

# 东海黑潮途经海域岛屿测站表面海温 年变化及年际变化特征

汤明义 尹 杰 曲如美 隋 萍

(国家海洋局青岛海洋预报台)

**摘 要** 本文依据东海黑潮途经海域岛屿测站资料采用滤波、调和分析、能谱方法探讨了该海域表面海温年变化及其年际变化特征,并浅释了其物理机制。其结果表明:东海黑潮沿途海温年变化趋势十分相似,其数值特征较相邻海域变化缓慢,年周期分量占绝对优势;年际变化具有显著的3年和6~7年准周期变化,还存在10~11年和20~22年准周期趋势变化。这些准周期与某些大尺度海-气现象密切相关,在全球水文气象要素和现象的年际气候变化中具有普遍意义。

文中指出了黑潮海域海温年际变化的直接原因应主要是黑潮暖流自身的变动,即它的流速流量的变化;还分析了对马暖流源地海域海温变化振动结构与黑潮海域的关联性、差异及其原因。

**关键词** 东海 表面海温 年变化 年际变化

## 前 言

东海黑潮的调查研究,历来是中日海洋界共同关注的重要课题。80年代以来,中日海洋科技工作者在前人成果的基础上又进行了大规模地调研,并在诸多方面取得了令人鼓舞的进展。然而,迄今该海域仍缺乏能适应通常分析方法的长期连续系统观测,故而有关该海域海况特征年变化尤其是年际变化的研究至今未获得公认的成果。本文试图依据地处研究海域的岛屿测站长期连续观测资料探讨该海域表面海温年变化及其年际变化的基本特征,以期为海况气候预报提供有用信息。

## 1 资料与方法

使用有代表性的6个岛屿海洋站(图1)历年逐旬平均表面海温(以下简称海温)时间序列<sup>1)</sup>,各站资料观测年限列于表1。六站从北到南依次为女岛、名濑、那霸、宫古、石垣、与那国。为叙述方便,顺次赋予序号1~6。其中,1号站代表对马暖流源地海域(下简称源地海

本文于1992-05-15收到,修改稿于1992-12-20收到。

1)日本长崎海洋气象台海洋课提供。

表1 资料观测年限

站号	观测期间
1	1954-10 上旬~1988-12 下旬
2	1953-01 上旬~1988-12 下旬
3	1953-01 上旬~1988-12 下旬
4	1953-01 上旬~1987-07 上旬
5	1953-01 上旬~1988-12 下旬
6	1957-02 上旬~1987-04 下旬

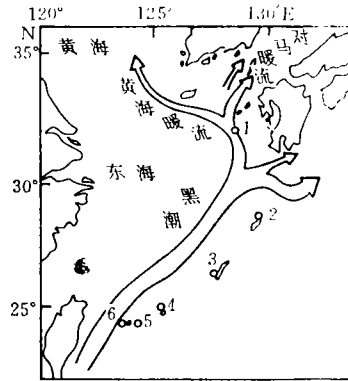


图1 东海黑潮路径及其测站站位示意图

域); 2~6号站代表东海黑潮海域(下简称黑潮海域)。

分析过程中, 为探求海温变化的不同特征, 对原序列分别做了距平处理、滤波处理、调和分析、能谱分析, 为节省篇幅, 有关公式均从略。

在能谱分析中, 对原海温距平序列又做了标准化处理。采用建立在自相关函数的富里叶变换基础上的间接算法, 先求得粗功率谱估值, 再经汉宁(Hanning)窗函数光滑求得其细谱估值。为检验谱估值的显著性, 据落后1个时距的自相关系数( $r_1$ )值的大小判断采用“红噪声”过程或是“白噪声”过程作为标准谱。本文的情况, 若 $r_1 \geq 0.05$ , 采用“红噪声”过程; 若 $r_1 < 0.05$ 或为负值, 则采用“白噪声”过程。经试验, 最大落后 $m$ 采用序列长度的 $1/3$ 。

