

冬季黑潮区域海温异常对北太平洋风暴轴的影响*

朱伟军 孙照渤

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

该文对15个冬季北太平洋风暴轴区域500 hPa天气尺度滤波位势高度方差与北太平洋海表温度进行了奇异值分解(SVD)分析. 结果表明, SVD得到的第二对空间典型分布反映了冬季黑潮区域的海温异常与风暴轴的异常变化密切相关. 进一步的分析显示, 黑潮区域海温异常可能通过加强风暴轴入口区的斜压性, 激发或加强500 hPa高度场上的WP遥相关型, 主要影响冬季北太平洋风暴轴在入口区的强度变化和南北位移.

关键词: 风暴轴 奇异值分解分析 斜压性 遥相关型

引 言

风暴轴一般是指2.5~6天瞬变扰动最活跃的区域, 在北半球最显著的风暴轴有两个, 分别位于中纬度的两大洋上. 自从70年代末Blackmon等^[1~3]利用滤波资料首次发现风暴轴以来, 风暴轴研究已逐渐成为三维瞬变波动力学研究中的一个重要分支. 有关风暴轴维持及其内部动力学机制方面的研究近期有了一定的进展^[4~8]. 但是目前对风暴轴的年际异常现象尚缺乏深入的了解. 而风暴轴区域瞬变扰动导致的凝结加热异常对全球大气环流有重要影响, 而且其本身就会直接引起天气、气候的变化, 因此研究风暴轴的年际异常及其物理机制对天气预报以及短期气候预测具有十分重要的意义. Hoskins等^[4]曾指出, 冬季北半球海洋西部的暖边界流可能对其时的风暴轴维持有重要影响, 但没有进行更细致地分析. 因此, 本文将利用观测资料, 主要从外热源强迫的角度, 对冬季北太平洋风暴轴的年际异常及其可能物理机制进行深入探讨.

1 资料与方法

资料取自NCEP/NCAR 1979~1994年16年全球 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析逐日网格资料和英国国家气象局整编的同时段全球 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 月平均SST网格资料.

采用文献[9]所描述的方法设计的31点数字滤波器(有关该滤波器的参数和性质请参见文献[10]), 从逐日原始资料直接滤出2.5~6天的瞬变涡动, 然后把滤波资料按冬季

* 本文得到国家自然科学基金49475258项目资助.

1998-12-01收到, 1999-02-08收到修改稿.

月份分成每月一段, 并对每一段各自计算其方差, 这样就得到每月的月平均带通滤波方差(以下简称滤波方差). 研究表明^[1-3], 500 hPa 位势高度场的这种滤波方差可以代表该月风暴轴的位置和强度, 因而后文的分析主要就是针对 500 hPa 位势高度场的滤波方差来进行的. 在对风暴轴(500 hPa 位势高度场的滤波方差)和海温场(SST)进行 SVD 分析时, 每个格点资料的时间序列长度都为 15 年, 而且是针对 15 年冬季(1979/1980 至 1993/1994)平均进行标准化后的资料. 其中每年的冬季平均是指对上年 11 月、12 月和次年 1 月、2 月、3 月 5 个月的平均, 文中以此代表某场该年的冬季平均状况. 而对空间范围的选取, 北太平洋风暴轴为: $100^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{N}$; 北太平洋 SST 为: $105.5^{\circ}\text{E} \sim 98.5^{\circ}\text{W}$, $20.5^{\circ} \sim 56.5^{\circ}\text{N}$.

