

近 100 年全球温度场中的年代际振荡

严中伟

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 利用小波分析, 指出全球温度资料场中最重要的振荡尺度为: 准 2 年、4~5 年、近 22 年以及大于 50 年。对后两种尺度振荡的分布特征进行了比较研究。从振荡强度的地理分布发现: 北半球大洋区副热带到中纬一带年代际和更长尺度振荡信号较强, 位于西边界的大西洋湾流和太平洋黑潮附近尤其突出, 可能表明与海洋环流系统变化有关。比较我国区域和北太平洋一些区域的 22 年振荡发现: 本世纪早期信号较强, 各区域同位相; 后期减弱, 位相也逐渐错开。利用近 100 年太阳活动资料分析发现: 22 年尺度的振荡的确在 50 年代后减弱, 但其与气候变化是否有关仍有待深入探索。

关键词 全球温度距平场 小波分析 年代际振荡 太阳活动

1 引言

近 100 年来全球变暖已是不争的事实。然而, 温度并非线性增长, 而是伴有多种尺度的振荡。这些振荡有时会妨碍人们正确判断气候变化。例如, 60 年代前后北半球许多地区的降温, 曾使人们产生“小冰期又将到来”的疑虑。而那些具有很大大区域性差异的不同尺度的变化, 的确对全球气候变化格局起着重要作用。例如, 同样伴随着剧烈的全球变暖, 北大西洋区域 20 年代出现了增温而 80 年代则出现了降温, 这一区域性现象的影响甚至可能波及到包括我国在内的低纬夏季风区域的气候变化^[1]。因此, 分析全球温度场中不同尺度变化的分布, 有助于正确理解全球变暖背景下的不同区域气候变化, 也是完整认识全球变暖过程的一个基础。

从几年到几十年尺度的振荡在新近推出的国际气候变率研究规划 (CLIVAR) 中得到特别的重视。以往有很多工作都注意到了区域气候序列中的多种年际和年代际振荡。但仅由局地资料出发, 不利于把握全球性的关键问题, 甚至会由于个别资料本身的问题而导致片面性认识。由全球统一的资料场出发, 来研究不同尺度变化, 是理想的做法。过去由于全球统一处理的气候资料较少, 且资料质量问题较多, 使这方面工作受到很大限制。

本文将在最新的一份全球温度场资料的基础上, 利用 Mann-Kendall 检验来探讨近 100 年变温趋势的全球分布特征; 利用小波方法, 分析若干在全球平均变温过程中仍有突出表现的多年尺度振荡信号, 并从其地理分布上来讨论一些区域气候变化的原因或联系。

1998-05-28 收到, 1998-07-28 收到修改稿

本工作得到国家科技攻关项目“短期气候预测系统研究”和中国科学院重大项目“亚洲季风变迁及全球变化”的资助

2 全球温度场资料及其中的线性趋势分布

基本资料是全球 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度格点的相对于 1961~1990 年平均气候状态的温度距平场。它由两部分资料合成：其一为 Jones^[2] 等人发展的主要基于陆面气温观测的格点资料；其二为 Nicholls 等人^[3] 发展的海表面温度格点资料。在海洋上应用海表面温度，是因为海洋上众多船舶观测的气温误差较大。这套资料是近年来 IPCC 报告中一直沿用并将在今后继续延拓的唯一一份全球性的温度资料。陆地和海洋观测的合并，大大提高了全球资料覆盖率，为本文研究气候变化的地理分布提供了条件。这套资料的质量检验和应用等情况在文献[4~6]中都有详细阐述，可以认为是目前所能得到的最好的全球气候资料之一。

最新的资料时间序列从 1851 年 1 月到 1996 年 12 月，共计 146 年 1752 个月值。但鉴于早年资料的地理覆盖率很小，本文将只考虑近 100 年（即 1897~1996 年）具有 60% 以上月观测率的那些区域。作为比较，还将对近 80 年来这些区域做类似分析。在每个资料格点上，首先用各月的气候平均代替缺测值，然后把每年的 12 个月值平均得年值，构成年分辨率的全球温度场。由于偏冷的早年记录缺测较多，这一处理可能会减小关于近 100 年增温趋势的估计。但不至于从根本上改变原资料场中固有的多年尺度振荡信号。