## 2 海温年变化的主要特征

众所周知, 东海黑潮系较为稳定的暖性强流, 它的重要示性指标之一的海温也必然有与之相应的分布变化特征。主要表现为沿途海温年变化趋势相似, 其数值特征较相邻海域变化缓慢。

东海黑潮海域年平均海温北低南高, 为 $23.2 \sim 25.6^\circ\text{C}$ 。若不计较特殊的6号站, 2~5号站相距约4个纬距, 温差为 $1.7^\circ\text{C}$ , 平均每纬距仅变化 $0.4^\circ\text{C}$ (表2)。据有关资料分析结果, 差不多相同纬度范围的大陈海洋站到厦门海洋站年平均海温在 $17.8 \sim 21.3^\circ\text{C}$ 范围, 与前者相比较低 $4.3 \sim 5.4^\circ\text{C}$ , 南北相差 $3.5^\circ\text{C}$ , 平均每纬距变化 $0.9^\circ\text{C}$ , 比前者大两倍多。各站年变化

表2 海温年变化主要数值特征

站号	$T_{max}$	$T_{min}$	$T_d$	$A_0$	$A_1$	$\alpha_1$	$A_2$	$\alpha_2$	$A_2/A_1$	$E_1$	$E_2$	$\Sigma$
1	27.7	16.0	11.7	21.2	5.7	233	0.58	47	0.1019	0.9867	0.0102	0.9970
2	28.2	18.7	9.5	23.2	4.7	224	0.32	52	0.0671	0.9912	0.0015	0.9957
3	28.2	20.1	8.2	21.1	4.2	224	0.19	71	0.0442	0.9962	0.0020	0.9982
4	29.1	20.0	9.1	24.6	4.7	213	0.18	99	0.0376	0.9971	0.0014	0.9985
5	29.1	20.5	8.6	24.9	4.4	212	0.20	108	0.0460	0.9968	0.0021	0.9989
6	28.5	22.4	6.2	25.6	3.2	214	0.13	114	0.0403	0.9974	0.0016	0.9991

$T_{max}$ 为年最高海温;  $T_{min}$ 为年最低海温;  $T_d$ 为年较差;  $A_0$ 为年平均海温;  $A_1$ 和 $\alpha_1$ 为周年分量振幅和初位相;  $A_2$ 和 $\alpha_2$ 为1/2年分量振幅和初位相;  $E_1$ 和 $E_2$ 分别为周年和1/2年分量方差贡献。

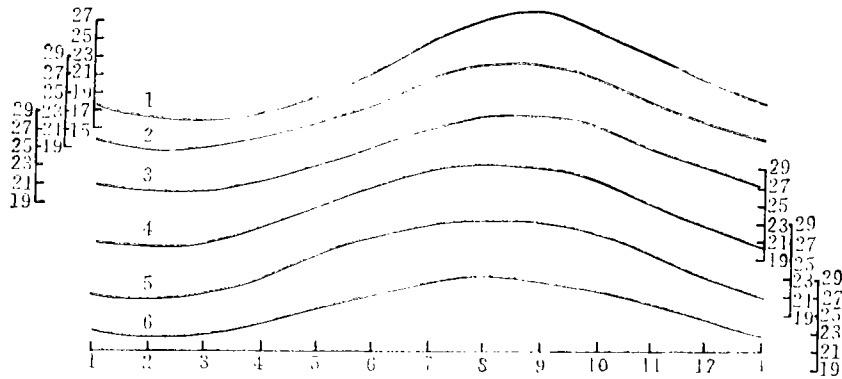


图2 1~6号站海温年变化过程曲线

过程曲线(图2)十分相似.其特点是:谷、峰平缓,似“弓”形,1月中旬到2月下旬、7月中旬到9月中旬变化很小;最快增温期4月中旬至6月中旬,最快降温期10月中旬至12月中旬,期间增、降温率分别为 $1.2^{\circ}\text{C}/\text{月}$ 和 $1.4^{\circ}\text{C}/\text{月}$ ;年最低、最高海温分别出现在1月下旬至2月上旬和7月下旬至8月上旬,其值分别在 $18.7\sim 22.4^{\circ}\text{C}$ 和 $28.2\sim 29.1^{\circ}\text{C}$ ,前者相差 $3.7^{\circ}\text{C}$ ,后者相差不到 $1^{\circ}\text{C}$ ,这与冬季受北方冷空气影响的南北差异以及太阳总辐射能的经向差异大于夏季有关.

