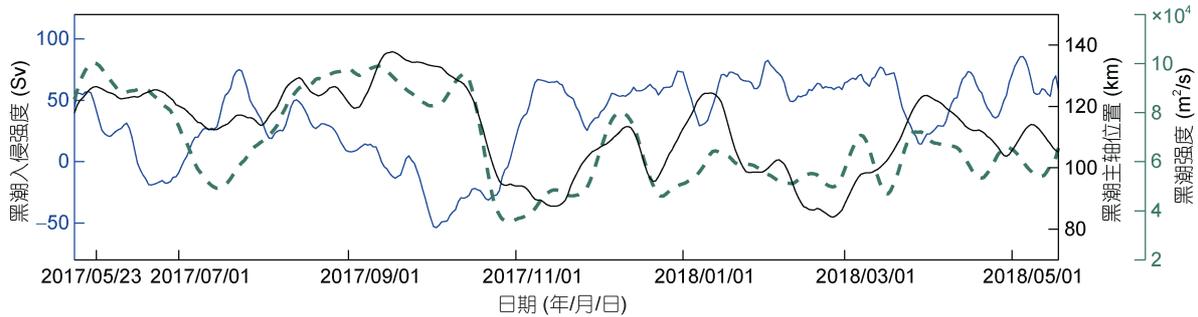


图5 现场观测的黑潮跨陆坡入侵强度与卫星高度计数据提取的黑潮主轴位置及黑潮流量时间序列对比图

Fig.5 The Kuroshio intrusion intensity derived from in situ observations, the Kuroshio intensity off the northeastern Taiwan derived from satellite altimeter data

注: 蓝色曲线: 现场观测黑潮跨陆坡入侵陆架强度的时间序列; 黑色曲线: 卫星高度计数据提取的 NL 断面(图 1)的黑潮主轴位置; 青色虚线: 卫星高度计数据提取的 ETC 断面(图 1)的黑潮强度; 时间序列均为 10d 滑动平均结果

3 结论

持续一年的 ADCP 现场深水观测数据和经过验证的 HYCOM 分析数据均显示台湾东北黑潮入侵东海陆架的强度存在显著的季节和季节内变化。夏半年(5—10月), 黑潮在台湾东北陆坡西段的入侵较弱, 陆坡东段的入侵则较强; 冬半年(11—4月), 台湾东北陆坡西段的入侵显著增强, 而东段的入侵则显著减弱, 台湾东北黑潮入侵陆架的季节内变化也基本满足东西段陆坡黑潮入侵强度的负相关关系。黑潮在台湾东北观测站点处的跨陆坡入侵强度随着台湾东北黑潮主轴位置的摆动而发生变化, 黑潮主轴东移则黑潮在台湾东北陆坡西段及观测站点处的入侵减弱, 陆坡东段的入侵加强; 反之, 黑潮主轴西移则黑潮在台湾东北陆坡西段及观测站点处的入侵增强, 陆坡东段的入侵减弱。

黑潮在观测站点处跨陆坡入侵东海陆架强度的时间序列还显示出显著的 10d, 20d 左右的短周期信号。其中 10d 的信号可由东海黑潮的斜压不稳定波动解释, 而 20d 左右的周期信号则与观测站点处地转流速异常所对应的涡旋过程关系密切。值得一提的是, 黑潮在观测站点处跨陆坡入侵东海陆架强度 20d 以内的短周期信号在 HYCOM 分析数据中也有类似的分布特征(不考虑潮汐信号), 但信号强度偏弱。

致谢 本文用到的 HYCOM 分析数据可通过 HYCOM 官方网站 <https://hycom.org/> 下载, 卫星高度计数据可通过 AVISO 官方网站 <http://www.aviso.cnes.net> 下载, 海底地形数据可通过 NOAA 网站 <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html> 下载, ADCP 现场测流数据的获取则由自然资源部第一海洋研究所船队的东海共享航次(航次编号: NORC2017-02 & NORC2018-01)完成, 在此, 对上述机构

及参与各观测航次的船员表示感谢。杨兵博士, 胡放, 赵新华, 王凯等也全程参与了各个航次潜标的回收与布放工作, 一并表示感谢! 此外, 也要感谢专家老师在审稿过程中提出的意见和建议, 相关审稿意见和建议对本文的修改和完善起到了重要作用, 于楠也参与了本文格式的编辑和修改, 十分感谢!

