

赤道外北太平洋冬夏海温场的EOF分析

路凯程^{1,2}, 廖前锋³, 张铭²

(1. 中国人民解放军39506部队82分队, 北京 100076; 2. 中国人民解放军理工大学气象学院大气环流与短期气候预测实验室, 江苏 南京 211101; 3. 中国人民解放军理工大学训练部, 江苏 南京 210000)

摘要:利用较高分辨率的SODA资料,对赤道外北太平洋海洋上层各层的海温,特别是对中纬度北太平洋海温明显异常的海域(其被定义为关键区)做了海温的EOF分析,得到以下结论:北太平洋第一模态空间场上,冬、夏在中纬度北太平洋中西部均有较强正值带出现。在关键区第一模态空间场上,冬、夏两季近表层在日本本州岛的东、西面海域均分别有较强正值区,而次表层则仅存前者;这表明近表层海温(前者)受辐射、蒸发等影响明显,而次表层海温(后者)则其主要受流场垂直运动的影响,前者属海温的热力变化而后者则属海温的动力变化,两者性质不同。北太平洋和关键区的第一模态冬、夏海温变化的趋势均相近,两者在年尺度上均有持续性;两者的年际变化冬、夏均不明显,但均有明显的约20年的年代际变化;两者时间系数的演变均与太平洋年代际振荡(PDO)中的冷、暖位相期有较好的对应;这两个模态均可称为PDO模态。

关键词:北太平洋,海温异常,EOF分析,PDO

中图分类号:P732 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)05-0050-11

1 引言

从20世纪60年代以来,气象学家对海气关系进行了广泛深入的研究,认为海洋是长期天气过程发生异常的主要能源之一。太平洋海温是影响全球气候的一个很重要的因素,海温变化较大的区域通过海气相互作用影响500 hPa全球高度场的环流形势和天气系统,影响副热带高压和西风带的强度和位置等。

近年来有不少研究者对太平洋海温场及其异常作了分析和研究。王晓悦等^[1]用EOF方法对太平洋SSTA主要特征向量的空间分布和相应的时间变化进行了讨论,他们认为:从整体上看,太平洋海温异常有两个强信号中心,一个在赤道中、东太平洋,另一个在40°N附近的中西太平洋。朱益民,杨修群等^[2]对冬季太平洋海表温度与北半球中

纬度大气环流异常进行了研究,发现冬季太平洋SSTA与北半球中纬度大气环流异常之间主要表现为两种时空结构显著不同的共变模态,即年际的ENSO模态和准20年时间尺度的年代际北太平洋模态。北太平洋海温场存在显著的年代际变率^[3],例如北太平洋在1976/1977年前后经历了一次气候突变,在海温场上,它表现为北太平洋中部、黑潮及其延伸体附近变冷,而在加利福尼亚沿岸和热带中东太平洋则表现为变暖^[4]。该现象被称为太平洋年代际振荡(Pacific Decadal Oscillation, PDO)。这种变率并不局限于海表,在次表层也有体现^[5];与太平洋年代际振荡的发生相对应,北太平洋周边地区的生态和气候也经历了显著变化^[4,6]。研究还表明,太平洋年代际振荡及相关的气候系统具有显著的50—70年的准周期^[7-8]。刘剑等^[9]也发现北太平洋海表温度不仅有周期为3—6年的年际变化,还叠加有周期分别为10年、20年的年代际变化,另

收稿日期:2010-12-30

基金项目:国家“973”项目-北太平洋副热带环流变异对大气强迫的反馈作用(2007CB411805)

作者简介:路凯程(1985-),女,硕士,主要从事海洋气象方面的研究。E-mail: kittylyu329@163.com

外发现北太平洋海温变化在1915年左右、1945—1950年之间、1970—1980年之间、1990年左右存在4个突变点。高庆九,屠其璞^[10]认为20世纪70年代中后期北太平洋海温有明显变化,赤道中东太平洋由冷转暖,中高纬西风漂流区由暖转冷,且西风漂流区变化更为显著。程智,江志红等^[11]则指出北太平洋海温年代际变化的垂直结构与温度层结有关,年代际变化的显著层都对应于温度随深度变化的极大值处。吕晓娜,方之芳^[12]分析了20世纪80年代初以来北太平洋海温变化特征,指出赤道中、东太平洋春夏季存在显著5年和3.5年左右的年际变化,北太平洋中部30°N一带冬春季则存在5—6年左右的年际变化和约14年的年代际变化。

以上这些工作都在一定程度上揭示了太平洋海温场及其异常的规律和特征,然而专门对在40°N附近的中西太平洋即中纬度北太平洋的海温异常强信号中心的研究却不很多,且海温异常多着眼于SSTA,而采用较高分辨率资料对海洋上层各层海温及其异常做整体分析并同时结合该区

域流场异常进行讨论的工作则几无。为此本文利用较高分辨率的SODA资料,将赤道外北太平洋海洋上层各层的海温异常看作一个整体,做了EOF分析,并讨论了其与流场异常的关系以及其与PDO的关系。

2 北太平洋海温场 EOF 诊断结果

2.1 所用资料和方法

本文所用的资料为:SODA提供的月平均再分析海温资料^[13];时间年限为1958—2007年,共50年;水平分辨率为0.5°×0.5°(经纬度网格);最深至海面下229.48 m,共分为15层(5.01、15.07、25.28、35.76、46.61、57.98、70.02、82.92、96.92、112.32、129.49、148.96、171.4、197.79、229.48)。