由表2中海温年变化调和结果可见,黑潮海域海温年变化周年分量占绝对优势,高次项对海温年变化贡献很小,仅2号站 $1/2$ 年周期分量和其他高次项对其年变化有相对较大贡献,这说明黑潮海域海温年变化主要受太阳总辐射年变化的制约;周年变化振幅(极接近于年较差之半)及初位相(年最高海温出现日期)南北差异很小.

由海温年变化数值特征(表2),可发现某些较为复杂的情况.例如年较差总的说来虽是北大南小的趋势,但其间分布亦有不规则之处,其中4号站相对大,而3号站相对小,这可能与测站所处局地小气候有关.再如,6号站年变化数值特征与其他各站(尤其是与邻近站)差异较大,其年较差(周年分量振幅)明显偏小.文献〔1〕和〔2〕指出台湾东北角附近海域有尺度不大的上升流现象存在,6号站地处其附近,夏季海温偏低,冬季海温偏高,故年较差较小.

源地海域海温年变化趋势及其数值特征明显有别于黑潮海域(图2和表2),显示出前者季节变化较后者大些.再者,该海域有较显著的 $1/2$ 年周期分量,其振幅大约是黑潮海域的 $2\sim 4$ 倍,它对海温年变化的方差贡献大约是黑潮海域的 $5\sim 7$ 倍.

### 3 海温年际变化分析

以序列的均方差作为海温变动性指标,两海域观测期间年平均和冬、夏海温年际序列的均方差列于表3中.由表3并结合图3、4可见,黑潮海域年平均海温变动性最小,夏季次之,冬季变动性最大.

