

基于矩阵理论的全球温度资料的尺度性研究^{*}

支 蓉^{1,2)†} 龚志强^{1,3)} 郑志海^{1,2)} 周 磊²⁾

1) 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2) 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029)

3) 国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2008 年 7 月 10 日收到, 2008 年 8 月 13 日收到修改稿)

采用 1948—2005 年 NCEP/NCAR 全球温度资料构建温度关联矩阵, 研究表明: 为了滤除关联“噪声”, 采用信度为 0.01 的统计检验是比较合适的. 对日温度序列做 $\text{step} = 5\text{d}, 10\text{d}, \dots$ 的滑动平均继而构建关联矩阵发现 365—730d 可能是温度场时间尺度上的一个转折点, 全球平均关联系数 \bar{C}_{global} 的总体变化趋势是随 step 的增加而增大, 但趋势逐渐变缓, 相关系数绝对值大于 0.3 的正负强关联点对数也随之增加, 位于赤道东太平洋海域的正关联中心(区域 I) (162.5°W—77.5°E, 7.5°N—12.5°S) 和位于北太平洋海域的负关联中心(区域 II) (157.5°W—32.5°E, 27.5°—47.5°N) 是值得重点关注的两个区域, 二者之间存在较强的负相关. 取长度为 10 a 滑动窗口研究 \bar{C}_{global} 随时间的演变特征发现, \bar{C}_{global} 在 1981—1987a 之间发生了明显的跃变, 并且这一跃变可能是年代际尺度上的行为, 区域 I 和 II 对这一跃变也有清晰的反映, 区域 II 的跃变略滞后于区域 I; 与此同时北太平洋海域关联系数的最小值点随时间演变还出现了明显的“位移”.

关键词: 温度场, 关联矩阵, 时间尺度, 跃变

PACC: 9260X

1. 引 言

大气可预报性理论研究表明, 逐日天气可预报时效的理论上限一般为 2 周^[1,2]. 在对未来 1—3 d 短期天气预报取得成功的基础上, 国际上主要气象预报中心均在努力研发各种技术提高天气预报的准确率与时效. 例如, 欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 在过去十年间主要通过改善预报模式初始场、优化模式物理过程参数化、提高模式分辨率以及利用大样本集合预报技术明显提高了天气预报的准确率和时效. 美国国家环境预报中心 (NCEP) 以及我国国家气象中心均把数值模式的集合预报技术作为提高逐日天气预报水平的主要发展方向. 虽然, 如果逐日天气预报的时效超过了理论的上限 (如 2 周) 则未来某日或某个具体时刻的天气预报将变得不可能, 然而, 这并不意味着超过逐日天气预报时效理论上限的大气运动没有可预报的分量. 已有许多研究表明, 当某种特定的持续性“天气流型” (weather

regime) 或大气环流持续性异常信号出现时, 某种异常天气会持续性产生, 而正是这种持续性使得超过逐日天气预报时效理论上限的延伸期 (10—30 d) 预报变得具有潜在可能.

大气环流持续性异常是天气时间尺度以上、月季时间尺度以下的大气变化强信号现象. 在中高纬度, 大气环流持续性异常是对经典阻塞概念的推广. 气候系统是一个高度非线性、多层次、强迫耗散的复杂系统, 在太阳辐射和大气环流作用下, 气候系统内部产生一系列复杂的物理过程和非线性相互作用, 各组成部分之间通过物质和能量交换等紧密联系构成一个整体^[3-5]. 目前, 国内外学者对气候系统的研究已经取得了不少进展^[6-9], 但由于气候系统的内秉复杂性, 目前对其内在联系的研究大都局限于对少数几个区域气候子系统之间的可能作用和联系进行探索, 而很少有工作从全局性的角度将整个气候系统内部所有子系统之间的相互关系视作一个巨大而复杂的网络系统. 因此本文采用 NCEP/NCAR 全球再分析温度资料, 结合矩阵理论, 从全局性的角度讨

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 40675044) 和国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2006CB400503) 资助的课题.

