

# 东亚中纬冬季雪盖异常对初夏环流的影响\*

杨秋明

(江苏省气象台, 南京 210008)

## 提 要

用 1973~1994 年观测资料, 研究了东亚中纬冬季雪盖异常对初夏东半球主要流型随季节变化的影响, 同时也分析了多(少)雪年份东半球温带地区 30~50 天低频振荡强度以及夏季中国降水量分布的差异. 结果表明, 近 20 年来冬季东亚中纬雪盖强度呈线性增加趋势且迭加较显著的准 2 年周期变化, 它的变化和初夏 500hPa 低频流型逐候演变之间同时存在线性和非线性相关, 并且多雪时欧亚大陆大部分地区 30~50 天振荡强度增强, 而东北亚地区减小.

**关键词:** 东亚中纬 雪盖 500hPa 候平均高度 季节演变 非线性

## 引 言

近年来大量观测分析和数值试验已经揭示出与季风密切联系的亚洲热带海洋/大气耦合系统准 2 年振荡<sup>[1~4]</sup>是全球气候变化中的一个重要分量. 它由欧亚大陆与西太平洋和印度洋之间的加热状态变化决定, 而欧亚中高纬雪盖是一个主要因子<sup>[4]</sup>, 对印度和东亚季风强度有重要影响<sup>[4,5]</sup>, 雪盖增加导致季风偏弱且有利于产生 ENSO<sup>[6]</sup>. 但过去的研究大多集中在欧亚大范围雪盖异常或青藏高原雪盖异常对东亚夏季平均环流和中国东部降水的作用<sup>[7]</sup>, 尚未涉及雪盖区域(如东亚中高纬, 欧亚大陆山区, 欧亚大陆北部等地区)异常对夏季环流季节内变化的影响. 另外, 东亚中纬(包括中国长江以北地区)陆气相互作用不仅影响东亚冬季风和寒潮强度的年际变化, 并可能触发 El Niño 事件<sup>[8]</sup>, 而且对其后夏季的环流演变也有重要作用. 因此, 本文用 22 年观测资料分析东亚冬季中纬雪盖年际变化及其对初夏(5~7 月)东半球 500hPa 主要低频流型随季节的演变和 30~50 天低频振荡强度的影响, 同时也讨论了东亚中纬多(少)雪年份中国夏季降水量空间分布的差异.

## 1 资料和方法

欧亚雪盖资料取自 NOAA 提供的逐周北半球  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  经纬度的格点值, 这里将它合并为  $10^{\circ} \times 5^{\circ}$  经纬度的季频率格点值(格点上每季出现雪盖的周数, 时间是 1973 年 3 月~1994 年 11 月), 由东亚  $30^{\circ} \sim 55^{\circ}N, 95^{\circ} \sim 145^{\circ}E$  范围内格点季平均距平值得到东亚冬季中

\* 1997-04-24 收到, 1997-09-16 收到再改稿.

纬雪盖强度资料. 500hPa 环流资料采用东半球(1974~1994 年)20°~80°N, 0°~180°范围内均匀分布的 60 个格点每年 5~7 月逐候 500hPa 高度距平. 中国降水资料用 160 站月降水量计算出对应的逐年 6~8 月降水距平值, 上述 500hPa 候平均资料和月降水资料均由中国气象局提供.

本文首先对初夏逐候 500hPa 高度距平场进行旋转主成分分析(由极大方差准则<sup>[9]</sup>), 得到主要的空间分布型及对应的时间系数, 然后分析前期冬季东亚中纬多(少)雪年各个低频流型逐候变化差异随季节的演变, 并讨论 30~50 天低频振荡方差变化的空间分布以及中国夏季降水量的空间分布特征.

## 2 东亚中纬冬季雪盖异常对初夏环流的影响

图 1 是 1973/1974~1993/1994 年冬季东亚中纬(30°~55°N, 95°~145°E)雪盖强度距平逐年变化曲线. 从图可看出近 21 年来东亚中纬雪盖呈线性上升趋势(由回归方程  $Y_m = a + bt$ ,  $t$  是年份, 计算得到冬季东亚中纬雪盖  $Y_m$  的气候变化趋势是 0.228%), 同时迭加着较强的准 2 年周期变化(用非整数功率谱分析<sup>[10]</sup>得到 1.7 年和 2.4 年的变化周期, 对应的统计量  $F$  分别是 2.54 和 2.55, 达 0.