源地海域海温,就其变动性而言大于黑潮海域.该海域年平均海温和冬季海温年际变化

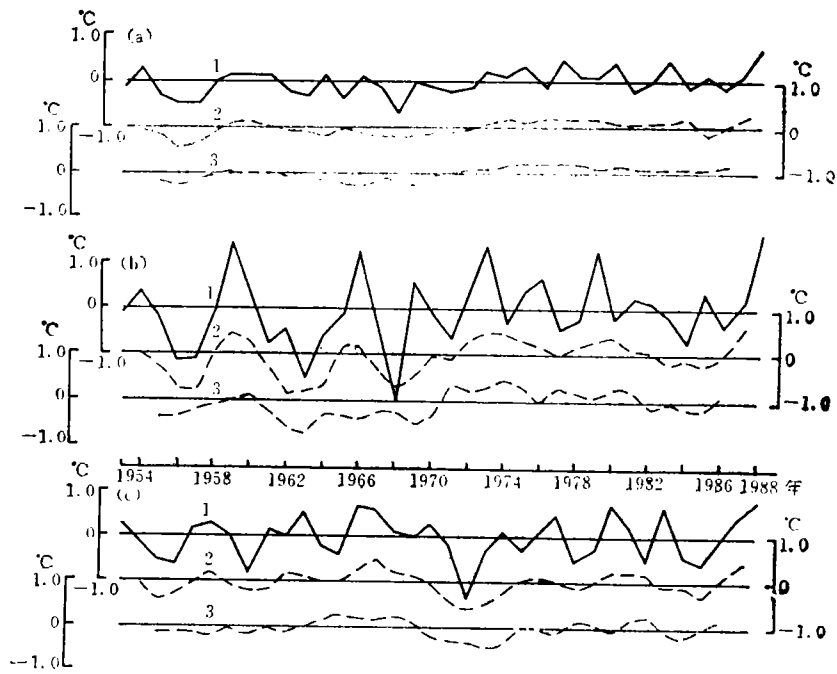


图3 东海黑潮海域表面海温年际变化

图中海温指2~6号站平均海温；(a)、(b)、(c)分别为年平均、冬季(2月)、夏季(8月)海温；1、2、3分别为海温距平年际变化及3年、5年滑动平均曲线

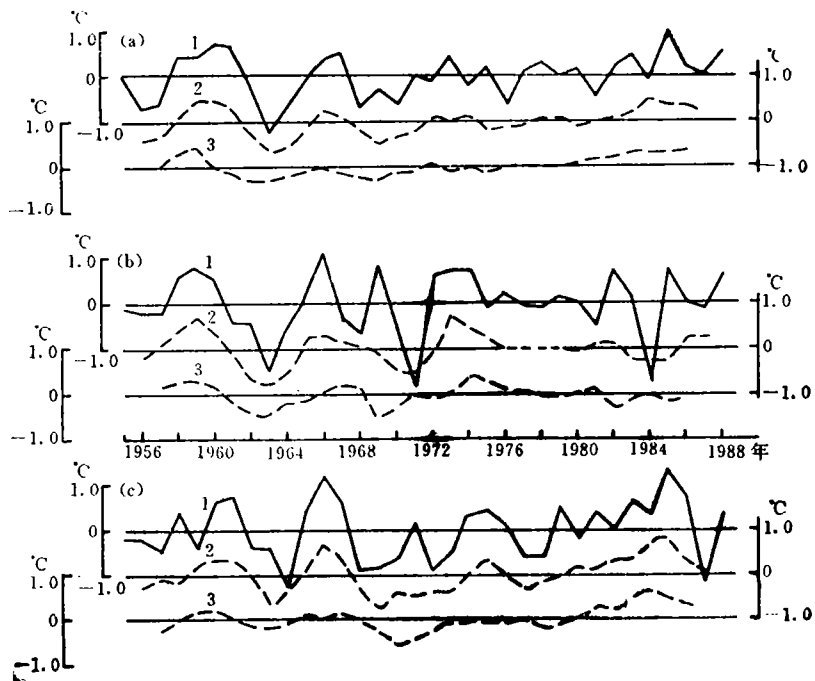


图4 对马暖流源地海域表面海温年际变化

(a)、(b)、(c)分别为年平均、冬季(2月)、夏季(8月)海温；1、2、3分别为海温距平年际变化及3年、5年滑动平均曲线

表3 分析序列均方差统计表 (单位: °C)

序列	黑潮海域	黑潮源地
年平均	0.3	0.5
冬季	0.8	0.7
夏季	0.5	0.7

趋势、振动结构和位相, 除少数年份外, 与黑潮海域大体一致, 说明它的海温变化主要受黑潮变动的制约. 但两海域夏季海温变化, 其变动性、振动结构有较大差异.

综观两海域海温距平年变化(图3、4)所表现出的共同特点是: 在整个观测期间存在着某种长期趋势变化, 在其上叠加有一系列长短不等的小波动, 且往往表现为在一段时期内连续存在某一准周期波动(或周期相近的波动), 而在另一时期内则存在另一准周期波动. 如果以曲线上有明显上升, 尔后又明显下降(升或降率大于 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{a}$ )的相邻两波峰(谷)为一个准周期, 则两海域海温距平序列准周期变化统计结果如表4所列. 由此可认为, 黑潮海域年平均及冬、夏海温分别存在2~4(2~3频次最高)、3~4、3~5(4频次最高)年准周期变化; 源地海域年平均和冬、夏海温分别存在2~5(以2~3频次较高)、3~4、2~5(以2频次较高)年准周期变化.