[†] E-mail: z-rongphy@126.com

论全球温度序列之间的关联性及其时空演变的多尺度特征, 尝试从实际资料中分析出有一定物理背景的特征时间尺度, 旨在更好的理解气候系统的基本结构特征, 进而挖掘其内秉性质, 为建立 10—30 d 无间隙预报奠定理论基础, 事实上这是一个面临挑战的困难的工作。

2. 资料和方法

2.1. 资料

温度资料来源^[10]于 NCEP 和美国国家大气研究中心(NCAR)对全球 1948—2005a 的气象资料进行再分析形成的逐日平均温度资料(地面资料), 分辨率为 $5^\circ \times 5^\circ$, 沿纬向有 72 个格点, 沿经向有 36 个格点, 总计 2592 个格点, $T_i(j)$, $i = 1 \dots, 2592$; $j = 1, \dots, 21170$. 由其中 1970—2000a 逐日平均温度资料计算得到格点温度基准序列 $\bar{T}_i(l)$, $i = 1 \dots, 2592$; $l = 1 \dots, 365$. 为滤除日温度资料中包含的季节振荡信号, 对数据做距平处理得到距平序列 $T'_i(j)$, 即

$$T'_i(j) = T_i(\text{mod}(j, 365)) - \bar{T}_i(l). \quad (1)$$

2.2. 关联性研究方法

关联矩阵理论的主要思想如下: 首先对 M 维多变量数据集 $X_i(t)$, $i = 1 \dots, M$; $t = 1 \dots, N$ 进行标准化处理:

$$X'_i(t) = \frac{X_i(t) - X_i}{\sigma_i}, \quad (2)$$

其中 X_i 为平均值, $\sigma_i = \sqrt{X_i^2 - X_i^2}$. 关联矩阵的矩阵元为^[11]

$$C_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X'_i(t) X'_j(t) \quad (3)$$

$i = 1 \dots, M \quad j = 1 \dots, M.$

由此构建得到的关联矩阵, 其中 $-1 \leq C_{ij} \leq 1$, $C_{ij} = C_{ji}$, $C_{ij} = 1$ ($i = j$), $C_{ij} = 1$ 表示完全正相关, $C_{ij} = -1$ 表示完全负相关, $C_{ij} = 0$ 表示不相关。

下文中, 我们将温度距平序列 $T'_i(j)$ 进行上述处理得到温度关联矩阵, 由此计算出全球 2592 个格点各自的平均关联系数

$$\bar{C}_i = \frac{1}{2591} \sum_j C_{ij}, \quad (4)$$

$i = 1 \dots, 2592; j = 1 \dots, 2592; i \neq j.$

在考虑特定条件的情况下, 可用与(4)式类似的形

式, 对符合条件的矩阵元 C_{ij} 进行累加继而求平均, 得到符合特定条件的格点平均关联系数 \bar{C}_i . 由 \bar{C}_i 可以得到格点平均关联系数的全球分布图以及全球平均关联系数 \bar{C}_{global} , 即

$$\bar{C}_{\text{global}} = \frac{1}{2592} \sum_{i=1}^{2592} \bar{C}_i. \quad (5)$$

3. 结果和分析

3.1. 关联系数的信度阈值讨论

根据文献^[12]全球格点温度资料之间既存在有意义的真实关联, 也存在一些虚假关联, 即关联“噪声”. 关联“噪声”的存在必然影响我们对真实关联的研究, 从而成为我们从关联角度认识全球温度场的内在属性和本质特征的障碍之一, 因此我们在研究工作的最初必须要考虑的一个重要问题就是如何尽可能消除关联“噪声”的影响, 揭示气候系统客观真实的演化规律。

由于关联“噪声”的阈值很窄, 接近于 0, 由此我们想到, 设定合适的正/负阈值会是一个简单而有效的滤除关联“噪声”的方法. 为此我们做了多种尝试, 希望挑选出最佳方案。

图 1(a)—(d) 分别为由全球格点逐日平均温度资料得到的 1) 不对矩阵元进行统计检验 (以下简称条件 I); 2) 对矩阵元采用信度为 0.01 的统计检验 (以下简称条件 II); 3) 不考虑南北纬 60 度以外格点 (但同时矩阵元采用信度为 0.01 的统计检验) (以下简称条件 III); 4) 仅考虑相关系数绝对值大于 0.3 的矩阵元 (以下简称条件 IV) 的情况下格点平均关联系数的全球分布情况. 由图 1 可以得到以下几点结论:

1) 采用条件 I—III 的情况下(图 1(a)—(c)) 关联系数的全球分布同时存在正/负值区域和明显的正/负值中心, 空间分布较为相似, 最大的负值中心位于北太平洋海域 ($157.5^\circ\text{W}—32.5^\circ\text{E}$, $27.5^\circ—47.5^\circ\text{N}$), 而最大的正值中心则位于赤道东太平洋 ($162.5^\circ\text{W}—77.5^\circ\text{E}$, $7.5^\circ\text{N}—12.5^\circ\text{S}$), 此外在热带印度洋海域以及赤道东大西洋海域也分别存在两个较明显的正值中心, 而采用条件 IV 的情况下(图 1(d)) 没有负值区域出现, 也没有明显的正值中心, 与前三种情况差别较大。