这里采用的诊断方法为EOF分析^[14-15]、合成分析和小波分析;分析的范围是(20°—60°N)的太平洋,即赤道外的北太平洋海域(见图1)。本文将以上15层的温度场的偏差场看作一个整体逐月进

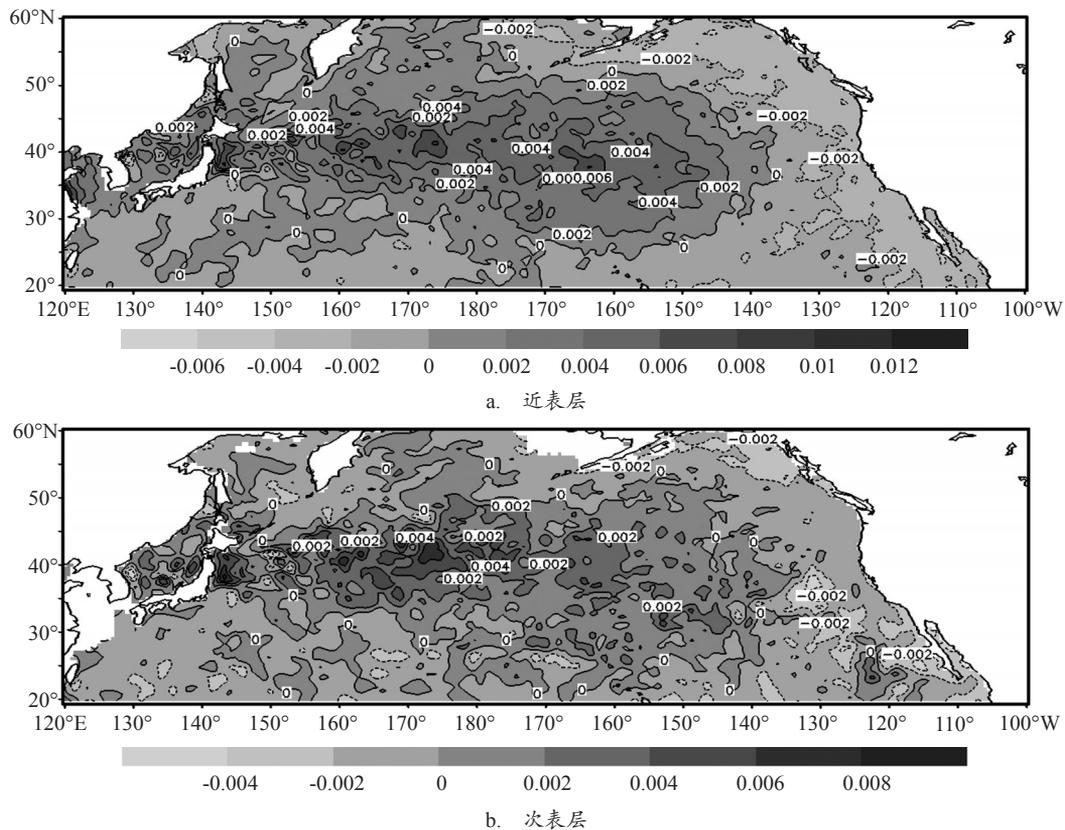


图1 1月北太平洋海温场第一模态的空间分布

行 EOF 分析。这样得到的海温场 EOF 模态的空间场中各层有相同的时间系数, 这样就可将同一 EOF 模态中各层海温场的时间演变有机地关联起来。因本文篇幅所限, 这里仅给出第一模态冬、夏(1月、7月)的诊断结果, 该模态冬、夏的方差贡献分别为 7.4% 和 7.6%, 并均通过了 North 检验^[6]。同样因篇幅关系, 本文也只给出深度为 25.28 m 和 112.32 m 的两层 EOF 的分析结果, 并认为其可分别代表近表层和次表层。

2.2 空间场

2.2.1 冬季

冬季(1月)近表层空间场的情形见图 1a, 中纬 30°—50°N, 从日本东部延伸至太平洋中东部, 均为正值区; 其中在 40°附近有一大值带, 上面有 3 个大值中心, 其分别位于日本本州岛以东、175°E 和 165°W 附近; 白令海、阿拉斯加湾、北太平洋东至东南部及 30°以南北太平洋海域则为负值区。

次表层的情形见图 1b, 与近表层相比, 两者

分布大体相似; 在中西太平洋, 日本东部延伸至太平洋中东部的正值区以及其中的大值带, 其范围与强度都变化不大, 在日本本州岛以东和 175°E 附近仍有大值中心; 在中东太平洋则正值强度有所减弱, 165°W 的大值中心已基本不见; 空间场的负值区与近表层相比则变化不大。

2.2.2 夏季

夏季(7月)近表层的情形见图 2a, 其分布形态与冬季几乎相同; 中纬 30°—50°N, 从日本东部延伸至太平洋中东部, 均为正值区; 其中在 40°附近也有大的正值带, 在本州岛以东、162°E、175°E 和 172°W 附近有大值中心; 在白令海、阿拉斯加湾、北太平洋东至东南部以及 30°以南的北太平洋海域与冬季相同, 也为负值区域。

次表层的情形见图 2b, 其分布形态也与冬季几乎相同; 与近表层相比, 两者大体也相似; 在中西太平洋, 日本东部延伸至太平洋中东部的正值区域及其中的大值带, 其范围与强度也变化不