用上述相同原则, 可由序列的3年滑动平均变化曲线(图3、4)容易分辨出: 源地海域年平均及冬、夏海温分别存在5~7、4~9、5~8年准周期变化; 黑潮海域冬、夏海温分别存在5~8、4~8年准周期变化, 年平均海温3年滑动平均序列波动变幅较小, 不易直观分辨出变化周期.

由序列的5年滑动平均变化曲线(图3、4)还可分辨出更长的趋势变化. 其中, 黑潮海域年平均海温1961~1971年处在偏冷期, 1972~1984年处于偏暖期, 说明隐含有22年左右趋势变化; 冬季海温存在一个偏冷期(1961~1970年)和一个偏暖期(1971~1981年), 构成21年左右趋势变化; 夏季海温变化也可认为存在10年以上趋势变化, 但其确切长度难以直观辨别. 同样, 可辨别出源地海域年平均及冬、夏海温变化也存在黑潮海域类似的相应变化趋势.

在能谱分布图(图5和6)中, 谱值顶端数字为其相应周期. 本文的情况, 规定除谱值超过标准谱上限者外, 谱值接近标准谱上限, 粗谱值超过标准谱上限者也为显著周期. [ ]内数字表示谱值相对突出, 粗谱值接近标准谱上限者. 由于在此所研究的序列是每年取一个值, 此种年际序列的变化很难说成是存在诸如3.4或3.8年周期, 一般应表现为3年或4年周期. 故在分析中将谱图中所呈现出的非整数周期以4舍5入取整.

由谱图分布特征可见, 原海温距平序列主要显示了较高频段周期, 对中、低频谱段周期分辨率较低. 3年滑动平均序列谱图突出了中、低频谱段周期, 而5年滑动平均序列则明显呈现出依据固有序列长度, 采用此种方法所可能得到的低频周期的存在(详见表5). 表5中“·”表示由原距平序列能谱呈现出的显著周期, 这些周期对海温变化的方差贡献最大.

由表5可见, 两海域海温变化能谱分析主要周期大体一致, 也略有差异. 尤其如上述直观分析结果中源地海域夏季海温振动结构与黑潮海域的差异在此得到了印证. 就其周期的显著

表4 直观分析各种准周期变化出现频次统计

周 期(a)		2	3	4	5	6	7
黑潮海域	年平均	4	2	2		1	
	冬季	1	4	3	1		
	夏季		4	2	2		
黑潮源地	年平均	2	2	1	2		1
	冬季	1	3	2	1		1
	夏季	3	2	2	2		