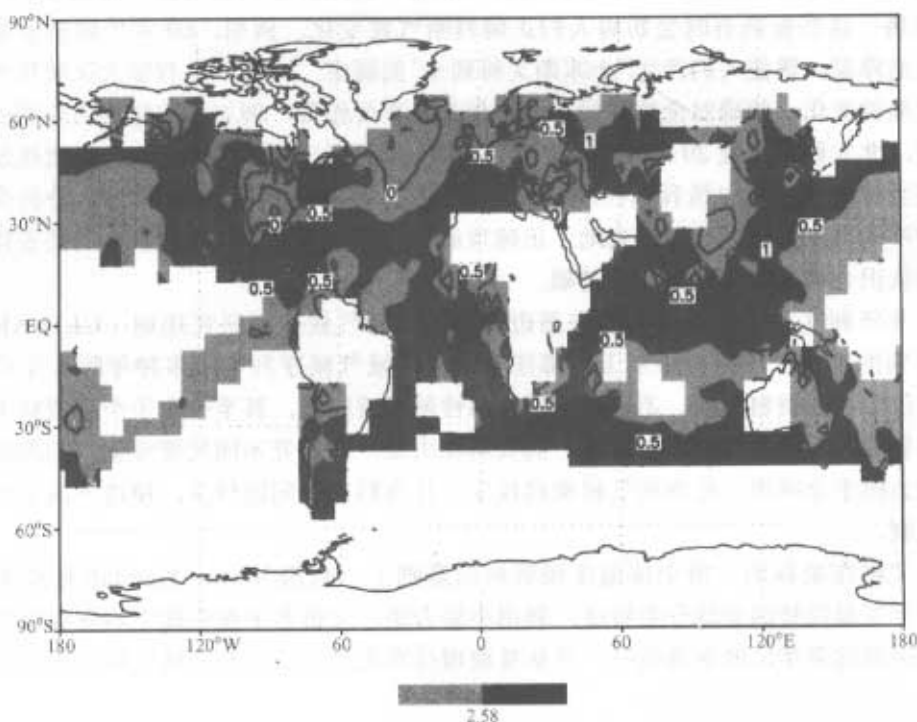


图1 1897~1996 年全球温度增长率（单位： $^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ ）分布
阴影区为所考虑的资料覆盖范围，加黑阴影区的 Mann-Kendall 趋势检验值超出 1% 信度临界值

我们首先来看看近 100 年全球温度线性趋势的分布情况。为判断趋势的显著性, 我们同时计算了各序列的 Mann-Kendall 趋势检验值^[7]。图 1 中的阴影区表示我们计算时所考虑的资料覆盖范围, 加黑的阴影区则标志着该区域有显著的温度增长或下降趋势。

由图 1 可见, 全球大部分地区近 100 年出现了 0.5°C 的增温, 这和 IPCC 报告对全球平均增温幅度的判断相符。南半球除太平洋外, 有资料的区域大都显著增温, 鉴于南半球主要为海洋环境, 其稳定增温趋势可能预示着某种大尺度不可逆的强迫作用。低纬印度洋大范围显著增温。最近的分析表明, 在全球范围内, 与全球平均热变化最大相关区就在热带印度洋, 说明这一地区的温度变化对全球变化有一定的指示意义。显著增温区还出现在北太平洋的环大陆区域以及部分内陆地区。除了部分欧亚内陆地区外, 大范围的强烈增温 ($>1^{\circ}\text{C}$) 出现在西北太平洋近大陆带。与全球增温形成反差的是, 北大西洋北部出现了降温, 该区域在全球变化过程中的特殊性自古以来不乏其例。如著名的发生在末次冰期极盛期到全新世之间全球变暖过程中的剧烈变冷事件 Younger Dryas。同位于大地形东面的美国东南部和中国南方也有所降温, 这一点是否与大地形有关, 还有待于更多分析来确定。

就我国气候而言, 由于上述变温结构不利于东亚夏季风系统的发展 (沿岸海陆差异减弱), 区域降水可能减少。事实上, 近几十年来我国夏季南来的湿润气流的确有所消退, 而北方地区的干旱化则更是已引起社会各界关注。显然, 分析全球变温结构对于进一步认识我国区域气候变化是有益的。

3 全球平均变温过程中的主要振荡

为减少长期趋势对有限序列小波分析结果可能产生的影响, 先去掉了各资料点序列中的线性趋势。根据以往工作经验, 不同地区气候变化的振荡特征有所不同。本文考虑那些在近 100 年全球平均热变化中起重要作用的多年尺度振荡信号。在做全球平均之前, 对各资料点的时间序列进行了标准化处理, 以保障不同区域固有的振荡信号能等权地参与比较。