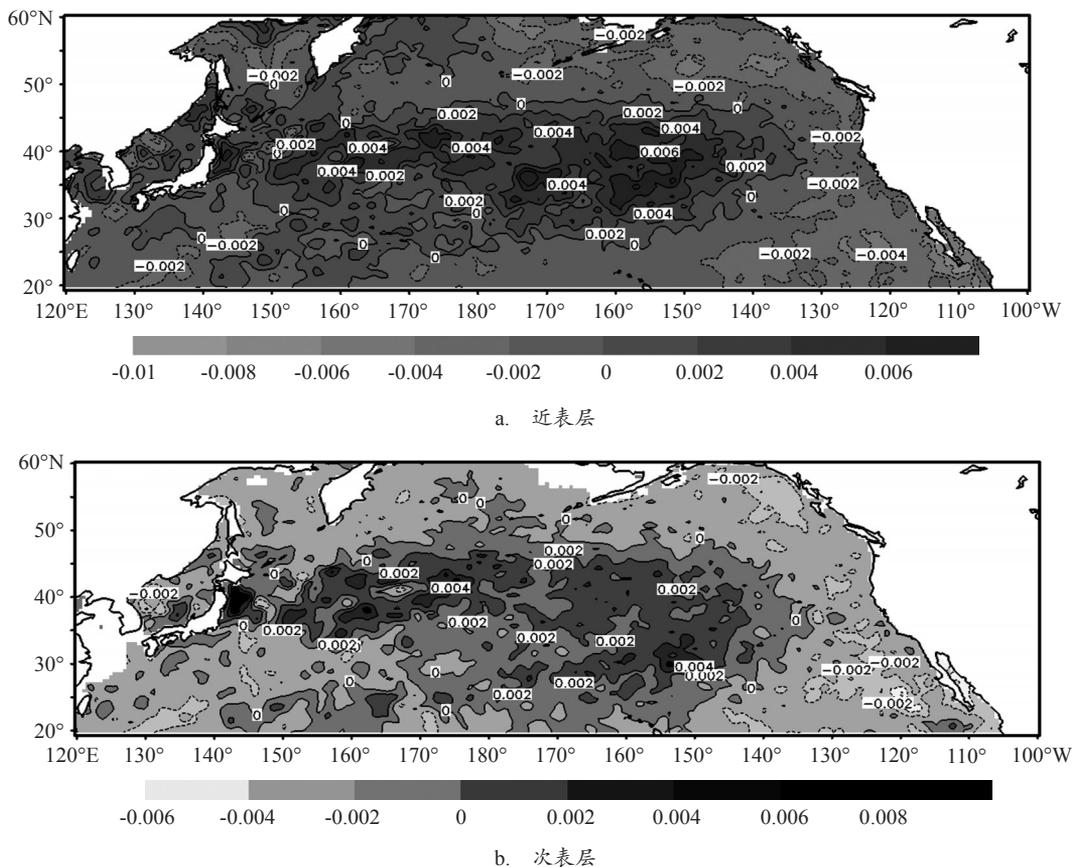


图2 7月北太平洋海温场第一模态的空间分布

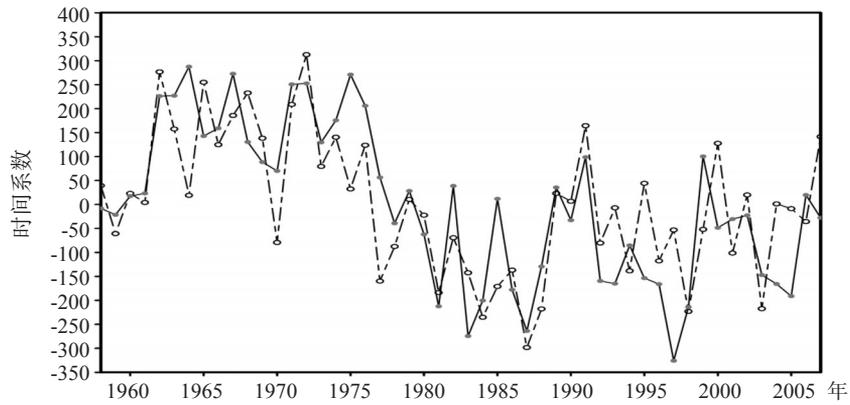


图3 北太平洋海温场1月和7月第一模态的时间系数(实线1月,虚线7月)