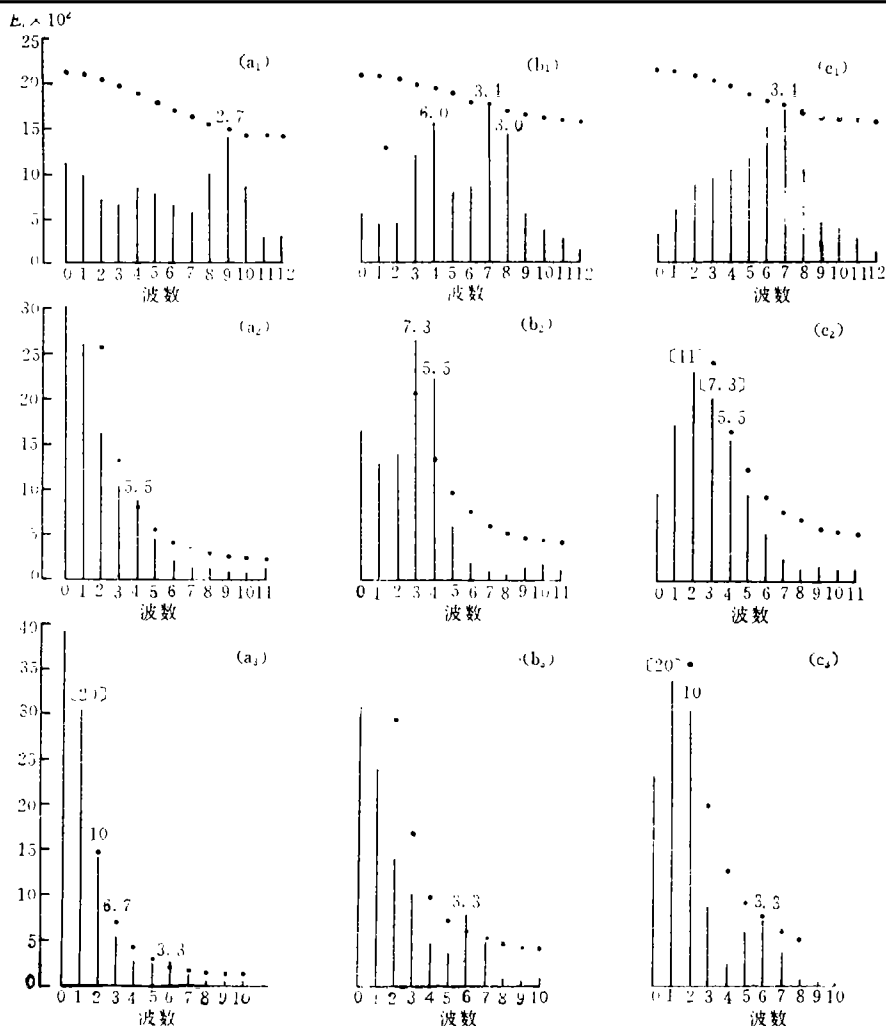


图5 东海黑潮海域表面海温年际变化能谱分布

(a<sub>1</sub>)、(a<sub>2</sub>)、(a<sub>3</sub>)分别为年平均海温距平及其3年、5年滑动平均海温；  
 (b<sub>1</sub>)、(b<sub>2</sub>)、(b<sub>3</sub>)分别为冬季海温距平及其3年、5年滑动平均海温；  
 (c<sub>1</sub>)、(c<sub>2</sub>)、(c<sub>3</sub>)分别为夏季海温距平及其3年、5年滑动平均海温

表5 能谱分析主要周期

(单位: a)

序 列	黑 潮 海 域	黑 潮 源 地
年 平 均	3, 6~7, 10, [20]	[3], 5~7, 10, [20]
冬 季	3, 6~7	3~4, 5~7, 10,
夏 季	3, 6~7, 10~ [11], [20]	[2], 4~7, 10, [20]

性而言，黑潮海域3年准周期较显著，而源地海域5~7年准周期较突出些。两海域海温变化的这些差异和上文中所提及的其他差异是可以理解的，因为源地海域海温变化虽受到了黑潮变动的某种程度的制约，但它同时（尤其是夏季）又与黄海冷水团、黄海沿岸流、台湾暖流