10 信度), 多雪年是 1978, 1985, 1987, 1992 和 1993 年, 少雪年是 1974, 1976, 1979, 1980 和 1984 年. 图 2 给出了同期欧亚范围内雪盖强度旋转主成分分析结果(由方差贡献大于 5% 的前 7 个主成分进行旋转), 第一旋转型主要作用区域在欧洲大部分和东北亚地区, 方差贡献是 21.7%, 时间系数呈不均匀变化, 其中

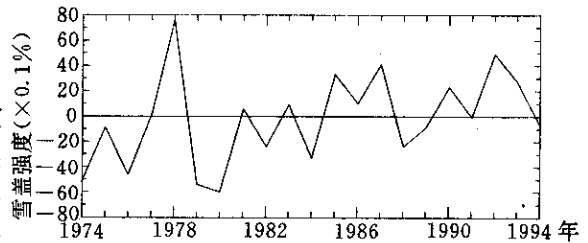


图 1 东亚中纬冬季雪盖强度逐年变化曲线

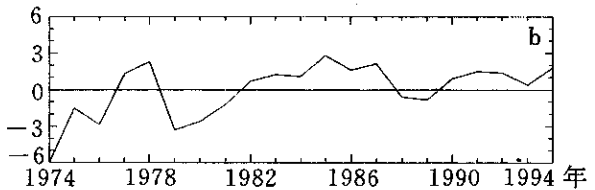
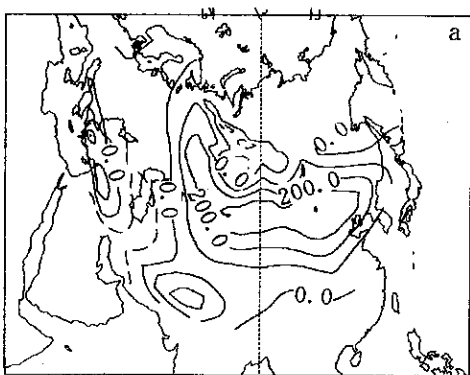


图 2 冬季欧亚雪盖强度旋转特征向量  
(a)空间分布(b)时间变化  
(图中数值已乘以 1000, 等值线间隔是 100, 虚线表示负值)

1980/1981 年冬季是极显著的负值; 而第二旋转型的主要敏感区域在东亚中纬, 方差贡献是 11.8%, 其时间系数变化(图略)与东亚中纬地区(30°~55°N, 95°~145°E)雪盖强度一致, 它们之间的相关系数是 0.745, 达 0.001 信度. 因此, 东亚中纬是除欧洲和东北亚地区

之外的冬季欧亚雪盖年际变化的另一个敏感区。另外,上述结果也表明虽然近 20 年来伴随着全球气候变暖,冬季欧亚大范围雪盖缓慢减弱,但在东亚中纬地区雪盖强度却有增加趋势,它对这个地区能量收支以及水分循环长期变化将产生重要作用,并影响东亚夏季风环流的变化。而准 2 年周期变化则与这个地区海陆气耦合系统内部相互作用有关<sup>[1,2]</sup>。

## 2.1 初夏东半球 500hPa 环流型的季节演变

对 21 年(378 候)、18 年(324 候)和 15 年(270 候)初夏东半球 500hPa 标准化候平均高度距平场分别进行主成分分析,用不同样本长度所得到的特征向量间的夹角余弦绝对值<sup>[11]</sup>考察特征向量的稳定性(表 1)。从表 1 可知前 5 个特征向量间的夹角余弦绝对值大于 0.80,具有很好的稳定性,所以选用这 5 个特征向量按极大方差准则进行旋转<sup>[9]</sup>得到区域特性显著的空间分布型和方差贡献(表 2)。表 2 表明旋转后前 2 个方差贡献减小,后 3 个增加。由于对原始高度距平场作了标准化处理(消除纬际变化的差异),使场的均匀度减少,主成分分析的收敛速度变慢,因而前 5 个主成分的累积方差贡献较小,仅 38.2%,但稳定性很好。下面分析方差贡献大于 7.0% 的前 3 个显著旋转特征向量的空间分布。