SVD 方法自 Prohaska(1976)^[11]引入气象研究以来, 已得到广泛应用. 它是从两个场中分离出耦合型的最好方法之一, 既简便, 又容易解释, 而且不需用户自定义参数, 几乎没有系统误差. 本文将根据文献[12]和文献[13]主要分析异类相关图, 因为它反映的是在已知一个场的空间分布型的情况下, 其所对应的时间系数表示另外一个场的空间典型分布的好坏程度. 对任意两个标量场: $S_i(t)$ 表示 t 时刻在第 i 空间点上某要素的观测值, 通常称为左场; $z_j(t)$ 表示 t 时刻在第 j 空间点上另一要素的观测值, 通常称为右场; 其中 $i=1, 2, \dots, N_s$; $j=1, 2, \dots, N_z$; $t=1, 2, \dots, T$; 一般来说, 空间点数 N_s 可以不等于 N_z . 若令 $r[f(t), g(t)]$ 表示两个时间序列 $f(t)$ 和 $g(t)$ 的相关的话, 那么第 k 个左(右)异类相关图(分别用向量 $r[S_i(t), b_k(t)]$ 和 $r[z_j(t), a_k(t)]$ 表示)是由左(右)场 $S_i(t)$ ($z_j(t)$) 和第 k 个右(左)时间系数 $b_k(t)$ ($a_k(t)$) 求相关得到的. 通过上述 SVD 分析, 将可以获得冬季北太平洋风暴轴与北太平洋 SST 耦合变化的相关分布型.

2 结果分析

2.1 SVD 分析结果

冬季北太平洋风暴轴的中心强度和位置的年际差异十分显著, 风暴轴中心强度在强年、弱年可相差 1 倍以上, 风暴轴中心纬度变化范围在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 之间, 经度变化范围在 $160^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{W}$ 之间^[14]. 因此, 研究风暴轴的这种年际异常及其物理机制对理解大气环流的维持具有十分重要的意义.

由于 SVD 结果的第一对空间典型分布实际上是描述了冬季北太平洋风暴轴变化与赤道中、东太平洋 SSTA 的相关关系, 已另文讨论过^[7], 本文将着重讨论其第二对空间典型分布. 图 1 给出的是 SVD 结果的第二对空间典型分布(以下简称 SVD2 型)及其对应的时间系数变化曲线. 据第 1 节所述, 这里给出的空间典型分布型是由异类相关图代表的. 对 500 hPa 位势高度滤波方差(图 1a)来讲, 其 SVD2 型描述了冬季北太平洋风暴轴在气候平均位置(图略)及稍偏北处增强(减弱)而在南北两端减弱(增强)的反位相变化关系, 按照第 1 节所说明的资料处理, 有理由认为这种变化型反映的是年际的差异. 而对北太平洋 SST(图 1b)来讲, 其 SVD2 型描述了同期黑潮区域及东北太平洋区域 SST 与其它区域 SST 之间的反位相变化关系, 其中尤以黑潮区域 SST 变化最为显著. 图 1c 中黑潮区域($120.5^{\circ} \sim 150.5^{\circ}\text{E}$, $15.5^{\circ} \sim 32.5^{\circ}\text{N}$) SSTA 的变化曲线(图 1c 实线)与时间系数的演变曲

线(图 1c 虚线)非常近似也说明了这一点. 这一对空间典型分布型所解释的协方差平方的百分比(记作 SCF)为 21.3%, 对应的两个时间系数之间的相关系数达 0.91, 表明这一对空间典型分布型之间的相关程度也非常高. 因此, 冬季北太平洋风暴轴在中、西端气候平均位置的强度和位移的年际变化型与同期黑潮区域 SSTa 的异常变化型密切相关.

由于前两对空间典型分布型已累计解释了协方差平方的 51.4%, 所以本文没有再分析其它对空间典型分布型.

