

印度和东亚夏季风环流的时变行为研究[‡]

管兆勇 韩端阳 蔡姝燕

(南京气象学院气象学系, 南京 210044)

摘 要 用 ECMWF 1980 ~1986 年 5 ~9 月份资料和 EOF 方法对印度和东亚夏季风环流的时变行为进行了研究。指出: 不同要素的前三个主分量对扰动总方差的解释能力有很大差异, 且在东亚和印度季风区之间有明显不同; 反映季节趋势的前两个主分量相应的时间系数的符号反转在印度季风区与东亚季风区之间亦有差异; 经向风扰动的季节趋势不如其他气象要素的清楚; 非季节趋势相应的特征向量的时间系数在相空间中的轨迹在两个季风区之间有明显的不同。

关键词 亚洲夏季风体系, EOF 方法, 时空结构

分类号 P434.4

研究表明, 亚洲夏季风体系中含有两个既相互独立又相互联系的季风环流子系统^[1]。而每一子系统都有其特定的成员。即印度季风的子系统有马斯克林高压、越赤道气流(如索马里地区)、印度季风低压等; 东亚夏季风系统中则有澳大利亚高压及其北侧的越赤道气流、季风槽及西太平洋副热带高压等。这些具体的环流系统共同组成了三维的、时间变化复杂的亚洲夏季风体系。认识该体系中印度季风与东亚季风系统的空间结构、时间变化行为及其复杂程度将具有重要意义。因此, 本文选用 ECMWF(欧洲中期预报中心)1982 年 5 ~9 月共 153 天的格点资料, 采用 EOF 方法分析季风活动的复杂程度、时间变化规律以及两个子系统间的差别。其他年份(1980 ~1986 年)的结果与文中主要结果相似。

1 方差分析

通常的 EOF 分析总是针对某一层资料序列进行^[2], 而对于亚洲夏季风体系而言, 用对流层内整层资料作分析也将具有意义。这是因为季风区大气运动具有较大的斜压分量^{*}和对方程组进行正交基底变换(EOF 展开)时也须就三维资料块进行整体考虑^[3]。因此, 三维的资料块 u (纬向风)、 v (经向风)、 T (温度)和 H (位势高度)被用作 EOF 的分析对象。按照文献 [1] 中对印度季风与东亚季风的研究和理解, 取 100 ~160 E、15 S ~45 N 为东亚夏季风区, 40 ~100 E、15 S ~45 N 为印度夏季风区。

针对两季风区, 首先进行方差分析。目的要了解 5 ~9 月, 在未滤去季节趋势时, 各要素场

[‡] 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995- 10- 16; 改回日期: 1996- 10- 03

^{*} 管兆勇, 徐建军, 哈承智. 1997 亚洲夏季风结构和变动与大气运动的斜压和正压模: 正压模分析. 气象学报, 即将发表

相应的特征向量的方差贡献特征与联系以及它们在不同的季风区域的差别。详见表 1。

由表看出, 前 15 个特征向量对夏季风时期时间扰动的解释程度各不相同, 其中以 H 的最大, 分别达 96% 和 95%, 以 T 为次之, 而以经向风 v 的扰动的解释程度最低, 仅有 61% 和 67%。

表 1 印度、东亚季风区各要素前 15 个特征向量的方差拟合率

Table 1 Fittings of variances of the first 15 elements for the

Indian and east Asian monsoon regions %

特征向量序数	印度季风				东亚季风			
	u	v	T	H	u	v	T	H
1	0.41	0.15	0.53	0.73	0.25	0.19	0.43	0.63
2	0.084	0.083	0.086	0.061	0.12	0.11	0.10	0.084
3	0.059	0.075	0.062	0.047	0.075	0.058	0.064	0.053
4	0.038	0.056	0.037	0.027	0.057	0.047	0.043	0.046
5	0.031	0.037	0.032	0.022	0.043	0.038	0.035	0.028
6	0.027	0.033	0.019	0.018	0.042	0.036	0.027	0.022
7	0.023	0.030	0.016	0.013	0.037	0.032	0.024	0.017
8	0.020	0.027	0.014	0.010	0.022	0.028	0.020	0.014
9	0.018	0.021	0.011	0.008	0.021	0.025	0.016	0.013
10	0.015	0.020	0.011	0.006	0.021	0.023	0.015	0.011
11	0.014	0.017	0.009	0.005	0.018	0.020	0.012	0.009
12	0.012	0.016	0.008	0.005	0.017	0.018	0.011	0.008
13	0.011	0.015	0.007	0.004	0.015	0.016	0.010	0.007
14	0.011	0.015	0.007	0.004	0.013	0.015	0.010	0.005
15	0.010	0.014	0.006	0.003	0.012	0.014	0.009	0.004
$\sum_{i=1}^{15} p_i$	0.78	0.61	0.85	0.96	0.76	0.67	0.83	0.95