参 考 文 献

- 杨德周, 尹宝树, 侯一筠等, 2017. 黑潮入侵东海陆架途径及其影响研究进展. 海洋与湖沼, 48(6): 1196—1207
- 宋金明, 袁华茂, 2017. 黑潮与邻近东海生源要素的交换及其生态环境效应. 海洋与湖沼, 48(6): 1169—1177
- 赵瑞祥, 刘志亮, 2014. 台湾东北部黑潮次表层水入侵的季节变化规律. 海洋学报, 36(1): 20—27
- 赵瑞祥, 刘志亮, 2015. 台湾东北部黑潮表层水入侵东海陆架的季节变化规律. 海洋科学, 39(7): 118—123
- 程建婷, 杨德周, 尹宝树等, 2017. 台湾以东中尺度涡对黑潮入侵东海路径的影响. 海洋科学, 41(2): 81—88
- Cheng Y H, Ho C R, Zheng Z W *et al.*, 2009. An algorithm for cold patch detection in the sea off northeast taiwan using multi-sensor data. Sensors, 9(7): 5521—5533
- Chow C H, Liu Q Y, Xie S P, 2015. Effects of kuroshio intrusions on the atmosphere northeast of Taiwan Island. Geophysical Research Letters, 42(5): 1465—1470
- Chuang W S, Li H W, Tang T Y *et al.*, 1993. Observations of the countercurrent on the inshore side of the kuroshio Northeast of Taiwan. Journal of Oceanography, 49(5): 581—592
- Hsu P C, Zheng Q A, Lu C Y *et al.*, 2018. Interaction of coastal countercurrent in I-lan bay with the kuroshio Northeast of Taiwan. Continental Shelf Research, 171: 30—41
- James C, Wimbush M, Ichikawa H, 1999. Kuroshio meanders in the East China Sea. Journal of Physical Oceanography, 29(2): 259—272
- Kodama T, Setou T, Masujima M *et al.*, 2015. Intrusions of excess nitrate in the kuroshio subsurface layer. Continental Shelf Research, 110: 191—200
- Li H M, Shi X Y, Wang H *et al.*, 2014. An estimation of nutrient fluxes to the East China sea continental shelf from the taiwan strait and kuroshio subsurface waters in summer.