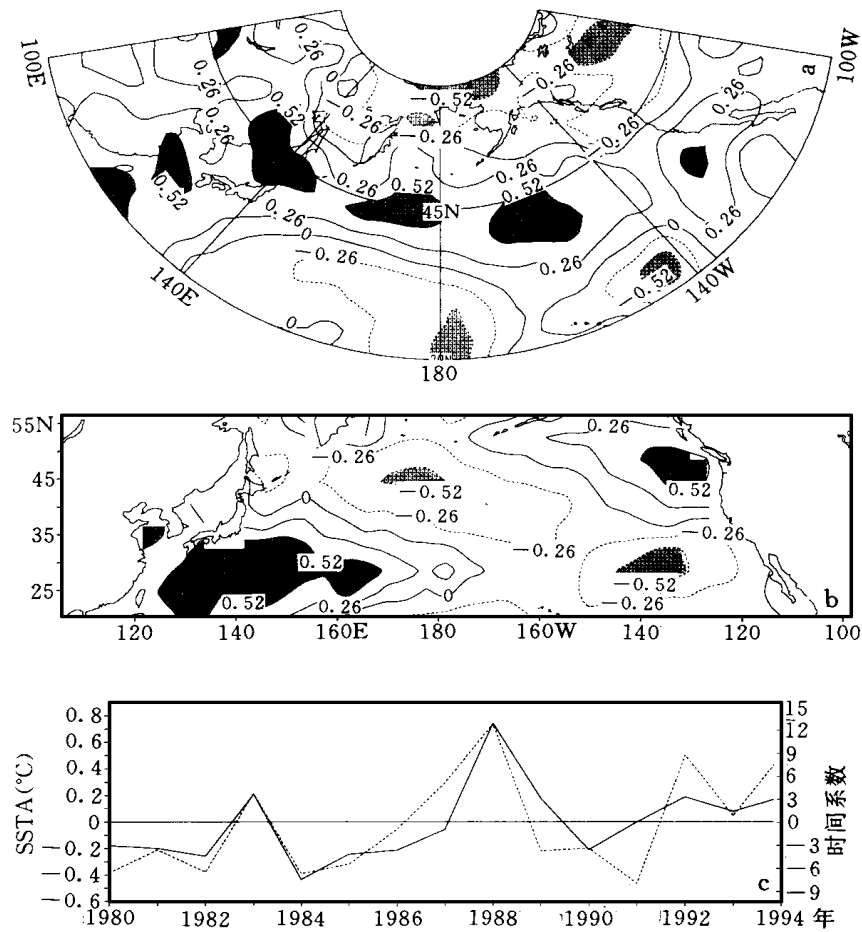


图 1 冬季北太平洋风暴轴区域 500 hPa 位势高度滤波方差与同期北太平洋 SST SVD 分析的第二对空间典型分布(a, b)及其所对应的时间系数(c 中虚线)、黑潮区域 SSTa 的变化曲线(c 中实线)(图 a, b 中等值线为相关系数, 阴影部分表示相关系数绝对值 ≥ 0.52 的区域)

2. 2 合成分析结果

由于相关关系不能等同于因果关系, 因而从黑潮区域挑出冬季 SSTa 变化绝对值 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的月份制成表 1 并进行合成分析, 深入地考察这一海域的 SST 异常是否对同期北太平洋风暴轴存在影响. 图2为冬季黑潮区域SST 正、负异常时500hPa位势高度滤波方差的合成场及其差值分布. 为加强结论的可靠性, 对两个样本均值进行了差异显著性的t

表 1 黑潮区域 SSTa 变化绝对值 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的月份

	月 份				
+ SSTa	1987 年 11 月	1987 年 12 月	1988 年 1 月	1988 年 2 月	1988 年 3 月
- SSTa	1983 年 11 月	1983 年 12 月	1984 年 1 月	1984 年 2 月	1984 年 3 月