本文所用的 Morlet 复值小波函数, 在近年来的气象分析应用中效果良好^[8]。利用复值变换, 可以同时了解序列中振荡信号的强度和位相。这对我们比较不同区域振荡的可能联系是有效的工具。但这一节只考虑全球平均序列中振荡信号的平均强度。为此, 先在全球平均温度序列的各时间点上求得不同尺度小波谱值, 然后随时间求得平均谱值。图 2 给出近 100 年和近 80 年全球平均变温过程的平均小波谱分布。由于序列做了标准化处理, 谱值只有相对大小意义。又考虑到计算时的序列边界截断问题, 我们所取小波的最大尺度为时间序列长度的一半。

由图 2a 可见, 全球平均而言, 50 年以上尺度的长期振荡信号仍然占有很强地位 (由于序列长度限制, 没有计算更长尺度上的小波谱)。最强信号出现在 4~5 年尺度。这个介于年际和 10 年际尺度的信号可能与 ENSO 现象有关。两年尺度的振荡也有较大强度, 由于序列分辨率等原因, 我们将另文讨论这种短期尺度的振荡信号。在 4~5 年和 50 年之间的波谱段上, 一个相对较大的信号出现在 22 年尺度。过去有不少研究把此尺度振荡与太阳黑子结构变化的同尺度振荡相联系^[9]。且不论太阳黑子活动是否对地球