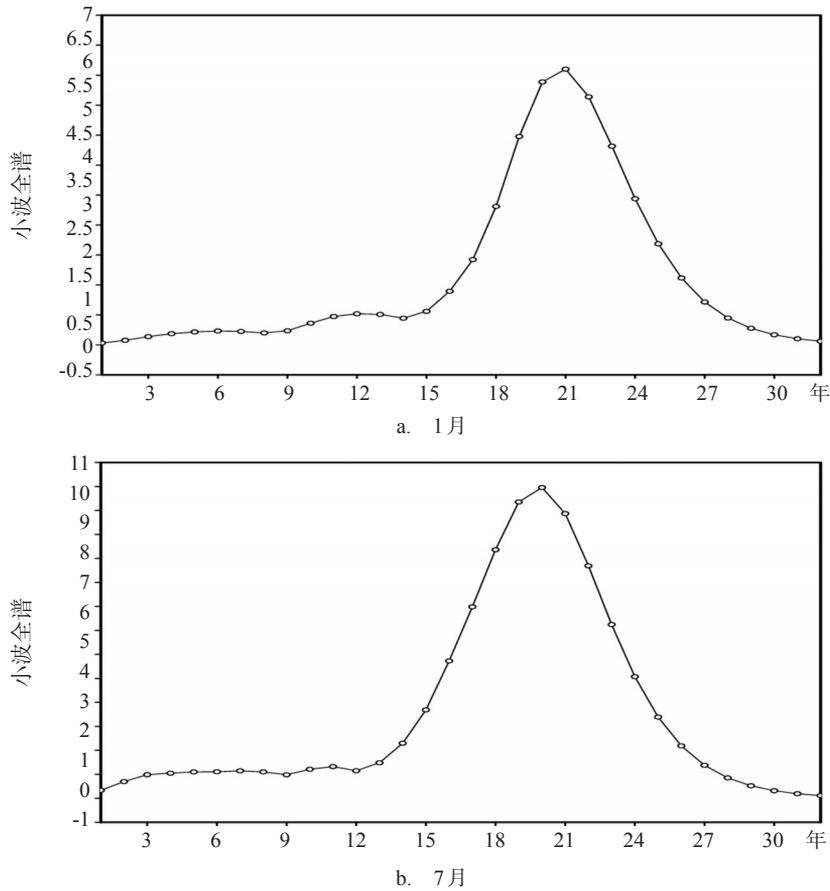


图4 北太平洋海温场第一模态时间系数的小波全谱图

大,日本本州岛以东、162°E和175°E附近仍有大值中心,在中东太平洋则其强度有所减弱,172°W的大值中心已不见;次表层的负值区域与近表层相比同样变化不大。

2.3 时间系数以及年际和年代际变化

从第一模态冬、夏的时间系数的演变可见

(见图3):两者呈现高度正相关,前者的高峰对应于后者的高峰,反之亦然(但可前后相错约1年);注意到冬夏该模态空间场的流形几乎完全相同,这就意味着冬、夏两季该模态海温变化的趋势相同,其变化在年尺度上具有持续性。

由图3还可见,两者均具有明显的年代际变

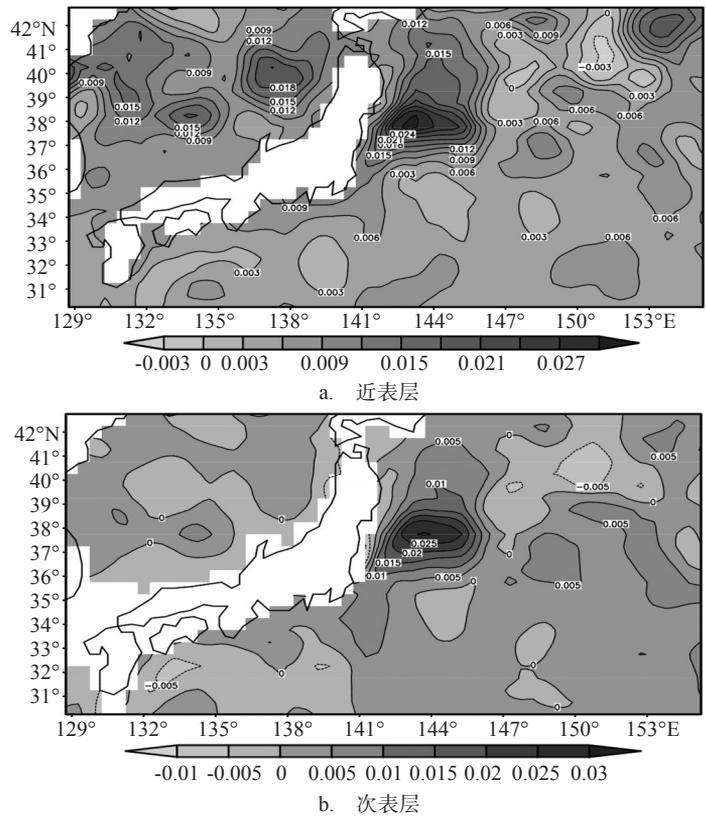


图5 冬季(1月)关键区海温场第一模态的空间分布

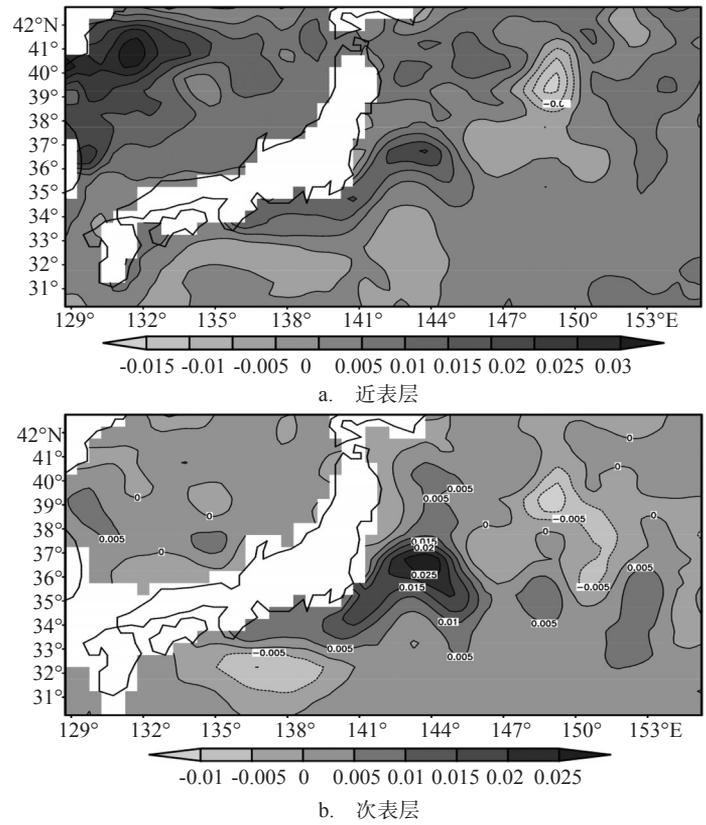


图6 夏季(7月)关键区海温场第一模态的空间分布

化。为揭示时间系数的变化规律,我们对时间系数序列作了小波分析。图4分别给出了冬、夏(1月、7月)该时间系数序列的小波全谱图。由此可见,冬、夏第一模态北太平洋海温的年际变化均不明显,但20年左右的年代际变化则十分明显;这是北太平洋海温异常的年代际涛动(PDO),有关该问题后文将做专门讨论。