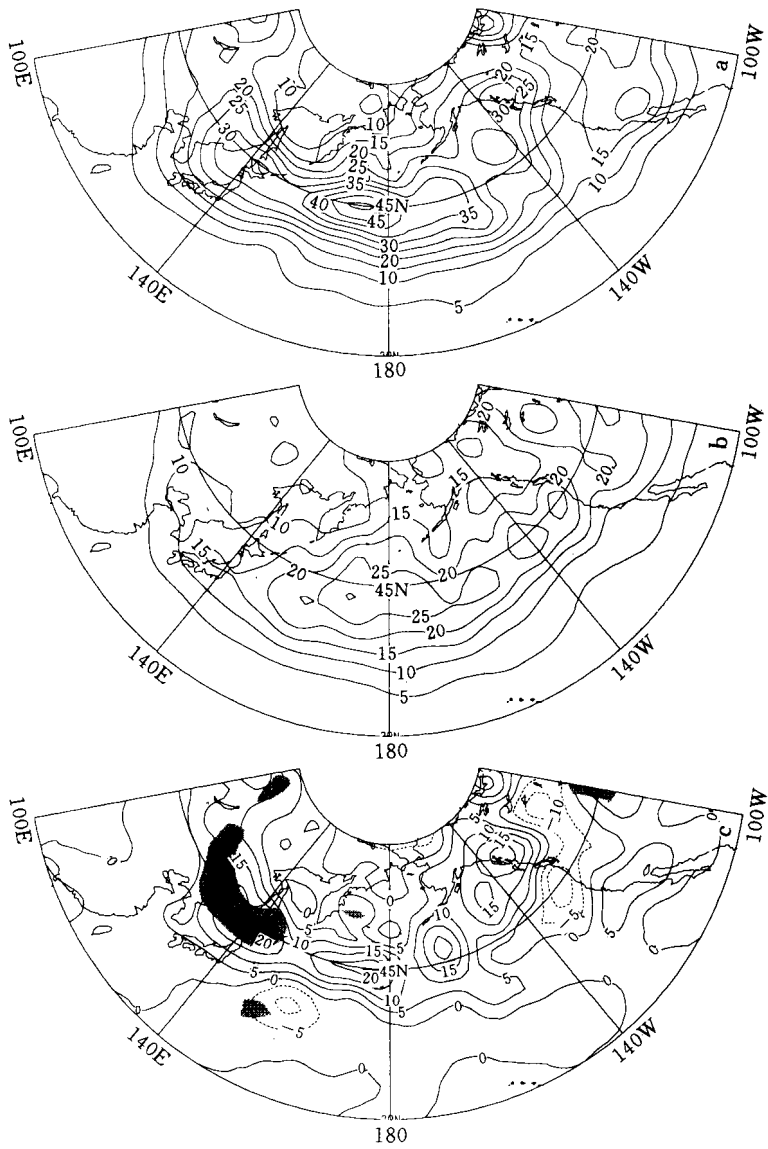


图 2 冬季黑潮区域(±)SSTA 时北半球 500 hPa 位势高度滤波方差的合成场(a, b)及其差值(c)(等值线间隔 5.0 dagpm, 图中阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平的区域)

检验, 显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平以上的地区在图中以阴影区表示. 从图 2 可以看到, 冬季黑潮区域正 SSTA 时, 北太平洋风暴轴位置偏北, 而负 SSTA 时, 风暴轴位置偏南, 比较而言, 在正 SSTA 时风暴轴中西部(即入口区)强度有显著增强, 其差值显著性已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平. 对比图 2c 和图 1a 可知, 上述差值场与 500 hPa 位势高度滤波方差的 SVD2 型分布特征十分相似.