由于高度场和温度场的变率在热带地区与风场的变率相比不十分显著, 以下着重分析 u 、 v 的变化情况。就前两个特征向量而言, 不论是印度季风区还是东亚季风区, 都以 u 的第一特征向量的方差百分比大, 而 v 的较小。这意味着在 u 的时间变化中存在着比 v 中存在的某一时间尺度上的扰动更为显著。后面将可看到在 u 分量中存在着更为明显的季节变化。

对比两个季风区的 u 、 v 的前两个特征向量的方差百分比, 可以看出印度季风区扰动反映在第一特征向量上的扰动能量比较大; 而东亚季风区前两个主分量的方差百分率都超过 10%, 即说明扰动能量不如印度季风区那么集中, 这预示着东亚夏季风区的大气运动规律更为复杂(既受北方冷空气活动的影响, 又受热带大气运动的影响), 与有关文献^[6, 4]中所得结果一致。

总的看来, 亚洲夏季风活动中, 经向风的时间变化规律与其他要素的时间变化规律相比因其各主分量的方差贡献递减相对较慢而更为复杂; 而东亚季风区流场的时间变化规律与印度季风区的流场变化规律相比因其主分量(前两个)方差贡献都具有较大的数值而更为复杂。

2 空间分布

这里着重分析动量场。首先给出 5~9 月平均的动量分布。由于时间跨度较大, 故平均状态并不能完全反映夏季(7 月份)环流的典型结构, 也就是说, 季节间的差别(季节趋势)将反映在特征向量及其时间系数上。图 1a~d 给出了 u 、 v 的平均场。