2) 图 1(a)—(c) 中的负值区域无论是在面积上

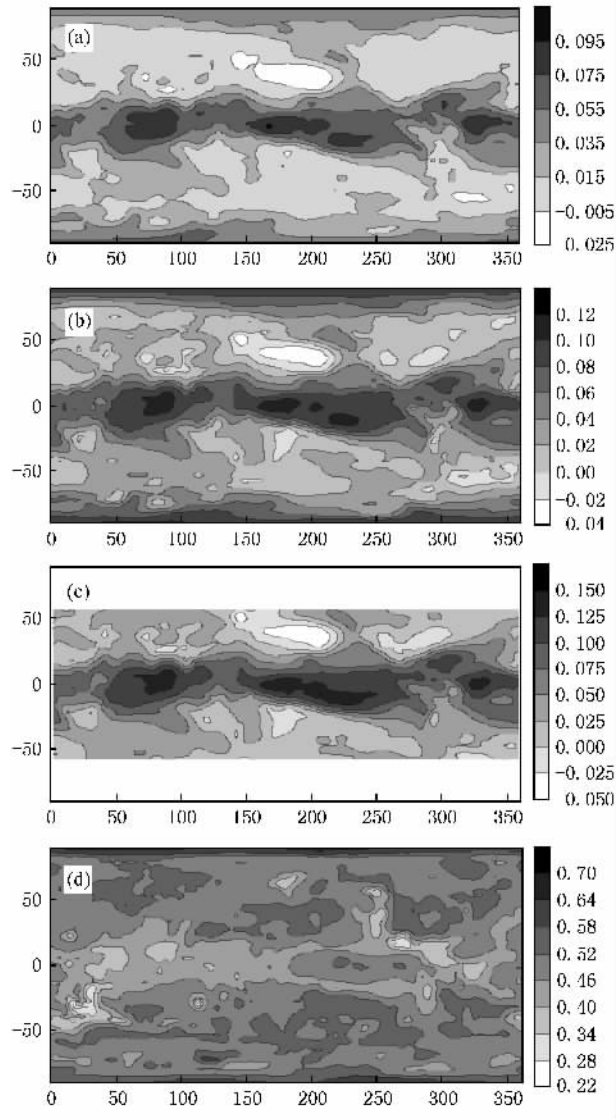


图 1 不同条件下格点平均关联系数的全球分布 (a)条件 I ; (b)条件 II (c)条件 III (d)条件 IV

还是在强度上都远小于正值区域,造成这种情况的可能原因主要有两个:首先,温度的全球同步性较好,出现大面积的正相关是正常的;其次,考虑到格点间距,邻近格点间的关联系数很大,接近于 1,而我们所研究的格点关联系数 \bar{C}_i 实质上是关联系数的平均值,格点与其邻近格点间较大的正相关在很大程度上掩盖了与其他格点间的负相关特征.因此,我们在研究过程中不能忽视这些负值中心,而应该把它们放在和正值中心同样重要的位置上.

3)对比图 1(a)(b)和图 1(c)可以发现,采用条件 III 对南北纬 60° 以内区域的关联系数分布无论在空间分布型上还是数值上影响都很小,因此我们认为南北纬 60° 以外的区域只与本身或极少部分中低纬度区域关联较大,而与绝大部分中低纬度地区关联较小,这一观点也可以从图 1(c)的值域范围略大于图 1(b)得到证实.

此外,根据文献 [12] 中对关联“噪声”的讨论,经检验,条件 II 基本可以将值阈为 $[-0.02, 0.02]$ 的关联“噪声”排除.综上所述,下文的研究均采用信度为 0.01 的统计检验.

3.2. 关联系数与平滑日数的关系

分别对日温度序列做 $step = 5d, 10d, \dots$ 的滑动平均并计算得到相应的关联矩阵和全球平均关联系数 \bar{C}_{global} , 由图 2 可以看出:

1)采用条件 I—III 的情况下, \bar{C}_{global} 的总体变化趋势是随 $step$ 的增加而增大,但增大趋势逐渐变缓;采用条件 IV 的情况下,变化趋势相反, \bar{C}_{global} 随 $step$ 的增加而减小,且减小趋势逐渐变缓;由于数据长度的限制,我们无法确定这种增大/减小是否会最终达