图 3(a, b) 分别为冬季黑潮区域 SST 正、负异常时 850 hPa 天气尺度涡动热量经向通

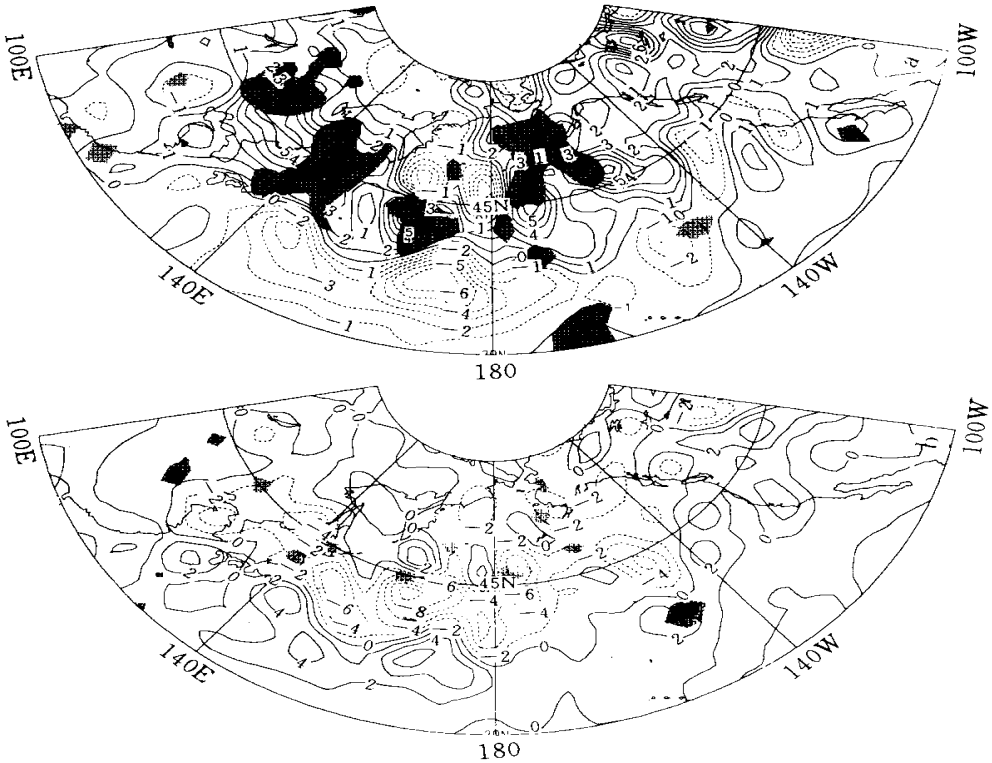


图 3 冬季黑潮区域(±) SSTA 时北半球 850 hPa 热量的经向通量(a)和垂直通量(b)的合成场差值分布(等值线间隔分别为 $1.0\text{K} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (a)和 $2.0 \times 10^{-2}\text{K} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ (b), 图中阴影部分说明同图 2)

量($\overline{v'T'}$)和垂直通量($\overline{\omega'T'}$)差值分布图. 图中显示, 在 40°N 以北的中、西太平洋区域, $\overline{v'T'}$ 为正, $\overline{\omega'T'}$ 为负, 这说明, 与黑潮区域负 SSTA 时相比, 黑潮区域正 SSTA 时太平洋风暴轴在入口区的天气尺度涡动热量的向极和向上通量输送显著加强, 其位置与以上讨论的天气尺度位势高度方差增强的所在位置比较一致, 差值显著性也已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平. 由于剧烈的天气尺度涡动热量的向极和向上通量输送是天气尺度斜压波强烈发展阶段的重要表现特征, 因此, 以上结果表明: 冬季黑潮区域 SST 异常确实对北太平洋风暴轴存在显著的影响, 其作用主要是对风暴轴在入口区的强弱和位置的南北变化有重要贡献.

2. 3 成因分析

北半球风暴轴上的天气尺度涡动活动可以用发展中的斜压波生命史来解释^[16], 所以

斜压性的强弱对风暴轴的维持和发展具有至关重要的作用. 本节将以此来探讨 SSTa 对风暴轴产生影响的可能物理过程. 图 4 为冬季黑潮区域 SST 正、负异常时 775 hPa 斜压性强度指数 σ_{BI} 差值分布图. 其中 σ_{BI} 为根据 Hoskins 等^[4]引入的 Eady 波最大增长率, $\sigma_{BI} = 0.31 f \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} N^{-1}$ (式中右端符号均为常用气象符号), 在忽略气流低层的水平切变以及湿过程等复杂情况的影响下, 此量不失为表征中纬度斜压性强弱的一种很好度量, 因而本文用作斜压性强度指数. 比较而言, 在黑潮区域正 SSTa 时 (图 4a), 太平洋风暴轴区域斜压性较强, 极值中心强度最大为 1.4 d^{-1} 以上, 位置偏北; 而在黑潮区域负 SSTa 时 (图 4b),