图 3 是近 21 年初夏(378 个候)东半球 500hPa 平均高度距平场前 3 个主要的旋转特征向量的空间分布,其方差贡献分别是 10.1%,7.2%和 8.0%。第一旋转空间分布型(图 3a)以纬向分布为主,中低纬地区是负值区,显著负值带在南亚地区并向西太平洋热带延伸,称为纬向扩展型(ZE),它与东半球中低纬加热异常分布的作用<sup>[12]</sup>密切相关,并影响西太平洋副热带高压的强度和位置,是初夏欧亚 500hPa 环流变化的基本模态。第二旋转空间分布型(图 3b)表现为西北太平洋中纬和东北亚高纬南北反相变化的翘翘板结构,定义为西太平洋型(WP),活动中心比月平均高度场上的西太平洋型偏北,由北太平洋中纬海气相互作用引起<sup>[7]</sup>。第三旋转空间

分布型(图 3c)是沿欧亚中高纬纬向传播的波列结构,称为欧亚型(EU),与月平均高度场上的 EU 型类似,反映了东半球中高纬大气对外源(冷、热源和地形扰动等)强迫响应的低频波动在球面上的传播途径,与西风气流上 Rossby 波的正压不稳定有关<sup>[13]</sup>。因此,初夏(5~7 月)东半球 500hPa 候平均高度场分布由以上分别以纬向均匀和纬向不均匀分布为主的空间分布型所决定,代表了东亚入梅前和入梅后以及出梅后的 500hPa 环流特征。为了分析东亚中纬冬季雪盖异常对初夏环流变化的作用,将上述 5 个东亚多(少)雪年对应的初夏前 3 个旋转主成分进行合成,并用 t 检验进行显著性分析,结果见图 4(a~c)(对于给定的第  $j$  候旋转时间系数  $y_j(i)$ ,  $i=1, \dots, 21$ ;  $j=1, \dots, 18$ ; 平均值是  $m_j$ ; 东亚中纬雪盖  $n$  个异常(正或负)年对应的时间系数构成的子序列  $x_j(iO)$ ,  $iO=1, \dots, n$ ; 它的平均值和均

表 1 不同样本长度特征向量间的夹角余弦绝对值

特征向量	$n$ 和 $n_1$	$n$ 和 $n_2$
1	0.994	0.965
2	0.984	0.935
3	0.988	0.938
4	0.966	0.902
5	0.961	0.807
6	0.965	0.081
7	0.935	0.222
8	0.938	0.750

注:表中  $n=378$  候,  $n_1=324$  候,  $n_2=270$  候

表 2 初夏东半球 500hPa 候平均高度前 5 个主成分所表示的方差贡献(%)

主成分	1	2	3	4	5	$\Sigma$
旋转前	10.6	8.4	7.9	6.1	5.2	38.2
旋转后	10.1	7.2	8.0	6.7	6.2	38.2

方差分别是  $\bar{x}$  和  $s$ , 由公式  $t = \sqrt{n-1}(\bar{x} - m_j)/s$  计算  $t$  统计量(本文  $n=5$ , 所以当  $|t|=2.13$  时, 达 0.10 信度, 当  $|t|=2.78$  时, 达 0.05 信度), 同时也给出了多(少)雪年初夏标准化旋转主成分频率分布(图 4(d~f)).