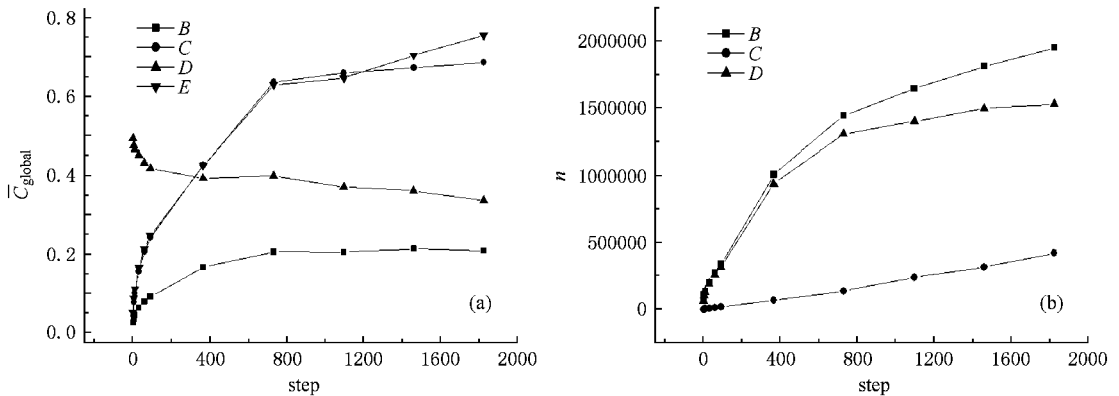


图 2 (a)全球平均相关系数 \bar{C}_{global} 随 $step$ 的演变 (B 为条件 I, C 为条件 II, D 为条件 III, E 为条件 IV) (b)强关联格点对数 n 随 $step$ 的演变 (B 为关联系数绝对值大于 0.3; C 为关联系数大于 0.3; D 为关联系数小于 -0.3)

到饱和状态或出现新的异常变化.

2)由图 2(b)可以看出,随着 step 的增大,绝对值大于 0.3 的正/负强关联格点对数均在增加,造成这一现象的可能原因是随着尺度增大,格点温度的变化逐渐体现出低频的气候平均态特征,温度变化的区域特征更显著,邻近格点间的“短程”关联增强,距离较远的格点间“长程”关联的比例也有所增加.

对图 2(a)中对应条件 II 的曲线 C 取双对数坐标,由图 3 可以看出,双对数坐标下,图 2(a)中的曲线 C 呈现较好的幂律分布特征,以 $step = 365-730$ d 为分界线,幂律指数发生明显转变,其可能原因有两个: i) $step \leq 365$ d 和 $step \geq 730$ d 所反映的不同尺度下的温度场状态特征具有不同的物理机理, Tsonis 等的研究也表明,全球温度场存在 20 个月左右的特征尺度,这一尺度对应温度变化的转折,对 El nino 和 La nina 间的转换有重要作用^[13]; ii) 幂律指数是一种统计结果,而我们所能获取的温度序列长度只有 58 a, step 过大会造成样本量过少,从而可能影响统计结果,造成幂律指数发生变化.考虑到以上两点,在下文的研究中,我们将主要研究 $step \leq 365$ d 的情况.

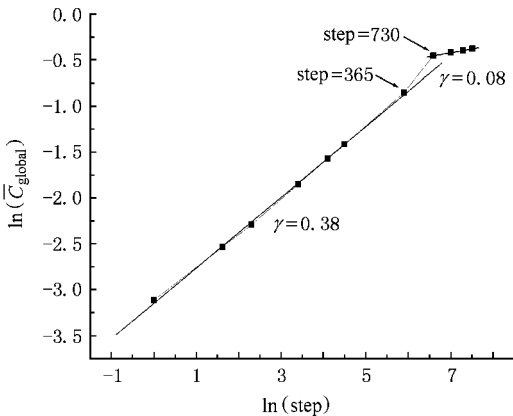


图 3 对图 2(a)中曲线 C 取双对数坐标

至此,我们从关联的角度研究全球温度场发现, 365—370 d 尺度有可能是温度场时间尺度上的一个分界线,从 730 d 尺度上和 365 d 以下两个角度去研究温度场可能会得到一些很不一样的特征.值得注意的是,10—30 d 尺度范围内虽然没有显示出明显的界线,但其变率等仍然存在一定的差异.既然从关联角度有可能揭示温度场研究对时间尺度的“敏感性”,因此对 10—30 d 尺度的细致研究将是我们下一步工作的重要内容之一.从全球温度场的关联

性出发对这一尺度范围的研究将有助于从气候系统动力学结构特征的角度理解短期天气预报和延伸期预报之间的联系和差别,从而为做好 10—30 d 尺度的延伸期预报提供理论基础.与此同时我们必须清醒地认识到,这项意义重大的工作同时也是可预期的困难重重的工作.