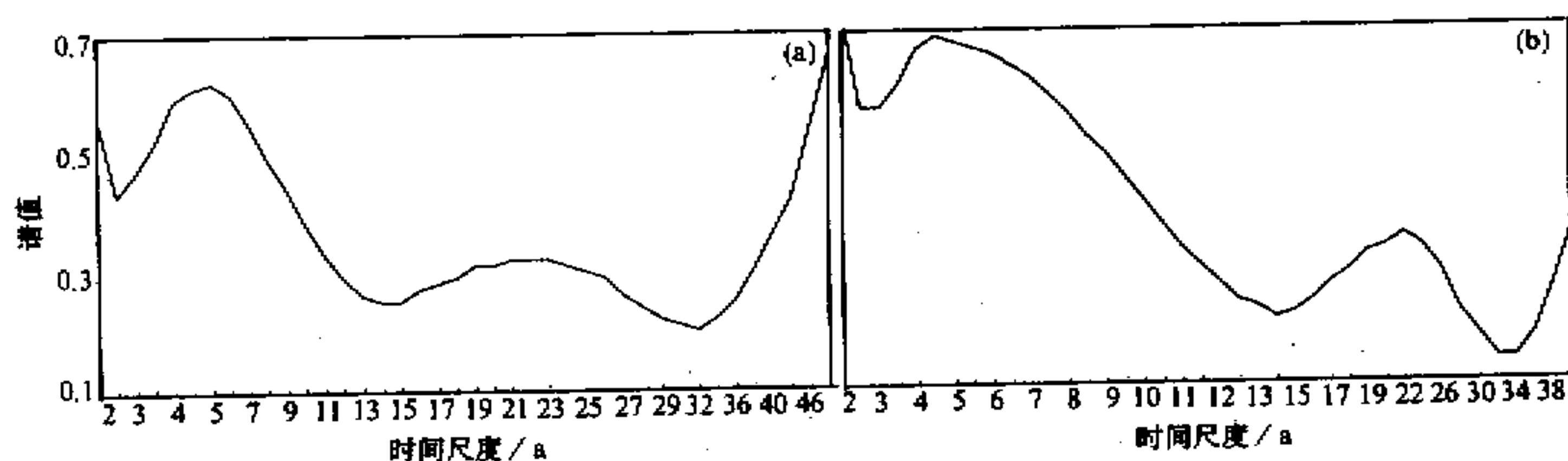


图2 1897~1996年(a)和1917~1996年(b)标准化全球温度距平序列的平均小波谱

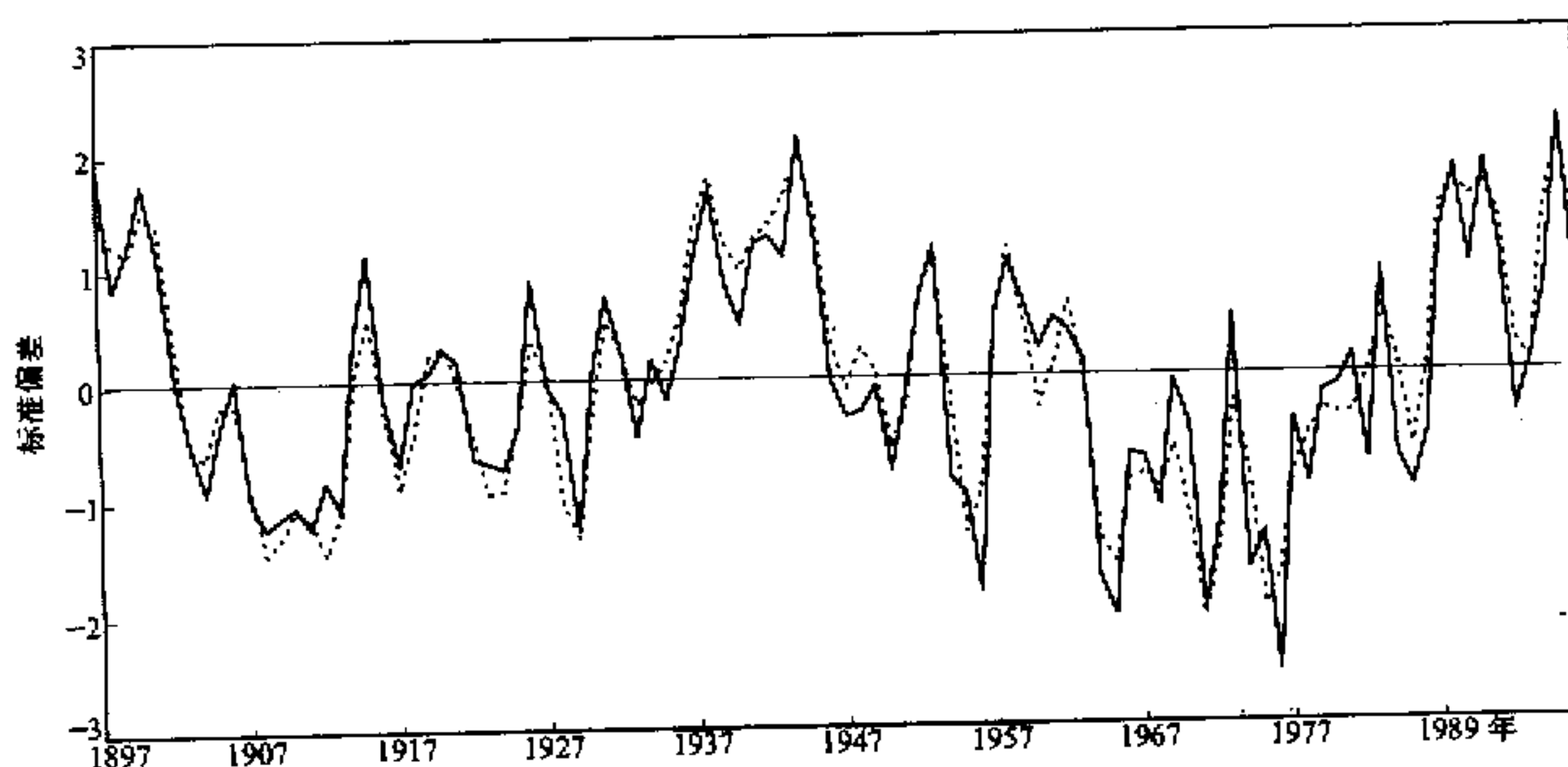


图3 1897~1996年标准化全球平均温度距平序列(粗线)及其主要波谱分量合成序列(细线)

气候有重要影响, 22年振荡的确在全球热状况变化中占有一定地位。

对近80年资料做同样分析, 有助于判断早期补插资料对全球变温场中固有振荡的影响。由图2b可见, 近80年的小波谱结构基本维持近100年的结构。40年以上较长尺度的小波分量看来仍然较强, 2年、4~5年和22年尺度的谱峰则更为突出, 说明近100年早期的补插资料对原信号起了一定的光滑作用, 但没有从根本上影响振荡尺度的分布律。

图3给出了由50年、22年和4.5年振荡的小波系数合成曲线及相应的已去掉线性趋势的近100年全球平均温度距平序列。不难看出, 这三个主要振荡信号相当好地拟合了原序列。如果考虑准2年尺度和50年以上尺度的小波分量, 则拟合曲线会更接近原序列。限于本文主题和资料, 我们将只讨论22年和40~50年尺度的振荡问题。