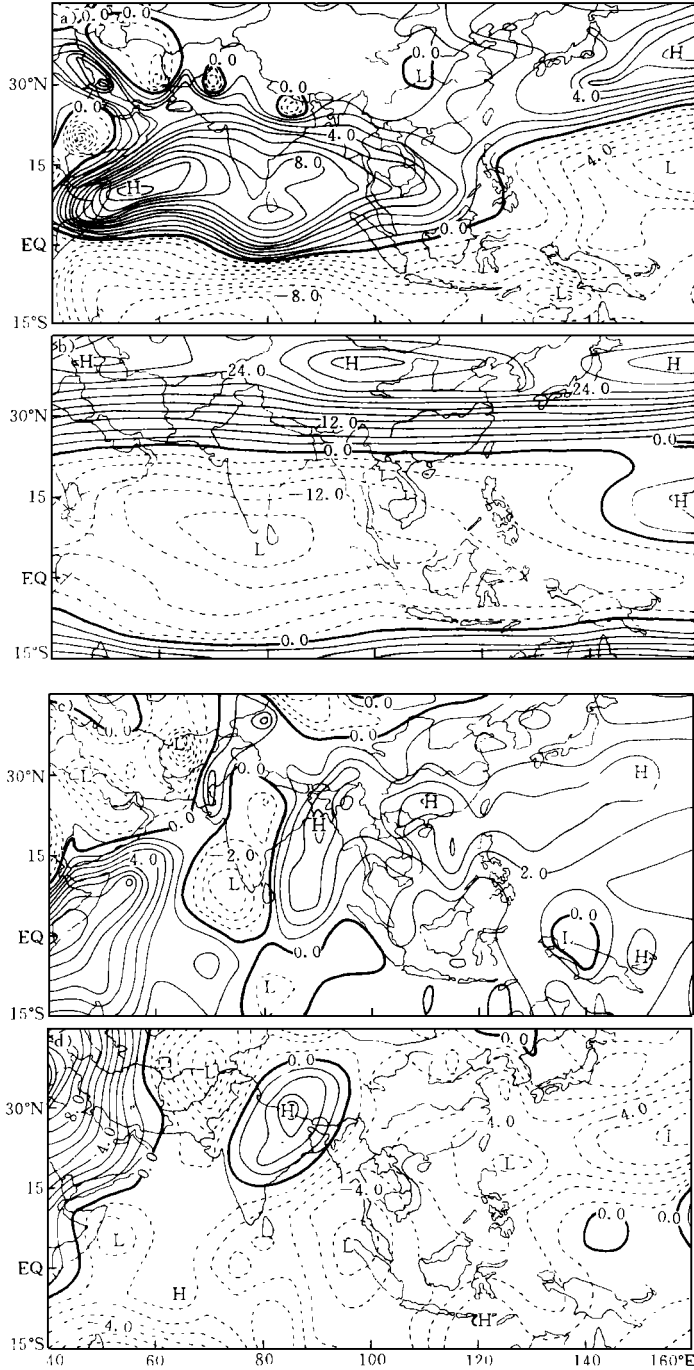


图1 5~9月亚洲夏季风区 u, v 分量的平均分布

a. 850hPa u ; b. 200hPa u ; c. 850hPa v ; d. 200hPa v
单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 等值线间隔分别为 1.0、3.0、1.0、1.0

Fig. 1 Distribution of mean u and v components over the Asian monsoon area for the study season, with 850- u (a), 200- u (b), 850- v (c) and 200-hPa v (d) in units of $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, contoured at 1.0, 3.0 for a), b) and 1.0, 1.0 for c), d), respectively

由图可见, 不论是 u 分量还是 v 分量, 在亚洲季风区, 其垂直方向上的变化都比较大, 甚至气流方向相反, 这正反映出季风流场具有较强的斜压性。

图 2、3 是叠加在上述平均场上的前两个主分量的空间分布型。出于印度季风区和东亚季风区间前两个主分量的方差贡献不同和文章篇幅的考虑, 未给出 v 的特征向量分布和印度地区 u 的第二特征向量分布。由图 2 可见, u 的第一主分量在高低层的空间分布型反映出盛夏期的环流特征, 即低层有季风槽而高层有南亚高压 (时间系数处于负位相时)。而在东亚地区, 当时间系数处于负位相时 (图 3a、b) 第一主分量在 850hPa 上的中、低纬地区, 亦具有典型的夏季环流特征, 此时在 200hPa 上存在东风扰动。图 3c、d 则给出了东亚地区 u 的第二特征向量分布, 其主要反映出纬向风的南北向分布的振荡型。因此, u 的第一特征向量主要反映季节变化特征。而其他主分量则应对第一特征向量作补充并反映时间尺度上的变化。

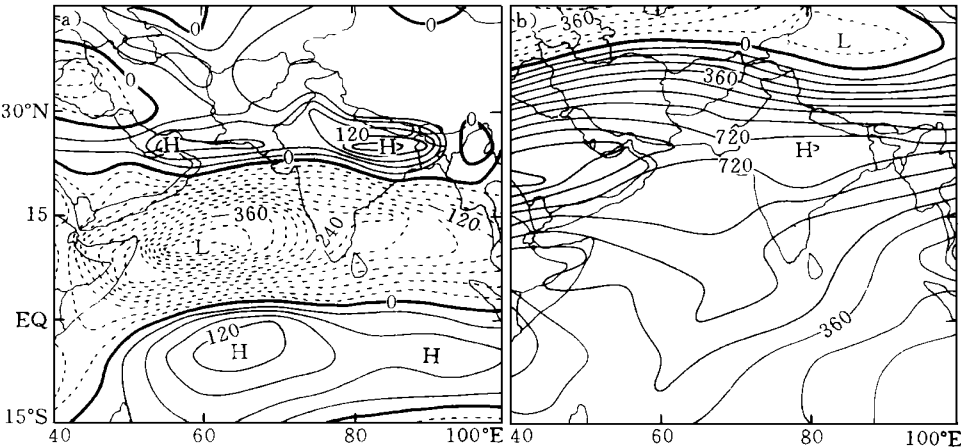


图 2 印度季风区 u 的第 1 特征向量分布

a. 850hPa; b. 200 hPa

等值线间隔分别是 0.003 和 0.009, 图中数值已放大 10^4 倍

Fig. 2 First eigenvector of u over the Indian monsoon region at 850-(a) and 200-hPa (b), contoured at 0.003 and 0.009, respectively, with magnitudes multiplied by a factor of 10^4