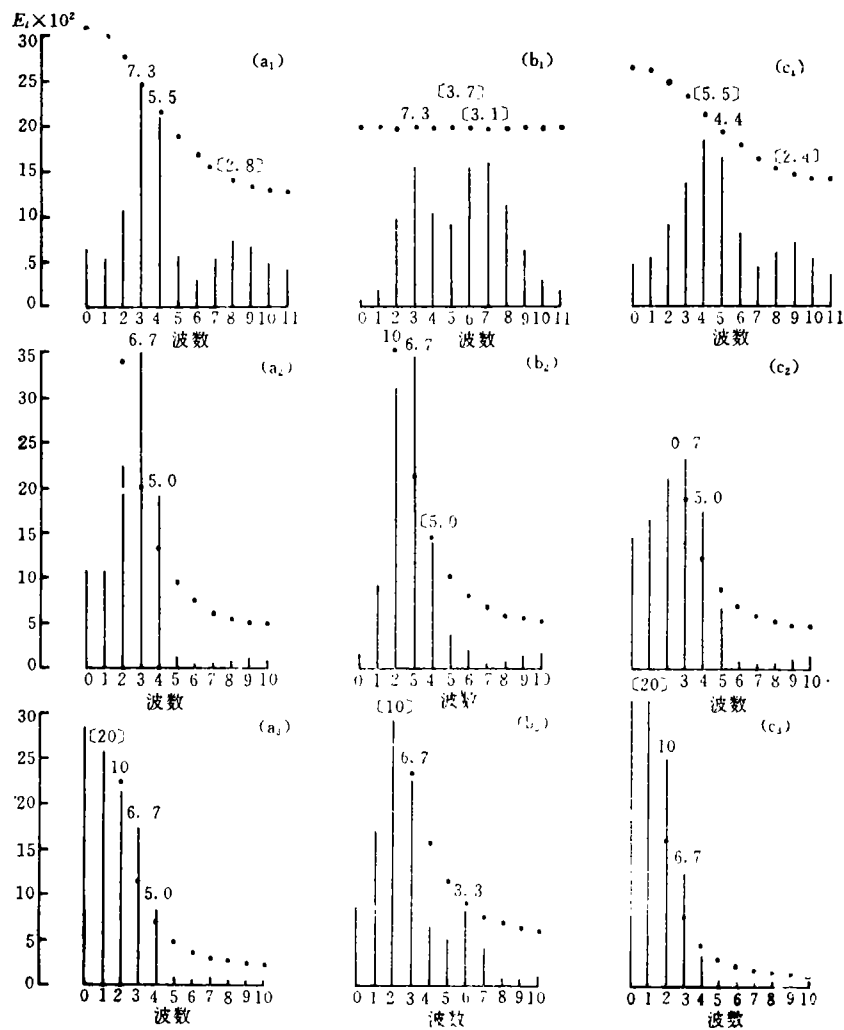


图6 对马暖流源地海域表面海温年际变化能谱分布

(a<sub>1</sub>)、(a<sub>2</sub>)、(a<sub>3</sub>)分别为年平均海温距平及其3年、5年滑动平均海温；

(b<sub>1</sub>)、(b<sub>2</sub>)、(b<sub>3</sub>)分别为冬季海温距平及其3年、5年滑动平均海温；

(c<sub>1</sub>)、(c<sub>2</sub>)、(c<sub>3</sub>)分别为夏季海温距平及其3年、5年滑动平均海温

外海分支和长江冲淡水消涨变化及其相互作用密切相关。

对比上述直观分析和能谱分析结果，之间存在某些差异，主要是由分析方法各自的局限性所致。例如从结果中可以看出，对中、高频周期，直观方法分辨率（或其精度）较能谱方法低，而能谱方法对低频周期的分辨率（当然也受序列长度的限制）较低（在此及前述所谓高、中、低频周期均系指本文的情况而言）。但从准周期或近似的角度而言，两分析方法的上述结果基本一一对应。综合上述两种分析结果可以认为，黑潮海域（包括源地海域）海温年际变化存在3年、6~7年、10~11年、20~22年准周期变化。其中，3年和6~7年周期最突出，即对海温变化的方差贡献最大，而10~11年和20~22年周期较弱，即对海温变化的方差贡献较小，但作为长期趋势，它们是存在的。

解思梅等<sup>[8]</sup>对北太平洋各月SST年际变化特征分析得出其具有2~3年、5~7年、10~12

年、20~23年周期变化,与本文的结果很相近.杜碧兰<sup>[4]</sup>对东海及其外缘海域表层海温变化谱分析得出2.2年和6.7年显著周期.金子郁雄等<sup>[5]</sup>指出中国东部海域海温有6年和2年变化周期.上述结果也体现在本文的分析结果中.