3 关键区海温场EOF诊断结果

由上节EOF分析得到的冬夏海温第一模态空间场分布可知,在 40° 附近的北半球中高纬的整个海洋上层,位于日本本州岛东、南部及其以东的黑潮延伸体上的空间场的大值区冬、夏均是明显的;这也与文献[1]中的结论一致。在文献[17]中我们曾对赤道外北太平洋海洋上层的流场做过EOF分析,发现其第一模态明显异常的范围仅占整个北太平洋的很小一部分,为此那里将(27.5° — 39.6°N , 134.5° — 154.5°E)的海域(北太平洋上层流场出现明显异常的海域)定义为北太平洋上层流场异常的关键区。这里依据海温第一模态空间场以上的分布特点,可仿照文献[17]的做法,将(30° — 43°N , 134.5° — 154.5°E)定义为北太平洋上层海温场异常的关键区,以下简称关键区;该区域与文献[17]中的流场异常关键区大体重合;这样也便于将温度场异常和流场异常进行比较和讨论。

关键区海温场EOF分析方法同上面北太平洋区域,并也用1月、7月来代表冬、夏两季;基于以上相同的原因,这里也仅讨论第一模态。冬、夏两季该模态方差贡献分别为10.7%和10.4%,并均通过了North检验。在此也仅给出近表层和次表层的结果。

3.1 空间场

冬季(1月)从图5可见:在近表层,在日本本州岛的东、西面海域,分别有一个正大值中心;前者强度要大于后者,在前者东面则有一个负大值中心。次表层的分布则与近表层有差异;主要是后者消失,而前者的范围和强度则变化不大;在前者东面的负值中心其强度略有加强,范围也有所扩大;原在日本四国岛以南的负值区范围扩大,强度增强。

夏季(7月)从图6可见:在近表层,日本本州岛的西面海域为正值区,在关键区的西北角有较强的正值中心;在日本本州岛的东面海域,也有一个正值中心,其东面则有一个较强的负值中心。次表层的分布与近表层有所差异;主要是本州岛西面的正值区基本消失;本州岛东面的正值中心,强度明显增强,正值范围也有所扩大;其东面的负值中心强度明显减弱,负值范围也有所缩小;在本州岛南面海域则出现了负值中心。

3.2 时间系数及其年际和年代际变化

由关键区第一模态冬、夏的时间系数的演变可见(见图7):两者也呈现高度正相关,前者与后者的峰谷大体一致(前后也可相错约1年);注意到在日本本州岛以东,冬、夏第一模态海温异常最大处的空间分布大致相似,这也就意味着冬、夏两季关键区该模态的海温变化的趋势大体相同,与北太平洋的情况类似,其在年尺度上也具有持续性。

我们也对关键区的时间系数序列作了小波分析。图7分别给出了冬、夏(1月、7月)该时间系数序列的小波全谱图。由图可见,关键区冬、夏两季第一模态海温的年际变化也均不明显;然其分别有11、20年以及14、20年左右的年代际变化;其中20年左右的年代际变化是两者共有的,这也是北太平洋年代际涛动(PDO)在关键区中的反映。

4 海温的热力异常和动力异常

以上诊断表明,在近表层,关键区海温空间场第一模态的分布在冬、夏两季并不完全相同(在日本本州岛以东海域则大体相似);前者正值的极大区出现在日本本州岛以东海域,而后者除出现在上述海域外,还出现在本州岛西面关键区的西北角附近;而在次表层,冬、夏两季正值的极大区则都位于日本本州岛以东海域,而该处正是北太平洋流场异常最明显之处^[7]。这种情况表明,在近表层,海温受辐射、蒸发等因子影响明显,而在次表层,则其主要受流场的影响。上升运动会造成深层冷水上翻,使海温下降;而下沉运动则会使海温升高;这种因垂直运动引起的绝