4 全球变温场年代际振荡的分布

考虑到气候变化谱的连续性和实际计算谱的离散性, 仅由单个小波分量谱值不能公正判别各地振荡强弱。下面所提的22年振荡强度是指21、22和23年尺度小波的平均

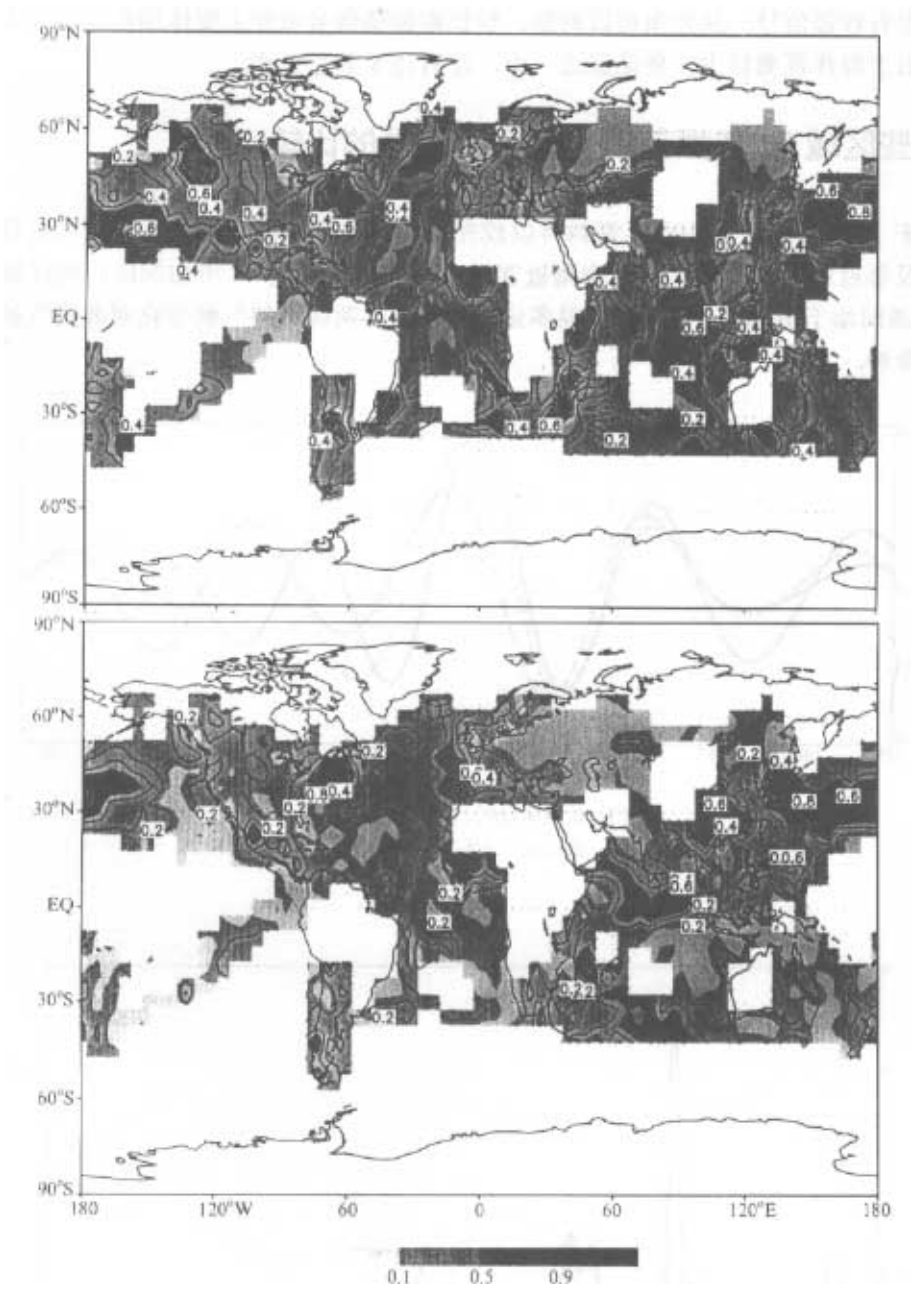


图 4 1897~1996 年全球标准化温度距平场中 22 年 (a) 和 40~50 年 (b) 尺度振荡的强度分布

谱值, 代表年代际波动的强弱; 几十年尺度振荡强弱由 50、45 和 40 年尺度小波的平均谱值代表。

从图 4 看, 年代际振荡最强信号出现在北太平洋副热带到中纬一带。大洋的西边界 (特别是墨西哥湾流区和黑潮区) 附近都分布有较强信号, 似乎表明这一尺度振荡和海洋环流系统变化有特别联系。更长期的几十年尺度的振荡信号仍然在两大洋的西边界附近表现最强, 北太平洋副热带以北一带仍然是强信号所在地, 西非南海岸和近赤道印度