黑潮海域海温的上述准周期变化同王绍武<sup>1)</sup>概括的一些短期气候变化周期(表6)也大体一一对应.这绝非偶然巧合.国内外大量的观测事实和研究结果表明,这些周期在水文气象要素及现象的变化中有重要作用.例如,3.5年周期(即本文的3年准周期),它关系到沃克环流、南方涛动与埃尔尼诺现象,这些已被认为是全球尺度年际气候变化的最突出标志之一.黑潮海域作为其中最敏感的一环,它的海温变化有其相应的周期是很自然的.尽管国内外许多学者都曾努力探索这些周期现象的物理机制,然而至今在诸多方面仍缺乏更深入认识.鉴于其中某些周期现象在全球大气环流和气候变化中的变化中的普遍意义,而把引起它们的最终物理成因归结为天文学-地球因子的变化是有一定说服力的.

表6 天气气候准周期变化及其可能物理因子

周期长度(a)	天气气候过程	可能物理因子
2~3	准两年周期	海-气相互作用
3.5	南方涛动 沃克环流	海-气相互作用
5~6	双振动周期	太阳活动
11	黑子周期	太阳活动
22~23	海尔周期	太阳活动

因为黑潮暖流具有强大的平流输送,其热力状况在很大程度上取决于自身的强弱变化.因此可以认为黑潮海域海温年际变化的直接原因应是热量输送的变化或黑潮流速流量的变化.表7系迄今见诸文献的对东海黑潮强度(流速、流量)变化周期的若干分析结果.表中

表7 东海黑潮强度变化周期

作者	论文发表年份	主要周期(a)
Nitani <sup>[6]</sup>	1977	7~8
佐伯理郎 <sup>[7]</sup>	1979	5.5、8
White 和Hasunuma <sup>[8]</sup>	1980	2~5
张兴发 <sup>[9]</sup>	1981	3、8~9
Saiti <sup>[10]</sup>	1982	5.5、8
于振娟等 <sup>[11]</sup>	1986	2.2、2.9、5.2、6.5、13
孙湘平等 <sup>[12]</sup>	1991	冬3.3、夏4.7、14

所列周期,由于所依据的资料和方法不同,彼此之间有一定差异,在此难以对这些结果的准确性或精度做出评估,但概括起来,这些周期与本文给出的东海黑潮海域海温变化周期颇为相似.

1) 王绍武. 长期天气过程的尺度、结构及其形成原因. 中长期水文气象预报文集, 第二集, 长江流域规划办公室, 1987, 401~410

**参考文献**

- 1 郭炳火. 台湾岛的某些海角附近水域的冷水现象和上升流. 黄渤海海洋, 1986, 4(3): 1~8
- 2 夏综万等. 关于台湾东北海域的一个冷涡. 黑潮调查研究文集, 北京: 海洋出版社, 1987, 228~237
- 3 解思梅等. 北太平洋海表面温度的年际变化特征及其与东亚气候的相关关系. 海洋学报, 1986, 8(5): 547~557
- 4 杜碧兰. 东海及其内缘海域表层海温的谱分析. 海洋预报服务, 1984, 1(1): 1~8
- 5 金子郁雄. 东シナ海海水温の经年变动. 海と空, 1987, 63(3): 15~26
- 6 Nitani H. Beginning of the Kuroshio, Kuroshio—its physical aspects. Univ. Press, 1977, 129~163
- 7 佐伯理郎, 纲野正明. 东シナ海の黑潮流量と黑潮大蛇行. 东京: 日本海洋学会志, 1979, 142
- 8 White W and K Hasunuma. Interannual variability in the large scale-baroclinic gyre structure of the western North Pacific from 1954~1974. J. Mar. R., 1980, 38, 651~672
- 9 张兴法. 东海黑潮强度的长周期变化及其与西北太平洋副热带高压关系的初步研究. 海洋研究, 1981, (2): 26~29
- 10 Sairi M. Relation between the geostrophic flux of the Kuroshio in the East China Sea and its large meanders in south of Japan. Oceanogr. Mag., 1982, 32(1~2): 11~18
- 11 于振娟, 乐肯堂. 东海黑潮变异若干问题的初步探讨. 海洋科学集刊(27), 北京: 科学出版社, 1986, 25~85
- 12 孙湘平等. 1986~1988年黑潮的变异. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 524~533