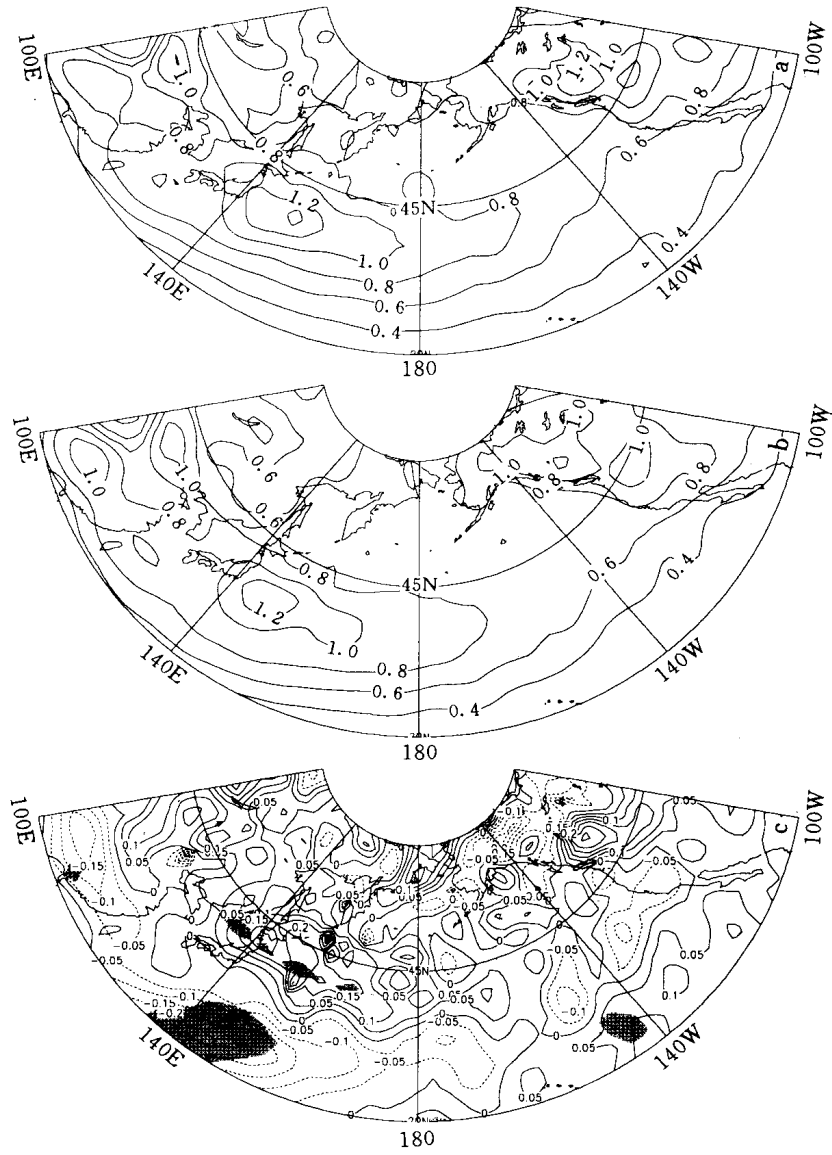


图 4 冬季黑潮区域(±)SSTA 时北半球 775 hPa 斜压性指数的合成场(a, b)及其差值分布(c)(等值线间隔分别为: 0.2 d^{-1} (a, b)和 0.05 d^{-1} (c). 图中阴影部分说明同图 2)

太平洋风暴轴区域斜压性较弱, 位置偏南, 极值中心强度最大只达 1.2 d^{-1} . 另外, 差值图 (图 4c) 显示, 在黑潮区域正 SSTA 时整个风暴轴中西端的斜压性比在负 SSTA 时有显著增强, 且差值显著性已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平. 注意到, 斜压性的这种极值分布确实与图 2(a, b) 中天气尺度位势高度方差的极值分布有很好的对应关系. 因此, 黑潮区域正 SSTA 时风暴轴西端即中、西太平洋地区的斜压性的增强, 是上节所讨论的风暴轴西端天气尺度涡动活动增强的主要原因.