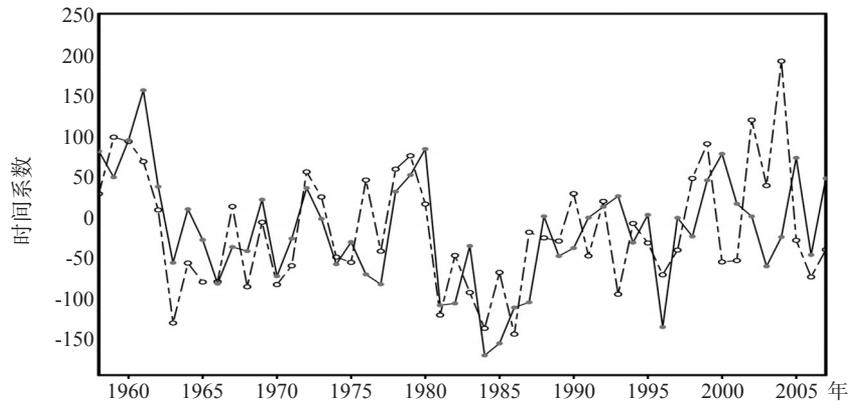
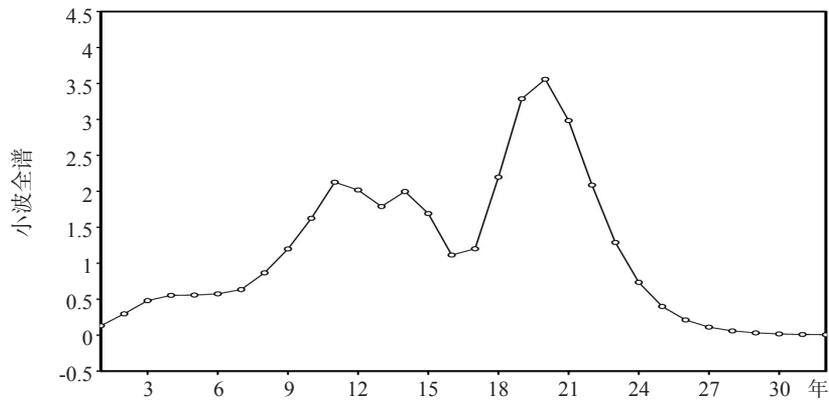
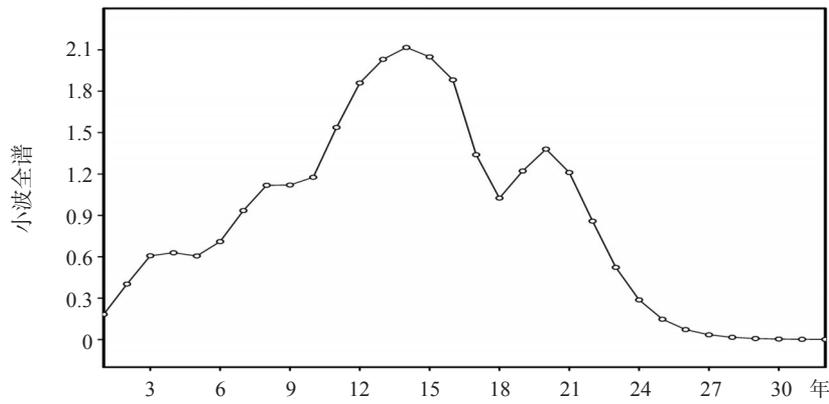


图7 关键区1月和7月第一模态的时间系数(实线1月,虚线7月)



a. 1月



b. 7月

图8 北太平洋关键区第一模态时间系数的小波全谱图

热海温变化引起的异常,可称之为海温的动力异常;这和由辐射、水气相变等因子引起的非绝热海温变化引起的异常不同,后者可称为海温的热力异常。为具体考察关键区中海温的动力异常,我们分别把该区冬季海温 EOF 分析中第一模态空间场的次表层与文献[17]中北太平洋上层流场关键

区(27.5°—39.6°N, 134.5°—154.5°E)冬季流场 EOF 第一模态(均采用以上的 SODA 资料,不过后者用流场)空间场的次表层做了比较。首先考察时间系数,比较图7与图9a可见,两者在50年中呈现很好的正相关。然后比较两者空间场。由图5b与图9b可见,反气旋(气旋)涡旋或曲率处则对应于