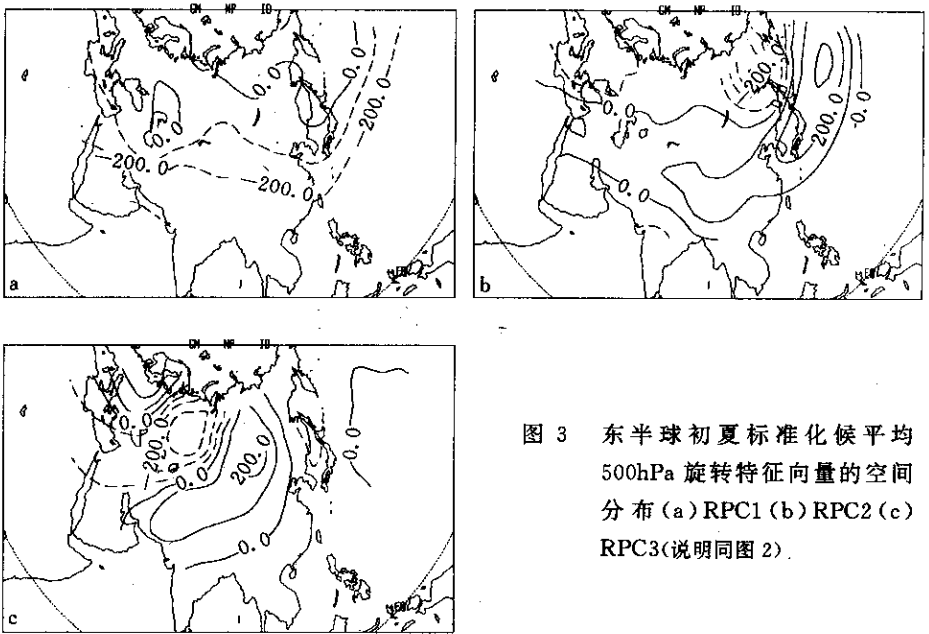


图 3 东半球初夏标准化候平均 500hPa 旋转特征向量的空间分布(a) RPC1 (b) RPC2 (c) RPC3(说明同图 2).

从图 4a 可知, 前期东亚中纬雪盖引起的东亚中低纬经向温度异常作用使得 ZE 型在 7 月 1 候变化最显著, 并呈线性负相关, 多(少)雪时呈负(正)异常, 分别达 0.10 和 0.05 信度, 多雪有利于东亚初夏经向温度梯度增大, 加强经圈环流, 使得副热带高压加强北移, 有利于提前出梅; 而第二、三旋转主成分随季节演变与前期东亚雪盖异常线性关系不显著(图 4b、c). 值得注意的是东亚中纬多雪时, RPC2 在 5 月 3 候、RPC3 在 7 月 1 候出现正异常, 以及东亚中纬少雪时, RPC2 在 6 月 2 候、RPC3 在 5 月 3 候分别出现正、负异常, 反之却不明显. 这种相关的不对称性表明了冰雪对环流作用的非线性. 从标准化旋转主成分多(少)雪年出现频率分布曲线也可发现, 少雪年份 RPC1 以正异常为主(出现一个标准差的频率最高, 图 4d), 而多雪年却是 RPC3 呈现正异常(图 4f), 即少雪年初夏低纬加热较强, 高度偏低, 季风偏强; 多雪年由于东亚中纬冷源持续异常使初夏正 EU 型波列加强, 东亚槽加深, 不利于东亚梅雨维持, 这对东亚梅雨长期预报是重要的. 文献[14]则发现 El Niño 与东亚低层南风相关的不对称性, 即 El Niño 时, 东亚 850hPa 副热带南风显著, 而 La Niña 时却不显著. 因此, 海陆气系统相互作用的非线性使得环流演变复杂化, 这是短期气候预测中必须注意的一个重要问题.

## 2.2 30~50 天振荡强度的变化

对逐年东半球温带地区 500hPa 候平均高度距平场资料进行 6~12 候带通滤波(Batterworth 滤波器)得到低频高度场, 图 5 是多(少)雪年份方差的平均值之比的空间分布. 结果表明, 东亚中纬多雪年欧亚中高纬大部分地区 30~50 天低频振荡活跃, 而东北亚地