洋地区也有较强信号。从分布可以判断,较长期振荡信号可能主要体现在海洋环流系统中。但由于海洋观测较少,要论证这一点,还有待于其它工作。

5 一些区域 22 年振荡信号和太阳活动的比较

对于 22 年振荡,近 100 年资料可以较完整地描述。所以我们将具有较大信号的我国东部及邻近的北太平洋、菲律宾附近洋域(具体位置见图 4a 中加深区)的区域平均 22 年振荡同绘于图 5,以资比较。很多分析表明,后两区域的气候变化对我国气候变化有重要影响。

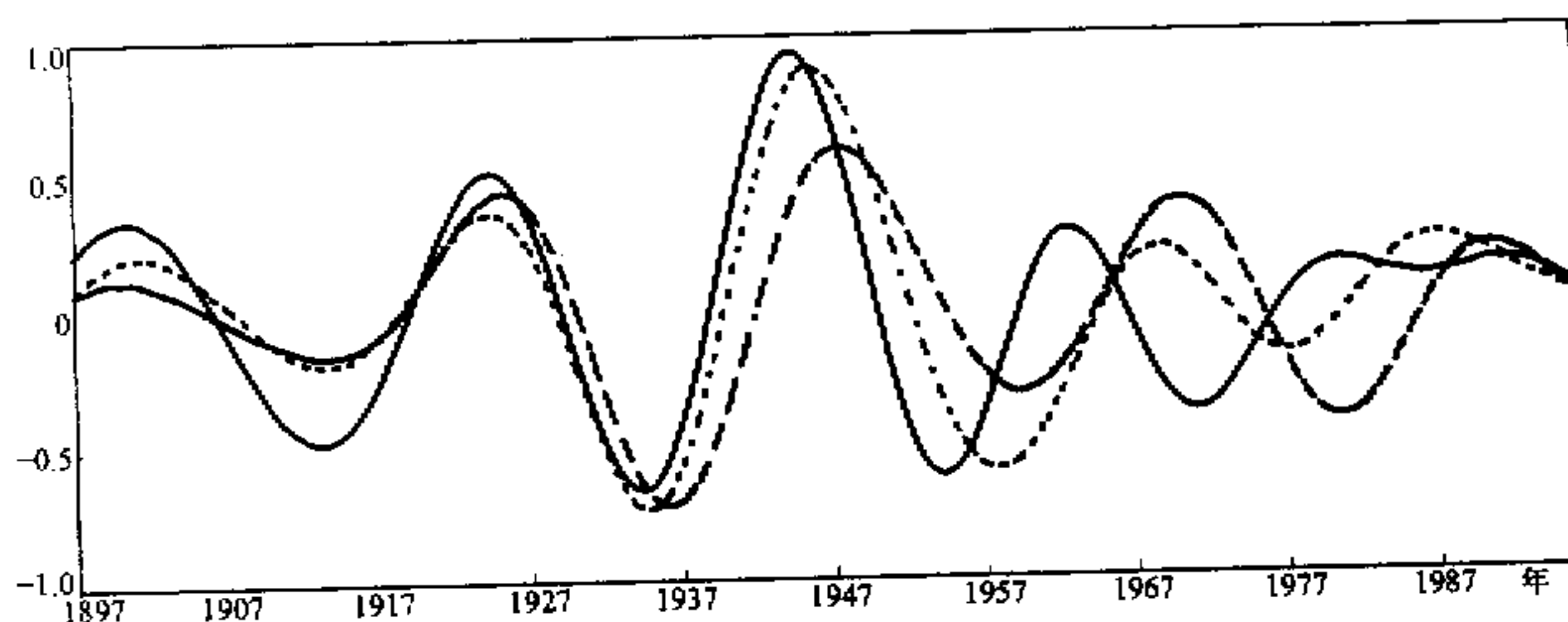


图 5 区域平均的 22 年尺度振荡信号
实线: 中国东部; 点划线: 北太平洋; 点线: 菲律宾附近洋区

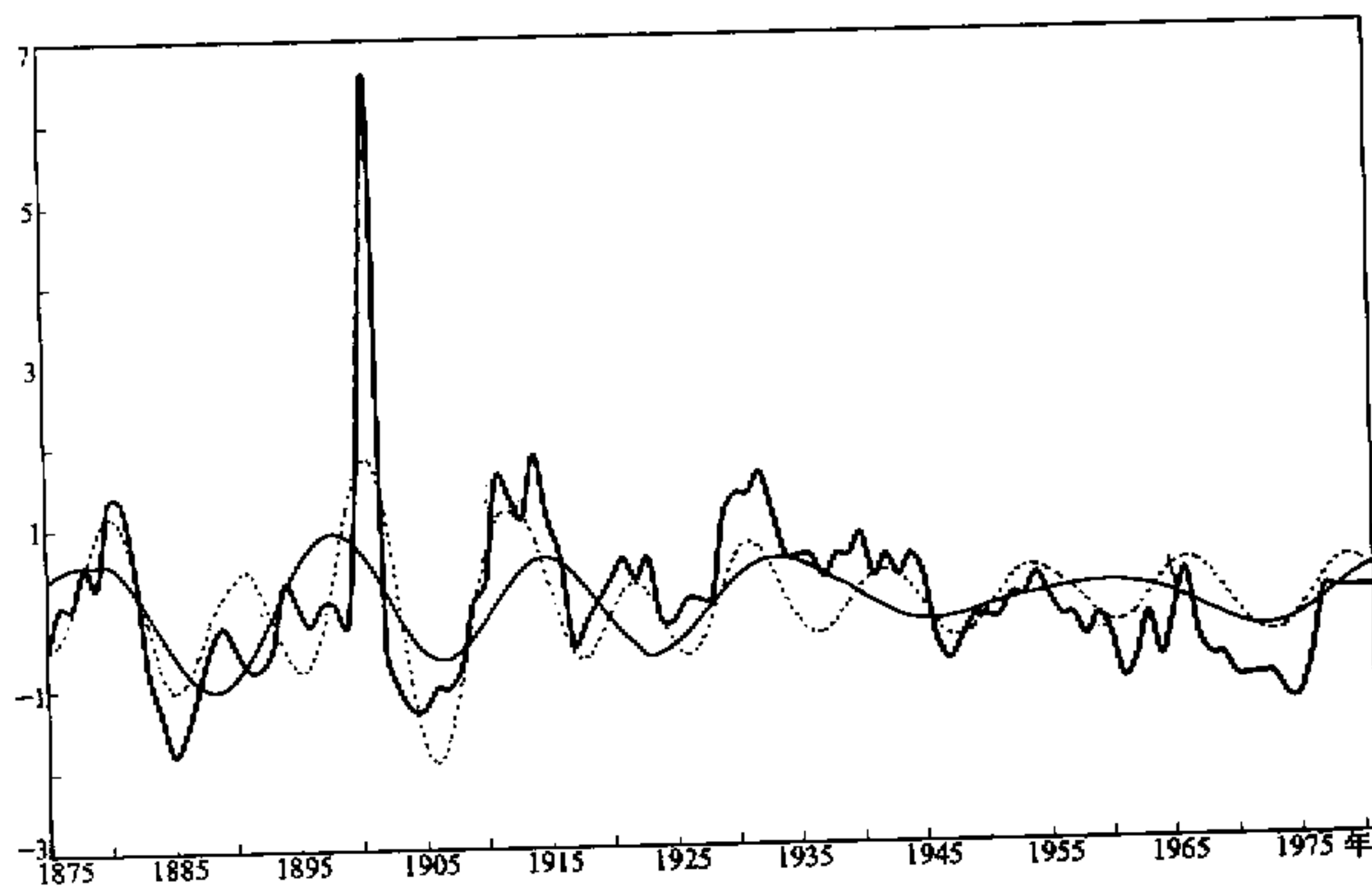


图 6 1875~1981 年太阳黑子暗部比率 (Umbra Penumbra Ratio) 序列 (粗实线)
和其中的 22 年尺度振荡信号 (细实线) 以及太阳活动的另一重要信号 11 年振荡 (虚线)