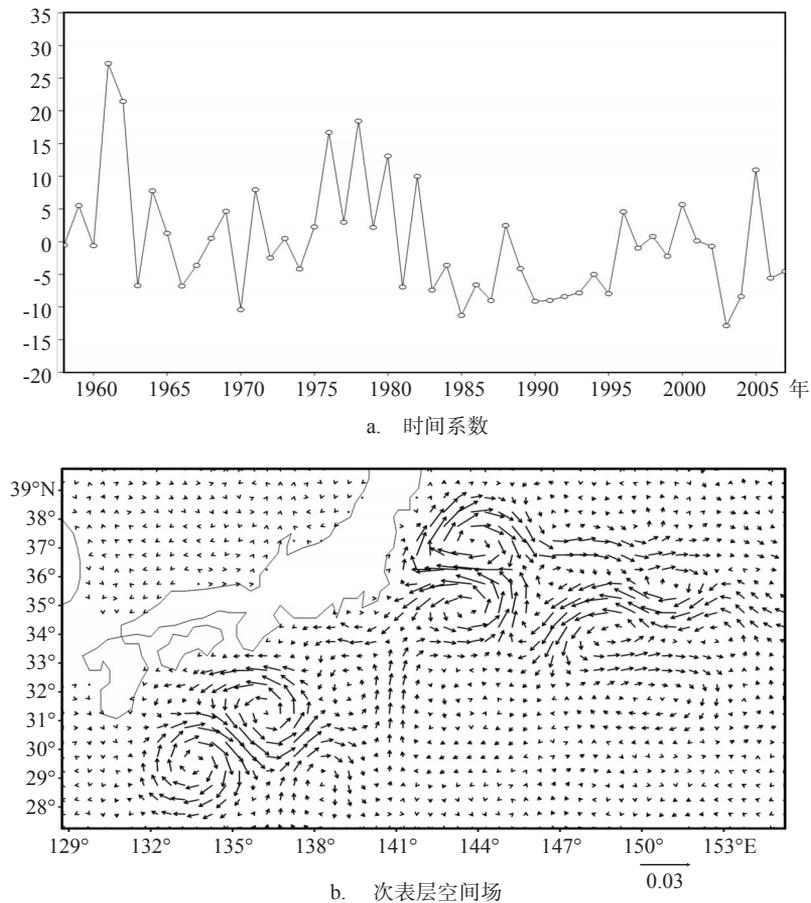


图9 关键区中冬季流场EOF第一模态的时间系数和次表层空间场

温度空间场的正(负)值区;而在日本本州岛以东的黑潮延伸体上,最强的反气旋涡旋处则对应最大的温度正值。在夏季时间系数与空间场的情况也如此(图略)。

之所以会有以上的配置,这是因为气旋(反气旋)性涡旋和曲率分别对应于上升(下沉)运动之故。在次表层因辐射等热力作用已不明显,海温的动力异常就起着重要的作用。以上结果正表明了这一点。因次表层的海温异常是由流场异常引起的,故该处的海温异常(其性质是海温的动力异常)间接反映了该处的流场异常,而这也是近年来学者重视次表层海温状况的重要原因。

5 有关与PDO关系的讨论

PDO是一种年代际时间尺度上的气候变率强信号。在分析了近百年太平洋SST的年代际变率后揭示了该现象的时空结构。PDO可分为冷、暖

位相(或称为冷、暖事件)。在PDO暖位相时,热带中东太平洋和北美西岸异常暖,北太平洋中部异常冷;反之则为PDO冷位相。值得注意的是,在年代际变化的冷/暖位相中,还存在短期的反向情况,如1959—1961年(冷位相中的暖期)和1989—1991年(暖位相中的冷期)等。典型PDO事件可持续20—30年。近100多年来,PDO已出现了两个完整的周期。第一周期的冷位相发生于1890—1924年,而1925—1946年为暖位相;第二周期的冷位相出现于1947—1976年,1977年至1998年为暖位相,以后则其又进入冷位相^[18]。

由本文EOF诊断的结果看,在冬、夏,无论是整个赤道外的北太平洋还是关键区,上层海温异常第一模态的时间系数均具有十分明显的约20年的年代际变化(见图7—8),这点与PDO相同。

从冬、夏赤道外北太平洋EOF第一模态时间系数的演变规律看,在1976年以前,其基本上均

大于0, 在1977—1999年则基本上小于0, 之后冬季又基本大于0, 而夏季则至2006年才开始大于0 (见图3)。从与时间系数对应的空间场看, 在上述三时段, 白令海、阿拉斯加湾、北太平洋东至东南部及 30° 以南的北太平洋海域相应为负值区(冷区)、正值区(暖区)和负值区(冷区); 在中纬的 30° — 50° N, 从日本东部延伸到太平洋中东部, 则相应为正值区(暖区)、负值区(冷区)和正值区(暖区)。这与以上PDO第二周期中的冷位相、暖位相和冷位相的时段对应得非常好。冷位相中的暖期(1959—1961年)和暖位相中的冷期(1989—1991年)在此也有所反映。这里与经典PDO分析(前者)不同的是, 前者仅用多年平均的北太平洋SSTA做分析, 而本文则用多年各月赤道外北太平洋海洋上层的海温偏差EOF的第一模态做分析。由此可见, PDO不仅表现在年平均的SSTA上, 而在各月海洋上层的温度场上均有所表现。以上分析表明, 冬、夏赤道外北太平洋EOF第一模态即为PDO模态。

冬、夏关键区中海温EOF第一模态时间系数的演变规律则与相应赤道外北太平洋海温的大致相同(见图3、图7), 与PDO的冷、暖位相也有较好的对应。从其小波全谱图(见图8)看, 约20年的年代际变化也十分显著。与赤道外北太平洋相应的情况相比, 关键区中还有11年(冬)和14年(夏)尺度短于PDO的年代际变化, 且夏季比PDO还要显著; 这点与赤道外北太平洋不同, 那里仅有PDO的年代际变化。PDO是一个偶极系统, 关键区及附近是其一极所在, 故关键区海温EOF第一模态能够较好的反映PDO是很自然的。但因关键区面积不很大, 易受其他过程干扰, 故其除有PDO的年代际变化外, 还有较短的年代际变化, 不过因PDO的年代际变化仍十分显著, 故冬、夏关键区中海温EOF第一模态的性质主要仍由PDO决定; 就这点而言, 可认为关键区海温EOF第一模态也为PDO模态。

由于流场与温度场关系密切, 故PDO在关键区冬季海洋流场EOF的第一模态上也有所表现, 这体现在该模态的时间系数与相应温度场模态时间系数两者有较好的相关(见图7、9a)以及在其时间系数小波全谱图上约20年的年代际变化也十

分显著(图略)。

6 结语

本文利用较高分辨率的SODA资料, 对赤道外北太平洋海洋上层的海温, 特别是对中纬度北太平洋范围的海温做了EOF分析, 重点给出了近表层和次表层的结果, 并对两者与PDO的关系做了讨论; 得到以下主要结论:

(1) 北太平洋海温EOF第一模态空间场上, 冬季从日本东部延伸至太平洋中东部, 近表层和次表层均为温度场正值区, 其中约在 40° 有正大值带; 白令海、阿拉斯加湾、北太平洋东至东南部及 30° 以南为负值区; 夏季其分布态势与冬季几乎完全相同;

(2) 北太平洋海温EOF第一模态冬、夏两者的时间系数呈高度正相关, 因冬、夏季其空间场在近表层和次表层的分布状况大体相同, 故冬、夏两者演变趋势相近, 且在年尺度上具有持续性; 两者年际变化均不明显, 但两者20年左右的年代际变化都十分明显;