3.3. 重点研究区域的确定

根据图 1(b)以及 $step = 5$ d, 10 d, ... 情况下关联系数的全球分布情况(图略),我们发现,几个大的正/负值中心均比较“稳定”,其所处地理位置不随 step 变化而变化,考虑到这些中心的面积和强度,我们初步确定了重点研究对象,即图 1(b)中位于赤道东太平洋的最大的正值中心(162.5°W—77.5°E, 7.5°N—12.5°S)(以下简称区域 I)和位于北太平洋海域的最大的负值中心(157.5°W—32.5°E, 27.5°—47.5°N)(以下简称区域 II).

我们分别以这两个区域为基准,将区域内格点的日平均温度资料各整合为一条序列,然后计算不同 step 情况下全球其他格点与这两个区域的关联系数,结果如图 4 所示.其中图 4(a)是以区域 I 为基准得到的 $step = 1$ d 情况下关联系数的全球分布情况($step = 5$ d, 10 d, ... 情况与之类似,图略),图 4(b)以区域 II 为基准(同上).

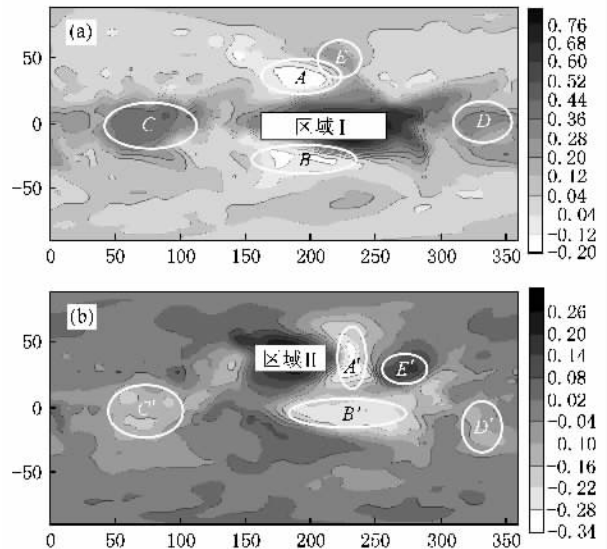


图 4 以区域 I 和 II 为基准得到的 $step = 1$ d 情况下关联系数的全球分布情况 (a)以区域 I 为基准 (b)以区域 II 为基准

我们发现: 1) 区域 I 和 II(赤道中东太平洋和北太平洋区域)与全球大部分地区均存在稳定的强关

联作用,是全球温度变化的关键区域,也是气候变化预测中的强信号.其中区域 I 主要与区域 α (赤道印度洋) β (赤道大西洋) 之间存在强的正关联,三个区域均位于赤道两侧的海域,太阳辐射和下垫面等外界强迫等影响温度变化的因素较相似,因此区域 I 对 C, D 的影响主要体现了温度变化的同步性;并且区域 I 与区域 E 存在正相关,而与区域 A, B 之间存在强的负关联,以区域 I 为基准的由北向南的 $+-+$ 分布一定程度体现了太平洋温度变化之南北向的行星际尺度特征;已有研究表明,北太平洋海域存在太平洋年代际涛动(PDO),被太阳涛动(NPO)和北太平洋-北美型等多种重要的气候变化信号.正是这一区域在气候变化中重要作用,因此就全球的关联性而言,区域 II 为代表的北太平洋与区域 A', B', C', D' 之间存在强的负关联,而与区域 E' 之间存在强的正关联,显然北太平洋的海温变化对全球的温度变化具有一定的影响.2)由图 4(a)中区域 I 和 A 以及图 4(b)中区域 II 和区域 B' 之间的关系可以看出,区域 I 和 II 之间的负相关非常明显.3)以上特征不随 step 的变化而变化,表明这些特征在一定时间尺度范围内是比较稳定的.

因此我们认为,我们所选定的两个区域对于温

度场来说是非常重要的关键区,且相互之间存在很强的负关联,我们在研究过程中不仅应该考虑它们各自对全球温度场的影响,同时更应该考虑它们之间可能的相互作用以及对全球温度场的综合效应.此外,全球温度场具有相对稳定的分布型,但造成这种分布型的主要尺度是哪些,这一问题有待于我们进一步的探讨.同时,这一问题的澄清也将有助于解决 10—30 d 尺度范围内是否存在奇异点的难题.