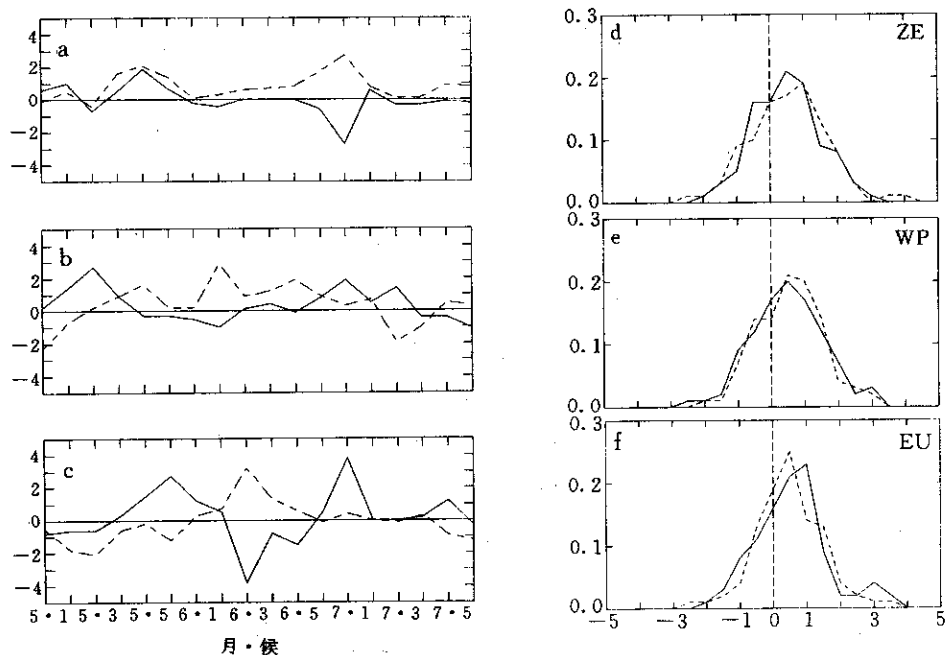


图4 多(少)雪年旋转主成分(a)RPC1 (b)RPC2 (c)RPC3 对应的统计量 $t$ 值逐候变化曲线,(d)RPC1 (e)RPC2 (f)RPC3 初夏标准化旋转主成分频率分布曲线(实线:多雪年,虚线:少雪年)

区显著减弱。这表明东亚中纬雪盖增强(冷源加强)使后期初夏 EUP 低频波列持续增强,这与海温的影响是不同的。理论和观测研究表明<sup>[15]</sup>,与 El Niño 联系的热带太平洋海温异常增暖对季节内振荡有重要影响,它使季节内振荡强度减弱。

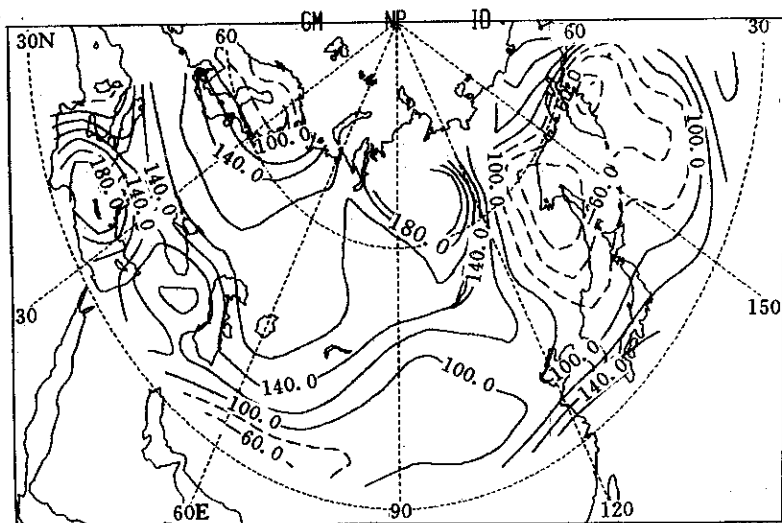


图5 多(少)雪年 30~50 天振荡方差之比(%)的空间分布(等值线间隔是 20,虚线:小于 100%)

### 3 东亚中纬冬季雪盖异常对夏季中国降水的影响

图 6 为多雪年夏季中国降水量距平平均。从图 6 看出多雪年我国夏季黄河以南地区大范围少雨,仅华北东部和浙江沿海有小范围多雨区,这由盛夏副热带高压位置偏北引起;而少雪年华南西部、长江中下游和江淮下游多雨,但区域不大,这与副热带高压不稳定移动有关,另外东北和长江上游存在少雨区。因此,多雪年中国东部少雨区域比少雪年多雨区域更明显,表现为空间相关结构的不对称,即非线性相关较显著。

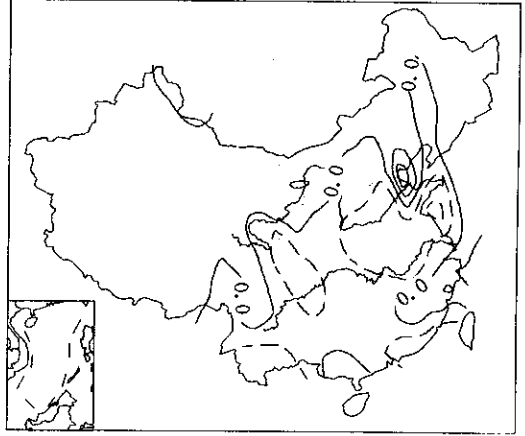


图 6 多雪年夏季中国降水分布

(单位:mm,等值线间隔 20,虚线表示负值)