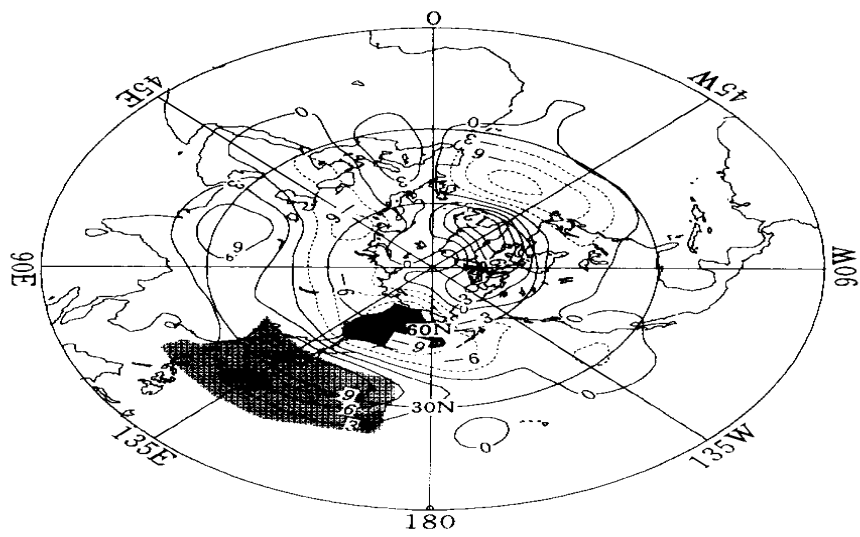


图 5 冬季黑潮区域(±) SSTA 时北半球 500 hPa 位势高度场的合成场差值分布
(等值线间隔: 3.0 dagpm. 图中阴影部分说明同图 2)

至于斜压性增强的原因, 可能主要是由于黑潮区域正 SSTA 导致了风暴轴区域南北两侧的平均温度梯度加大, 增加了平均有效位能从而有利于该区域斜压性的增强, 而负 SSTA 时情况正好相反.

众所周知, 风暴轴位置与对流层中上部的急流有很好的对应关系, 一般前者位于后者的向极和下游一侧, 而且两者的强度具有一致的变化趋势^[10]. 因此, 黑潮区域 SSTA 是否可能通过影响急流从而再对风暴轴产生影响呢? 图 5 给出了冬季黑潮区域(±) SSTA 时北半球 500 hPa 位势高度场的合成场差值分布. 由图可见, 在西北太平洋区域, 45°N 以南为正变高区, 以北为负变高区, 因而 500 hPa 45°N 附近的西北太平洋区域急流将得到增强. 这种分布与 Wallace 等^[15]得到的 500 hPa 位势高度场上的 WP 遥相关型非常相似, 而对比图 5 和图 2c 可知, 冬季北太平洋风暴轴变化中心就正好横跨在这个 WP 型的偶极子变化中心之间. 因此, 冬季黑潮区域的正 SSTA 可能通过激发或加强 500 hPa 位势高度场上的 WP 遥相关型响应, 进而对同期北太平洋风暴轴产生重要影响. 但是, 也应该注意到, 这种急流的变化已包含了天气尺度瞬变涡动的正反馈作用, 所以有关这种瞬变波动与平均气流间的相互作用问题, 尚需要进一步深入的研究.