- Acta Oceanologica Sinica, 33(11): 1—10
- Lian E G, Yang S Y, Wu H *et al*, 2016. Kuroshio subsurface water feeds the wintertime taiwan warm current on the inner East China sea shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7): 4790—4803
- Liu X H, Chen D K, Dong C M *et al*, 2016. Variation of the Kuroshio intrusion pathways Northeast of Taiwan using the Lagrangian method. *Science China Earth Sciences*, 59(2): 268—280
- Liu X H, Dong C M, Chen D K *et al*, 2014. The pattern and variability of winter kuroshio intrusion Northeast of Taiwan. *Journal of Geophysical Research*: Oceans, 119(8): 5380—5394
- Oey L Y, Hsin Y C, Wu C R, 2010. Why does the kuroshio Northeast of Taiwan shift shelfward in winter? *Ocean Dynamics*, 60(2): 413—426
- Qin D D, Wang J H, Liu Y *et al*, 2015. Eddy analysis in the eastern China sea using altimetry data. *Frontiers of Earth Science*, 9(4): 709—721
- Sun L, Yang Y J, Fu Y F, 2009. Impacts of typhoons on the kuroshio large meander: observation evidences. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2(1): 45—50
- Tang T Y, Tai J H, Yang Y J, 2000. The flow pattern North of Taiwan and the migration of the kuroshio. *Continental Shelf Research*, 20(4—5): 349—371
- Vélez-Belchí P, Centurioni L R, Lee D K *et al*, 2013. Eddy induced Kuroshio intrusions onto the continental shelf of the East China Sea. *Journal of Marine Research*, 71(1—2): 83—107
- Wang W T, Yu Z M, Song X X *et al*, 2016. The effect of Kuroshio current on nitrate dynamics in the southern East China sea revealed by nitrate isotopic composition. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(9): 7073—7087
- Wong G 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(4—5): 335—347
- Wu C R, Lu H F, Chao S Y, 2008. A numerical study on the formation of upwelling off northeast Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C8): C08025
- Yang D Z, Yin B S, Liu Z L *et al*, 2011. Numerical study of the ocean circulation on the East China sea shelf and a kuroshio bottom branch Northeast of Taiwan in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C5): C05015
- Yang D Z, Yin B S, Liu Z L *et al*, 2012. Numerical study on the pattern and origins of kuroshio branches in the bottom water of southern East China sea in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C2): C02014
- Yang D Z, Huang R X, Yin B S *et al*, 2018a. Topographic beta spiral and onshore intrusion of the kuroshio current. *Geophysical Research Letters*, 45(1): 287—296
- Yang D Z, Yin B S, Chai F *et al*, 2018b. The onshore intrusion of kuroshio subsurface water from february to july and a mechanism for the intrusion variation. *Progress in Oceanography*, 167: 97—115
- Yin W B, Huang D J, 2019a. Short-term variations in the surface upwelling off northeastern Taiwan observed via satellite data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(2): 939—954
- Yin Y Q, Lin X P, He R Y *et al*, 2017. Impact of mesoscale eddies on kuroshio intrusion variability Northeast of Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(4): 3021—3040
- Yin Y Q, Lin X P, Hou Y J, 2019b. Seasonality of the kuroshio intensity East of Taiwan modulated by mesoscale eddies. *Journal of Marine Systems*, 2019, 193: 84—93
- Yuan Y C, Zhu X H, Zhou F, 2015. Progress of studies in China from July 2010 to May 2015 on the influence of the kuroshio on neighboring Chinese seas and the ryukyu current. *Acta Oceanologica Sinica*, 34(12): 1—10
- Zhao Y, Yu R C, Kong F Z *et al*, 2019. Distribution patterns of picosized and nanosized phytoplankton assemblages in the East China Sea and the yellow sea: implications on the impacts of Kuroshio intrusion. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(2): 1262—1276
- Zheng Z W, Zheng Q A, Lee C Y *et al*, 2014. Transient modulation of kuroshio upper layer flow by directly impinging typhoon morakot in East of Taiwan in 2009. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(7): 4462—4473
- Zhou P, Song X X, Yuan Y Q *et al*, 2018. Water mass analysis of the East China sea and interannual variation of kuroshio subsurface water intrusion through an optimum multiparameter method. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(5): 3723—3738

VARIATION OF KUROSHIO INTRUSION INTENSITY OFF NORTHEASTERN TAIWAN BASED ON ONE-YEAR ADCP OBSERVATIONS

HE Yuan-Shou^{1,2}, HU Po^{1,3,4}, HOU Yi-Jun^{1,2,3,4}

(1. CAS Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Institute of oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Laboratory for Ocean and Climate Dynamics, Pilot National

Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 4. Center for Ocean Mega-Science, Chinese

Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract An one-year (2017-5-23—2018-5-19) observation was performed with an ADCP (acoustical Doppler current profiler) mounted to a moored submerged buoys off northeastern Taiwan and Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) analysis data as well as satellite altimeter data were analyzed to reveal the variation in intensity of the Kuroshio cross-shelf intrusion off northeastern Taiwan. The intrusion intensity on-site showed significant inter- and intra-seasonal variations within the influence of the Kuroshio axis movement. The cross-shelf intrusion intensity on-site and through the western (eastern) slope off the northeastern Taiwan was weakened (strengthened) while the Kuroshio axis moved seaward (shoreward). In addition, the intrusion intensity showed a 10-day and 20-day short signals. The 10-day signal could be attributed to the Kuroshio baroclinic instability waves, and the 20-day signal could be attributed to the surface eddy variations. Similar signals were noticed in the HYCOM data though the intensity was weak.

Key words northeastern Taiwan; Kuroshio intrusion; ADCP observations; HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)