### 4 结 论

(1)东亚中纬冬季雪盖在近 20 年来呈线性增加趋势,并迭加较显著的准 2 年周期变化,它由东亚中高纬陆气相互作用引起。

(2)初夏东半球 500hPa 候平均高度场存在以纬向均匀和纬向不均匀分布为主的 ZE, WP 和 EU 型空间分布,且雪盖与主要空间分布型相关的季节演变是不对称的,同时存在线性和非线性相关,它是非线性系统相互作用的基本属性。

(3)东亚中纬冬季雪盖对初夏环流 30~50 天振荡有重要影响,多雪时欧亚中高纬大陆大部分地区 30~50 天振荡活跃,东北亚地区减弱。

(4)东亚中纬冬季多雪时,我国夏季黄河以南大范围少雨;而在少雪时,华南西部、长江中下游和江淮下游多雨。并且当前期冬季东亚中纬多雪时,中国东部少雨区域更显著,表现为一定程度的空间相关非对称性。

### 参 考 文 献

- 1 Yasunari T. The monsoon year—A new concept of the climate year in the tropics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1991, **72**(9):1331~1338.
- 2 Shen S and Lau K M. Biennial Oscillation associated with the East Asian summer monsoon and tropical sea surface temperatures. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1995, **73**(1):105~124
- 3 Li C. and Yanai M. The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast. *J. Climate* 1996, **9**(2):358~375.

- 4 Yang S and Lau K M. Precursory signals associated with interannual variability of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, 1996, **9**(5): 949~964.
- 5 Vernekar A D and Zhou J, Shukla J. The effect of Eurasian snow cover on the Indian monsoon *J. Climate*, 1995, **8**(2): 248~266.
- 6 Barnett T P, et al. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations. *J. Atmos. Sci.*, 1989, **46**(5): 661~685.
- 7 章基嘉, 葛玲, 孙照渤. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社, 1994. 313~319.
- 8 李崇银. 大气低频振荡. 北京: 气象出版社, 1993. 50~83.
- 9 方开泰. 实用多元统计分析. 上海: 华东师范大学出版社, 1989. 330~336.
- 10 杨秋明. 初夏亚洲季风区环流低频振荡与长江下游持续暴雨. *应用气象学报*, 1993, **4**(3): 320~326.
- 11 杨秋明. 北半球夏季 500hPa 候平均高度场的遥相关和环流特征. *大气科学*, 1993, **17**(2): 148~154.
- 12 余志豪, 郑维忠. ITCZ 的季节突变. *大气科学*, 1988, **12**(4): 357~364.
- 13 徐祥德, 何金海, 赵天良, 等. 强迫二维 Rossby 波的数值试验. *气象学报*, 1993, **51**(1): 111~117.
- 14 Zhang Renhe, Sumi A and Kimoto M. Impact of El Niño on the east Asian monsoon: a diagnostic study of the '86/'87 and '91/'92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**(1): 49~62.
- 15 李崇银, 李桂龙. El Niño 影响热带大气季节内振荡的动力学研究. *大气科学*, 1996, **20**(3): 159~168.

## INFLUENCES OF THE SNOW COVER ANOMALY DURING WINTER IN MID-LATITUDE REGION OF EAST ASIA ON THE CIRCULATIONS OF EARLY SUMMER

Yang Qiuming

(*Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008*)

### Abstract

The influences of the snow cover anomaly during the winter in the mid-latitude region of East Asia on the variations of the dominant low frequency modes with seasons of the Eastern Hemisphere in early summer are studied based on the data from 1973 to 1994, and the differences of the intensity of 30~50 day low frequency oscillation over extratropical Eastern Hemisphere and the summer rainfall over China in snowy and less snowy years are discussed. The interannual variations of winter snow cover at mid-latitude in East Asia appear linear increasing and to have the quasi-biennial oscillation superimposed, and the relationships between its variation and the evolutions of the dominant low frequency modes are linear or nonlinear correlation at the same time.

The intensities of low frequency oscillation are stronger for the most regions of Eurasian continents, but weaker in northeastern Asia in snowy years.

**Key words:** Mid-latitude region in East Asia    Snow cover    Mean pentad 500 hPa height  
Seasonal evolution    Nonlinearity