(3) 在关键区海温EOF第一模态空间场上, 近表层和次表层的冬、夏两季其分布态势大体相同; 然近表层在日本本州岛的东、西面海域均分别有较强正值区; 而次表层则仅存前者, 这表明近表层海温受辐射、蒸发等影响明显; 而次表层其则受流场垂直运动的影响较大;

(4) 关键区海温EOF第一模态冬、夏两者的时间系数也呈正相关, 因冬、夏两季海温空间场的分布大体相同, 故这也意味着冬、夏两季海温异常趋势相近, 其在年尺度上也有持续性; 海温的年际变化两者均不明显, 但也均有20年左右的年代际变化;

(5) 发现次表层的海温变化(前者)主要由该处流场的垂直运动决定, 其与近表层的海温变化(后者)性质不同, 前者属海温的动力变化, 而后者还要受辐射、蒸发等热力因子的影响, 在近表层该影响是必须考虑的;

(6) 因北太平洋和关键区中, 海温EOF第一模态均有约20年的年代际变化, 其时间系数的演变与北太平洋PDO第二周期中的冷、暖位相时段对应得较好; 故其均可称为PDO模态。

因本文EOF分析中第一模态的方差贡献不很大,故该模态只能反映中纬度北太平洋范围上层海温异常的一小部分;而其他模态方差贡献更小,且更难通过检验。这可能是因资料的年代还不够长和在EOF分析中空间格点取得较多所致。最后要说明的是,本文主要工作是进行诊断分析,对造成海温异常的原因未做更深入的讨论;另外,本文也未研究赤道外北太平洋上层海温异常对我国天气气候的影响,这两方面的工作无疑是十分重要的,这也是我们今后所要做的工作。

参考文献:

- [1] 王晓悦,钱永甫.近50年全球和三大洋海温距平的时空变化特征[J].南京气象学院学报,2002,25(6):755-763.
- [2] 朱益民,杨修群,谢倩等.冬季太平洋海表温度与北半球中纬度大气环流异常的共变模态[J].自然科学进展,2008,18(2):161-171.
- [3] Trenberth K E.Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1990, 1(7): 988-993.
- [4] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production[J]. Bull Amer. Meteor. Soc., 1997,78(6):1069-1079.
- [5] 钟姗姗,何金海,刘宣飞.太平洋次表层海温年代际变率及其突变特征[J].南京气象学院学报,2002,25(5):22-29.
- [6] 刘秦玉,李春,胡瑞金.北太平洋的年代际振荡与全球变暖[J].气候与环境研究,2010,15(2):217-224.
- [7] Shoshiro Minobe. A50-70 year climatic oscillation over the north Pacific and north America[J].Geophysical Research Letters, 1997, 24: 683-686.
- [8] Nathan J Mantua, Steven R Hare, Yuan Zhang, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997,78: 1069-1079.
- [9] 刘剑,毛志春,杨成荫.北太平洋海温场变化的时间特征分析[J].气象水文海洋仪器,2008,(4):33-37.
- [10] 高庆九,屠其璞.20世纪70年代前后北太平洋海温场气候特征比较[J].南京气象学院学报,2003,26(2):243-251.
- [11] 程智,江志红,刘晓东等.太平洋海温年代际变化的垂直结构及传播特征[J].南京气象学院学报,2006,29(3):297-304.
- [12] 吕晓娜,方之芳.20世纪80年代初以来北太平洋海温变化特征[J].成都信息工程学院报,2008,23(5):522-527.
- [13] 中国气象科学数据共享服务网,全球海洋数据集(全球简单海洋资料同化分析系统, http://cdc.cma.gov.cn/shuju/index3.jsp?tpcat=NAFP&dsid=NAFP_SODA_REA_MON_OCEAN)
- [14] 曾庆存.大气红外遥感原理[M].北京:科学出版社,1974:160-166.
- [15] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2000:135-139.
- [16] North G R, Bell T ,Cahalan R, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function [J]. Mon Wea Rev, 1982, 110: 699-706.
- [17] 路凯程.北太平洋海温流场异常分析[D].解放军理工大学,2010.
- [18] 杨修群,朱益民,谢倩等.太平洋年代际振荡的研究进展[J].大气科学,2004,23(6):979-992.

EOF analysis on sea temperature field in the Extratropical North Pacific

LU Kaicheng^{1,2}, LIAO Qian-feng³, Zhang Ming²

(1. Unit 39506, 82, P.L.A., Beijing 100076, China; 2. Laboratory of Atmospheric Circulation and Short-range Climate Forecast, Meteorological College, P.L.A. University of Science and Technology, Nanjing 211101 China; 3. Ministry of drill, P.L.A. University of Science and Technology, Nanjing 210000 China)

Abstract: Based on the higher resolution SODA data, EOF diagnosis on temperature of upper seawater is made in extratropical North Pacific, especially in mid-latitude where SST anomalies obvious seas (which is called key area). The results show that for the first mode of space field, there is positive high value zone at 40 °N Midwest of North Pacific in winter and summer. The anomalous trends of SST in winter and summer are same, which is sustained in year-scale. There are no obvious interannual variations between the two seasons, but 20-year inter-decadal variations are significant, suggesting the impacts of North Pacific Decadal Oscillation (PDO) on the SST change. In the east and west sea region of the Honshu, there are strong positive anomalies in winter and summer near sea surface, while only the east region remains at sub-surface. It indicates that the ocean temperature of near-surface is significantly affected by solar radiation and evaporation, but the sub-surface temperature is mainly controlled by the vertical motion of flow field.

Key words: North Pacific; sea temperature; EOF analysis; anomalies