3.4. 关联系数随时间的演变

我们取长度为 10 a 的滑动窗口,考虑到计算量比较大,滑动步长取为 2 a,研究关联系数随时间的演变.例如,图 5(a)中的第 1 个点是由 1948—1957 年共 10 a 的数据计算得到,按照惯例将结果赋值给滑动窗口中的末尾年份,即 1957 年;计算第 2 个点时,窗口向后滑动一步,即 2 a,计算时选用的是 1950—1959 年的数据,结果赋值给 1959 年;下面的计算依此类推.由图 5(a)可以看出:全球平均关联系数 \bar{C}_{global} 在 1981—1987 年之间发生了明显的跃变,关联系数值突然减小,之后又缓慢回升.这里我们要特别指出的是:由于窗口长度的影响,无法精确确定突变的起止时间,为此我们将滑动窗口的长度缩短,

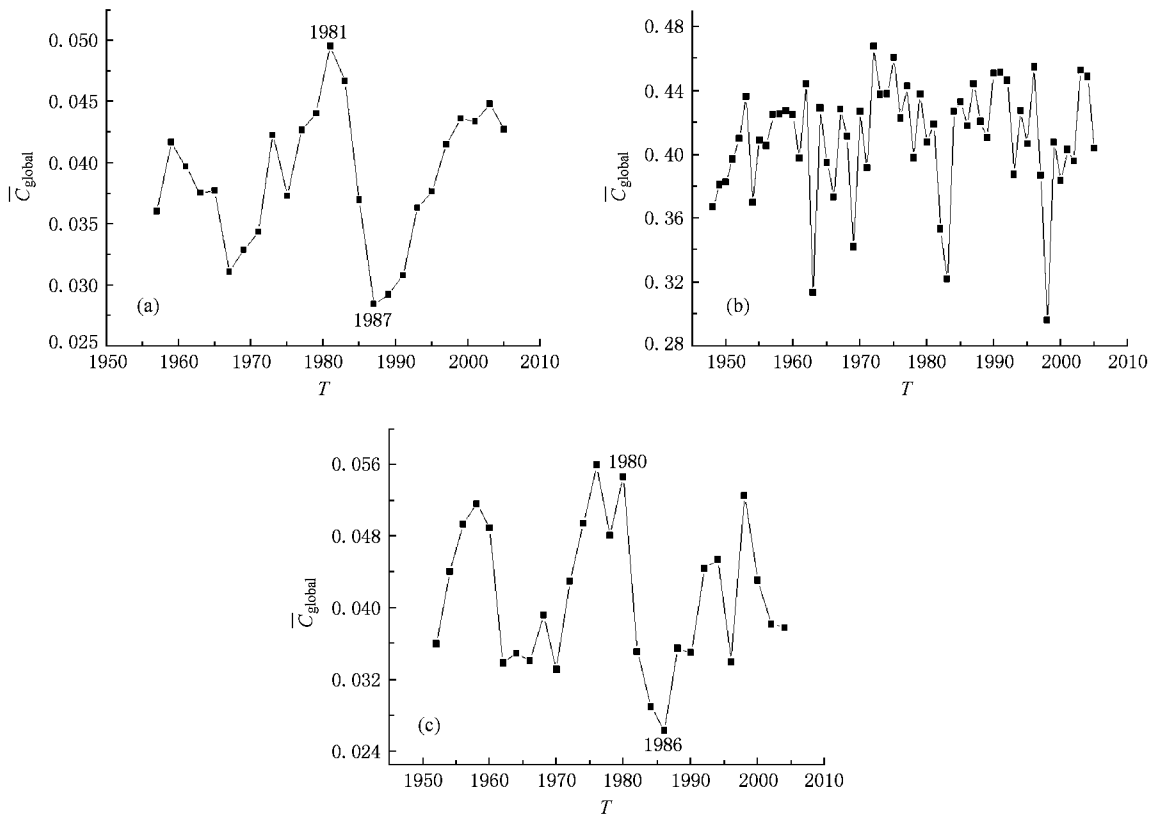


图 5 \bar{C}_{global} 随时间的演变 (a)窗口长度 10 a,滑动步长 2 a (b)窗口长度 1 a,滑动步长 1 a (c)窗口长度 5 a,滑动步长 2 a

希望能提高时间分辨率. 结果表明, 窗口长度为 1a 的情况下(图 5(b)), C_{global} 随时间演变没有跃变现象, 窗口长度为 5a 的情况下(图 5(c)), \bar{C}_{global} 随时间演变的跃变现象远没有窗口长度为 10a 的情况明显, 因此我们认为图 5(a) 中所反映出的这一跃变可能是全球温度场年代际尺度上的行为, 因此缩短了滑动窗口长度反而使得这一演变特征不明显甚至消失.