3 时间变化规律

为得到印度季风、东亚季风相应的时间变化规律, 图 4 给出纬向风 u 的前 5 个特征向量的时间系数及温度 T 的前 5 个特征向量相应的时间系数。

由图可见, 具有较大振幅的第 1 特征向量的时间系数明显地反映出季节变化的特征。 u 的第 2 特征向量的时间系数亦有季节趋势。其他曲线则具有季节内时间尺度的振荡。就 u 的前 2 个时间系数和 T 的第 1 时间系数而言, 在 6、7 月份其符号的转变在东亚地区比在印度季风区至少迟 1 候。也就是说, 纬向风扰动空间分布由春至夏的季节趋势变化在印度地区要比在东亚地区来得早。这一点具有一定的预报参考价值。

前面已说明 v 分量的方差贡献在前两个主分量上并不如其他要素的前两个主分量的方差贡献大和集中。这说明 v 的变化更为复杂。现以 v 的前 3 个特征向量相应的时间系数来进一步说明问题。

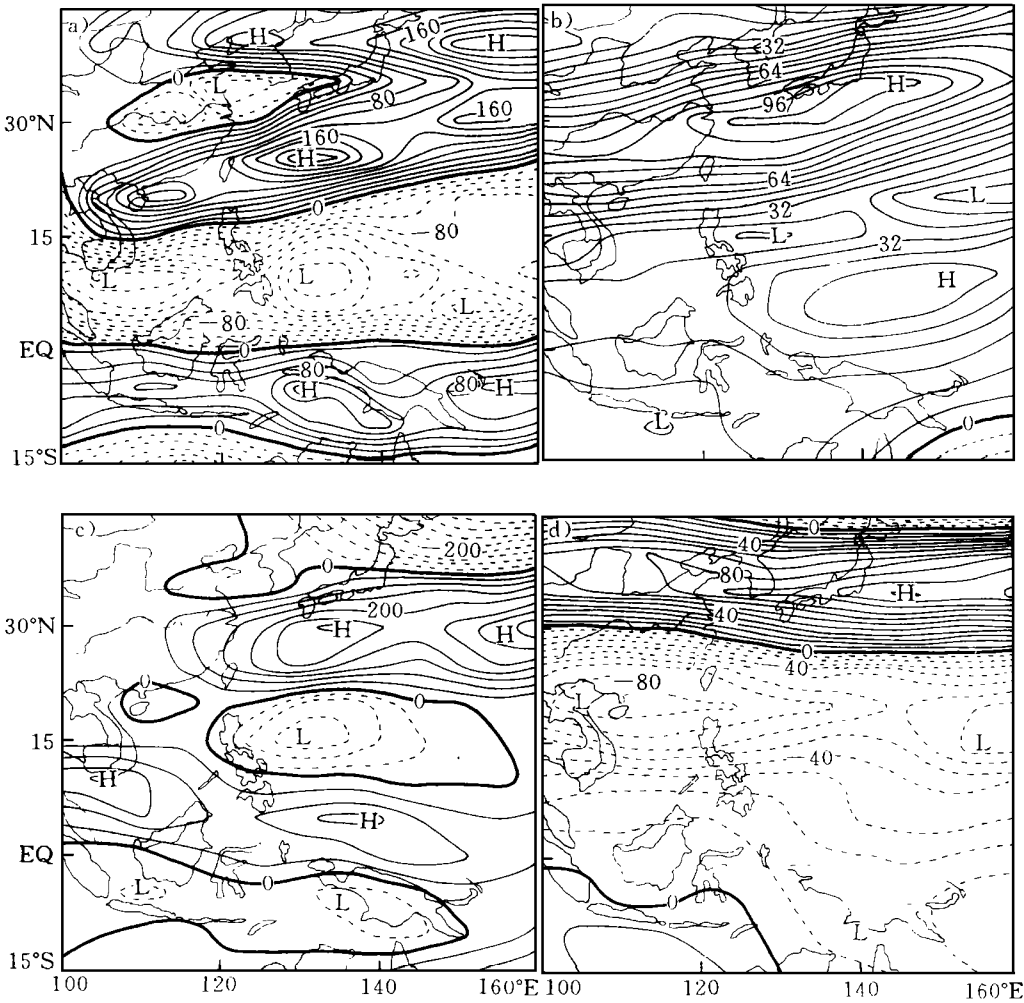


图3 东亚季风区 u 的第1、2特征向量分布

a、b. 分别为 850hPa、200hPa 上的第 1 特征向量(等值线间隔均为 0.002, 图中的数值均已放大 10^4 倍); c、d. 分别为 850hPa、200hPa 的第 2 特征向量 (等值线间隔分别为 0.005、0.01, 图中数值分别放大 10^4 倍和 10^3 倍)