3 结论与讨论

(1) SVD 分析得到的 SVD2 型描述了冬季北太平洋风暴轴在气候平均位置及稍偏北处增强(减弱)而在南北两端减弱(增强)的反位相变化与同期黑潮区域 SST 增强(减弱)而在其它区域 SST 减弱(增强)的反位相变化之间的相关分布特征。

(2) 进一步的合成分析结果显示, 由于风暴轴在入口区的斜压性显著增强, 冬季黑潮区域正 SST 异常可以使北太平洋风暴轴在入口区的天气尺度扰动强度显著增强、位置偏北, 与风暴轴发展有关的低层涡动热量通量也在此区域得到增强。

(3) 冬季黑潮区域的正 SSTA 可能通过激发或加强 500 hPa 位势高度场上的 WP 遥相关型响应, 进而对同期北太平洋风暴轴产生重要影响。

本文结论进一步证实了 Hoskins 等^[4]提出的冬季海洋暖边界流对风暴轴可能存在的影响, 但风暴轴的异常变化受多种因素制约, 本文只考虑了 SSTA 这一外热源强迫因素, 其它影响因素有待于进一步探讨。另外, 由于个例较少, 因而合成分析所得到的影响过程也有待于进一步证实。

参 考 文 献

- 1 Blackmon M L. A climatological spectral study of the 500-mb geopotential height of the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 1976, **33**(8): 1607~1623.
- 2 Blackmon M L, Wallace J M, Lau N-C, et al. An observation study of the Northern Hemisphere wintertime circulation. *J. Atmos. Sci.*, 1977, **34**(7): 1040~1053.
- 3 Lau N-C. The structure and energetics of transient disturbance in the Northern Hemisphere wintertime circulation. *J. Atmos. Sci.*, 1979, **36**(6): 982~995.
- 4 Hoskins B J, Valdes P J. On the existence of storm tracks. *J. Atmos. Sci.*, 1990, **47**(15): 1854~1864.
- 5 Cai M and Mak M. On the dynamics of regional cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.*, 1990, **47**(12): 1417~1442.
- 6 Chang E K M and Orlanski I. On the dynamics of a storm track. *J. Atmos. Sci.*, 1993, **50**(7): 999~1015.
- 7 朱伟军, 孙照渤. ENSO 事件对冬季北太平洋风暴轴维持的影响. 南京气象学院学报, 1998, **21**(2): 189~195.
- 8 孙照渤, 朱伟军. 北半球冬季风暴轴维持的一种可能机制. 南京气象学院学报, 1998, **21**(3): 299~306.
- 9 孙照渤. 热带外地区大气中 40~60 天振荡的统计特征. 见: 章基嘉主编. 长期天气预报论文集. 北京: 海洋出版社, 1992. 29~35.
- 10 邓兴秀, 孙照渤. 北半球风暴轴的时间演变特征. 南京气象学院学报, 1994, **17**(2): 165~170.
- 11 Prohaska J. A technique for analyzing the linear relationships between two meteorological fields. *Mon. Wea. Rev.*, 1976, **104**: 1345~1353.
- 12 Bretherton C S, Smith C and Wallace J M. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climatol.*, 1992, **5**(6): 541~560.
- 13 Wallace J M, Smith C and Bretherton C S. Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies. *J. Climatol.*, 1992, **5**(6): 561~576.
- 14 胡增臻, 黄荣辉. 冬季热带西太平洋对流活动异常的年际变化及其对北太平洋风暴轴的影响. 大气科学, 1997, **21**(5): 513~521.
- 15 Wallace J M and Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 785~812.

- 16 Simmons A J and Hoskins B J. The life circle of some nonlinear baroclinic waves. *J. Atmos. Sci.*, 1978, **35**(3): 441 ~ 432.

IMPACTS OF KUROSHIO SSTA ON STORM TRACK OVER NORTH PACIFIC IN WINTER

Zhu Weijun Sun Zhaobo

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract

Singular value decomposition (SVD) is conducted for 500 hPa filtered potential height variance of 15 storm track regions and the SST over North Pacific in winter. The results show that the second couple of mode obtained from SVD depicts the effect of Kuroshio SSTA on the interannual variability of storm. Furthermore, composite analysis indicates that the SSTA over Kuroshio in winter can give rise to or invigorate WP teleconnection response pattern of 500 hPa height field which, in turn, exerts crucial influence on the interannual variability in vigor and meridional displacement of the storm track over North Pacific, especially over its central and western parts.

Key words: Storm track Singular value decomposition analysis Baroclinicity
Teleconnection pattern