研究图 5(a) 所对应的一系列关联系数全球分布图(略)我们发现, 区域 I 和 II 随时间演变也存在明显变化, 其中区域 I 主要反映为关联强弱的变化(图 6(a)), 而前文定义的区域 II 所处的北太平洋海

域其负值中心不仅存在关联强弱的变化(图 6(b)), 同时最小值点随时间演变还出现了较大“位移”, 大体趋势如图 6(c) 所示, 上世纪 90 年代末以前, 最小值点位于 35°—45°N 之间, 自西向东移动; 之后最小值点南移至 15°—25°N 之间, 且有明显的自东向西的移动. 二者相同的是, 区域 I 内格点的平均关联系数和北太平洋海域的关联系数最小值随时间演变也出现了如图 5(a) 中的明显的跃变现象(图 6(a)(b)). 对比图 6(a) 和 (b) 还可以发现区域 II 所处的北太平洋海域负值中心在跃变时间上略滞后于区域 I.

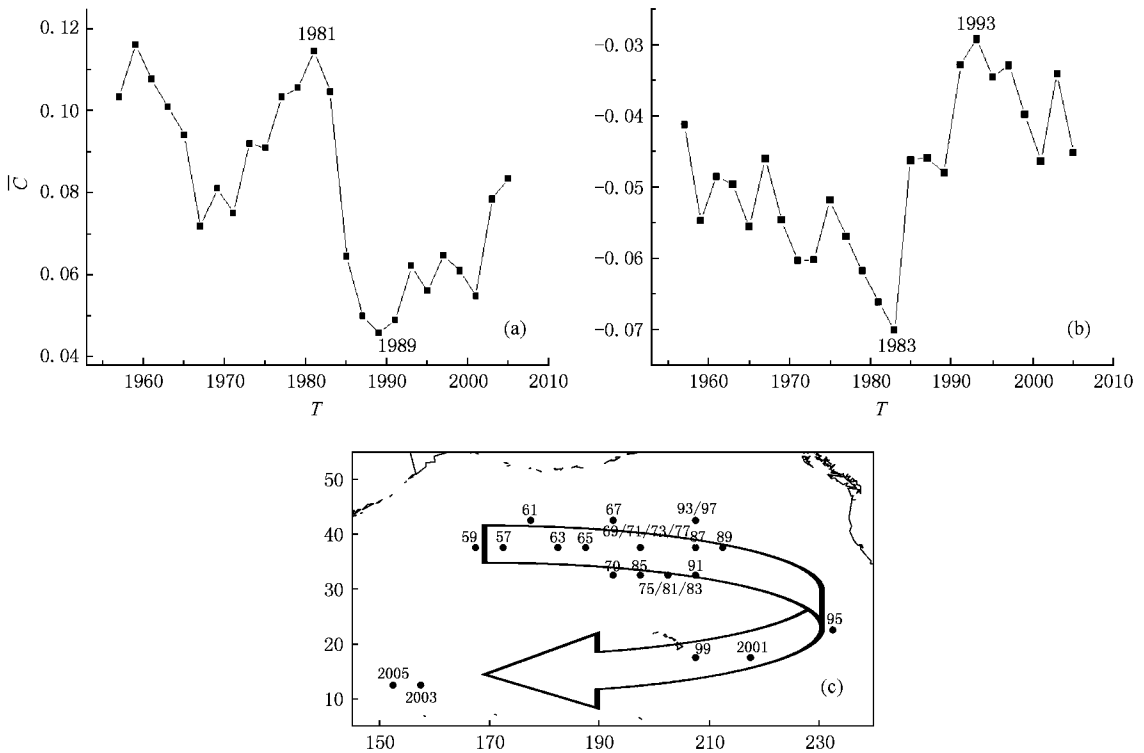


图 6 (a) 区域 I 内格点平均关联系数均值随时间的演变 (b) 北太平洋海域关联系数最小值随时间的演变 (c) 北太平洋海域关联系数最小值位置随时间的演变

4. 结 论

1. 为了消除全球格点温度资料之间存在关联“噪声”, 更好地从关联角度认识全球温度场的内在属性和本质特征, 根据文献[12]中对关联“噪声”的讨论以及对多种信度阈值设定方案结果的比较, 最终选定信度为 0.01 的统计检验作为全文及今后相关研究的信度标准.