Fig. 3 First and second eigenvectors of u for east Asia with the first given in a) and b) for 850 and 200hPa, respectively, contoured at 0.002 with magnitudes ($\times 10^4$); the second in c) and d) for 850 and 200 hPa, at 0.005 and 0.01, with magnitudes ($\times 10^4$ and $\times 10^3$), respectively

由时间系数曲线可见(图略),在印度地区,第1时间系数有明显的准40天振荡,而第2时间系数则有一定的季节趋势特征。这说明自5月份起,大气环流调整过程中季节性改变(如6月突变)在 v 分量的变化上并不具有明显反映。对比印度季风区和东亚季风区可知,印度地区经向风的低频变化十分显著,而高频扰动的幅度明显较东亚地区的小,这可解释为东亚地区受到较多的系统影响所致。另外,在东亚地区,前两个时间系数尤其是第2时间系数曲线显示出有趣的现象:5~6月份及9月份高频扰动具有优势,而7、8月份则不具有优势,这可能与东亚地区夏季风在7、8月份稳定盛行有关。

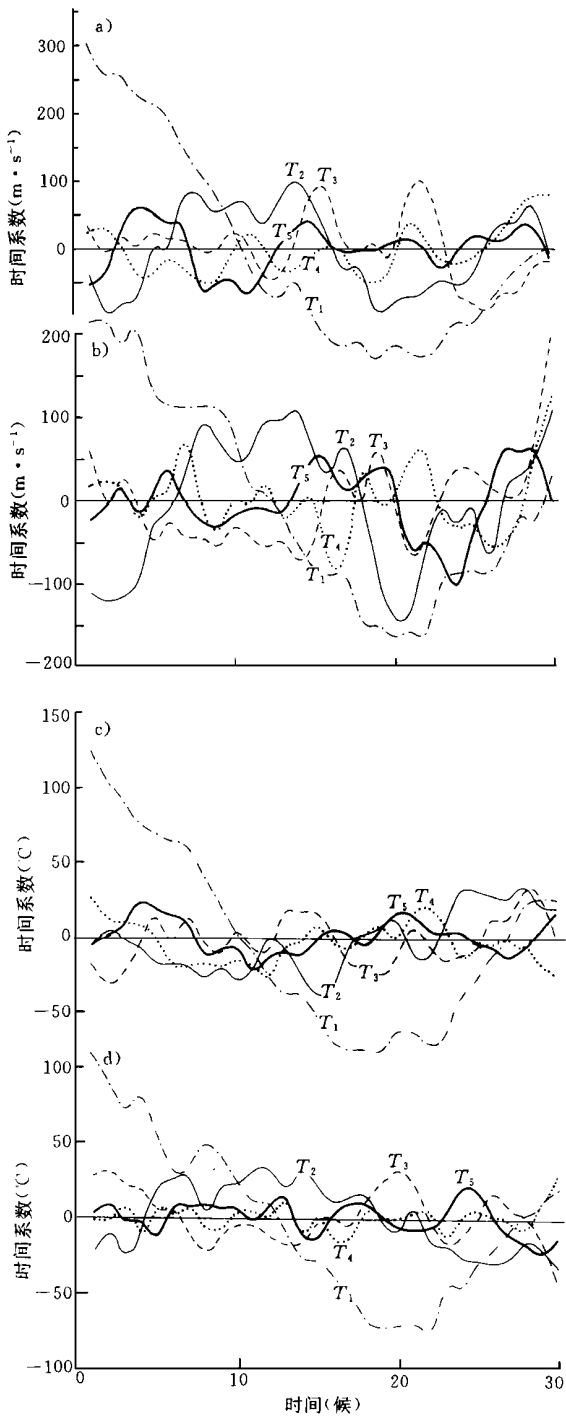


图 4 5~9 月 u 及 T 的前 5 特征向量(T_1, T_2, T_3, T_4, T_5)的时间系数的变化
a、b、c、d. 分别对应于印度季风区 u , 东亚季风区 u , 印度季风区 T , 东亚季风区 T
Fig. 4 Time coefficients of the first five eigenvectors of u and T (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5)
for the study months, with a), b) for u and c), d) for T but a) and c) are related
to the Indian and b) and d) to the east Asian monsoon region