2. 对日温度序列做 $step = 5d, 10d, \dots$ 的滑动平

均继而进行相关研究发现, \bar{C}_{global} 的总体变化趋势是随 $step$ 的增加而增大, 但增大趋势逐渐变缓, 关联系数绝对值大于 0.3 的强关联点对数也随之增加; 365—730 d 可能是温度场时间尺度上的一个分界线, 鉴于从关联角度有可能揭示温度场对时间尺度的“敏感性”, 因此对 10—30 d 尺度的进一步研究将是我们接下来工作的重要内容之一.

3. 位于赤道的正值中心(162.5°W—77.5°E, 7.5°N—12.5°S)和位于北太平洋海域的负值中心(157.5°W—32.5°E, 27.5°—47.5°N)是全球温度场

的两个关键区域,也是我们重点关注的两个区域,二者之间关系密切,存在较强的负相关。

4. \bar{C}_{global} 在 1981—1987 年之间发生了明显的跃变,并且这一跃变可能是年代际尺度上的行为,因此在年际尺度上并没有明显的反映;分别位于赤道和

北太平洋的两个中心(区域 I 和 II)对这一跃变也有清晰的反映,从时间上看位于北太平洋海域的负值中心略滞后于位于赤道区域的正值中心;与此同时北太平洋海域的最小关联值点随时间演变还出现了较大“位移”。

-
- [1] Lorenz E N 1963 *J. Atmos. Sci.* **20** 130
- [2] Lorenz E N 1969 *Tellus* **21** 289
- [3] Liu S D, Liu S K 1999 *Atmospheric Dynamics* (Beijing: Peking University Press) p536 (in Chinese) [刘式达、刘式适 1999 大气动力学(北京:北京大学出版社) p536]
- [4] Shi N 2005 *Chin. Phys.* **14** 844
- [5] Dai X G, Fu Z B, Wang P 2005 *Chin. Phys.* **14** 850
- [6] Xiao D, Li J P 2007 *J. Geophys. Res.* **112** (D24S22) doi: 10.1029/2007JD008956
- [7] Xiao D, Li J P 2007 *Scientia Atmospherica Sinica* **31** 839
- [8] Feng G L, Gong Z Q, Dong W J, Li J P 2005 *Acta. Phys. Sin.* **54** 5494 (in Chinese) [封国林、龚志强、董文杰、李建平 2005 物理学报 **54** 5494]
- [9] Wang G L, Yang P C, Lu D R 2005 *Journal of Atmospheric Sciences* **29** 178
- [10] Kistler R, Kalnay E, Collins W 2001 *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **82** 247
- [11] Murirhead R J 1982 *Aspects of multivariate Statistical Theory* (Wiley: New York) p308
- [12] Feng G L, Gong Z Q, Zhi R, Zhou L *Acta. Meteor. Sin.* (in Chinese) [封国林、龚志强、支蓉、周磊 气象学报 [已接受]
- [13] Tsonis A A, Roebber P J, Elsner J B 1998 *Geophys. Res. Lett.* **25** 2821

Scale analysis of global temperature based on correlation matrix theory^{*}

Zhi Rong^{1,2)†} Gong Zhi-Qiang^{1,3)} Zheng Zhi-Hai^{1,2)} Zhou Lei²⁾

¹ College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

² Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

³ Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 10 July 2008 ; revised manuscript received 13 August 2008)

Abstract

A temperature correlation matrix is constructed by NCEP/NCAR reanalysis temperature data of 1948—2005, and the 99% confidence test is used to filter out correlation 'noise'. We smooth the temperature data with step = 5 d, 10 d, ... and construct correlation matrixes, and find that 365—730 d maybe a turning of time scale of temperature. Global average correlation coefficient \bar{C}_{global} increases along with step size, but the rate is slower and slower. The positive correlation center (162.5°W—77.5°E, 7.5°N—12.5°S) (Area I) and the negative correlation center (157.5°W—32.5°E, 27.5°—47.5°N) (Area II) are the two areas we concern with, there is strong negative correlation between them. With the help of a 10a slipping window, we find that those 10a \bar{C}_{global} had an abrupt change between 1981—1987a, and so did Area I and II. The points of strongest negative correlation on the North Pacific Ocean have been changing from 1948 to 2005.

Keywords : temperature, correlation matrix, time scale, abrupt change

PACC : 9260X

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40675044) and the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2006CB400503).

[†] E-mail : z_rongphy@126.com