为了进一步对比两个季风子系统中季风活动的差别,以 u 的第 1、2、3 特征向量的时间系数(T_{u_1} 、 T_{u_2} 、 T_{u_3})制作了二维相空间图(由 T_{u_1} 、 T_{u_2} 构成一幅及 T_{u_2} 、 T_{u_3} 构成另一幅)。很显然, T_{u_i} 的大小代表了第 i 特征向量相应扰动的能量的时间演变。由图可知(图略),由格点资料(未进行滤波)直接求出的 T_{u_i} 所构成的相轨迹尚不能反映吸引子或周期解的存在。尽管如此,在两个季风区之间还是有较大的差别。这里不予赘述。需要指出的是,若要更深刻地了解季风活动在状态空间中的行为,不妨进行吸引子的重建^[6]。这有待于进一步研究。

4 结 论

通过用 EOF 方法就各要素的三维资料块进行分析以研究亚洲季风环流系统,指出:(1)运动学量 u 、 v 与热力学量 T 、 H 相比,运动学量前两个主分量的方差贡献较小且不够集中,因此 u 、 v 的变化更为复杂;同时,东亚地区 u 、 v 的前两个主分量的方差贡献不如印度地区那样主要集中在第 1 主分量上,说明东亚地区季风活动可能比印度地区季风活动复杂。(2)夏季风时期经向风扰动不象其他要素那样具有明显的季节趋势,或者说夏季风时期(5~9月)主要的季节性调整发生在纬向气流、温度场和高度场上。而东亚地区由于受到北方冷空气等其他因素的影响, v 分量上的高频活动要较印度地区清楚。(3) u 、 H 、 T 的前两个主分量反映的季节变化在时间系数的符号变化上(与驻波振荡相应)在印度地区要较东亚地区早至少 1 个候。(4)在由各要素(u 、 T 、 H)的时间系数构成的相空间中, u 、 T 、 H 在印度和东亚地区很不相同。不过更为详尽的结果需通过进一步研究获得。

需要指出,文中给出的图表皆系由 1982 年资料所算得。通过普查,1980~1986 年 7 年资料所得主要结果与文中所得结果基本一致。

参 考 文 献

- 1 金祖辉,陈隆勋. 夏季东亚季风环流系统的中期变化及其与印度季风环流系统的相互关系. 见:《会议文集》编辑组编. 全国热带夏季风学术会议论文集. 昆明:云南人民出版社,1982. 204~217
- 2 张邦林,丑纪范. 经验正交函数在气候模拟中的应用. 中国科学(B 辑), 1991, 5: 442~448
- 3 Zhu Qiangen, He Jinhai, Wang Panxing. A study of circulation differences between East-Asian and Indian summer monsoons with their interaction. AAS, 1986, 3(4): 446~457
- 4 王盘兴,李笃武. 东亚季风区和印度季风区夏季对流层下部环流的差别和联系. 南京气象学院学报, 1987, 10(1): 51~58
- 5 Grieger B, Latif M. Reconstruction of the El Niño attractor with neural networks. Climate Dynamics, 1994, 10: 267~276

STUDY ON TIME BEHAVIORS OF INDIAN AND EAST ASIAN MONSOON CIRCULATION

Guan Zhaoyong Han Duanyang Cai Shuyan

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract In the context of ECMWF May-September 1980~1986 series and EOF technique, investigation is performed of the temporal variation in the behaviors of Indian and east Asian monsoon circulations, indicating that the first three principal components of the involved elements show noticeable discrepancy in explaining total variance of perturbation with great difference between the two monsoon areas; signs of time coefficients related to the first two principal components for the seasonal trend are reversed at least one pentad earlier in the Indian than in the other region; disturbance of meridional wind is less clear than that of the other elements as regards seasonal trend; the temporal coefficients of eigenvectors for nonseasonal trend differ greatly in phase space trajectories between the regions.

Keywords Asian summer monsoon system, EOF, space/time structures