由图 5 可见一有趣的现象: 早期 22 年振荡很强, 各区域信号近于同相; 50 年代以后各区域位相错开, 信号强度也随之减弱, 我国区域的 22 年振荡趋于消逝。无独有偶, 最近一份关于美国地区降水变化的研究也发现: 准 20 年振荡作为近 100 年多来的主要气候信号, 在本世纪后半叶似趋于消逝^[10]。联想到前面提到的太阳活动在同一尺度上的变化问题, 我们自然要问: 太阳活动是否也存在类似变化呢? HOYT^[11]曾指出本影/半影比 (Umbra Penumbra Ratio) 是表征太阳活动 22 年周期的一个很好的参数。为此, 我们对近 100 年多来该参数序列做了小波分析, 并从中提取出 22 年振荡信号如图 6。

显然, 40 年代以前太阳活动的 22 年振荡还是很清楚的, 但 50 年代以来, 振荡程度减弱。这一变化与图 5 所示的区域气候变化出人意料地相似。需要指出: 太阳活动与图 5 中的气候变化并非存在确定的位相关系。然而, 即便如此, 我们也不得不重视: 太阳活动这个唯一的一个持续作用于地球气候的外源, 其变化究竟是怎样影响气候的?

6 小结

本文首次利用 Mann-Kendall 检验和小波方法, 分析了最新一份经统一处理的全球温度资料场中长期趋势和多种尺度振荡信号的地理分布特征, 获得了一些过去基于全球平均或局地气候资料的工作所难以获得的认识。主要结论如下:

(1) 在全球大部分地区近 100 年来出现 0.5°C 增温的同时, 北大西洋北部、北美和中国内陆出现了不显著但较大范围的降温。北大西洋降温现象是否与海洋温盐环流有关, 有待研究; 后两区域都位于大地形的东面, 其特殊性也值得关注。西北太平洋出现大于 1°C 的强烈增温, 造成近海地区夏季海陆差异变小, 应是近几十年来我国夏季风消退、北方干旱化的一个大尺度背景。

(2) 在全球热状况变化中有重要地位的振荡尺度包括: 准 2 年、4~5 年、近 22 年以及近 50 年。后者可能大于 50 年, 但限于本文资料序列长度, 没有确切计算; 4~5 年和准 2 年振荡应与 ENSO 现象相联系, 限于资料分辨率, 我们将另文分析。北半球大洋区副热带以北一带的年代际和更长尺度振荡较强, 位于西边界的大西洋湾流和太平洋黑潮附近尤其突出, 说明较长期气候振荡与海洋环流系统变化有密切联系。

(3) 在 22 年尺度上, 太平洋域和我国东部均存在较强信号, 早期信号尤其强, 且同位相; 50 年代后位相错开, 强度均减弱。美国地区的气候变化也显示了类似趋向。引人注目的是, 在表征太阳黑子结构变化的参数记录中也出现了类似变化。近年来随着对中长期气候变化的日益重视, 一些国际气候规划中已比以往更多地提及太阳活动影响。太阳活动如何对地球气候产生影响, 的确应引起我们高度重视。

致谢 叶笃正院士与作者就本工作有过多次讨论, Phil Jones 和 Sonja Jones 博士为作者提供了基础资料及详尽解释, 谨致谢。

参 考 文 献

- 1 严中伟、曾昭美, 1996, 本世纪两次增温跃变的比较分析, 中国气候灾害的分布和变化, 黄荣辉等主编, 北

- 京: 气象出版社, 277~283.
- 2 Jones P. D., 1994, Hemispheric surface air temperature variations, a reanalysis and an update to 1993, *J. Climate*, 7, 1794~1802.
 - 3 Nicholls N. G., Gruza V., Jouzel J. et al., 1996, Observed climate variability and change, *Climate Change 1995: the Science of Climate Change*, Houghton J. T. et al. Eds., Cambridge Univ. Pr., 133~192.
 - 4 Jones P. D. and K. R. Briffa, 1992, Global surface air temperature variation over the 20th century, Part I: spatial, temporal and seasonal details, *The Holocene*, 2, 165~179.
 - 5 Parker D. E., P. D. Jones, A. Bevan et al., 1994, Inter-decadal changes of surface temperature since the 19th century, *J. Geophys. Res.*, 99, 14373~14399.
 - 6 Jones P. D., T. J. Osborn, K. R. Briffa, 1997, Estimating sampling errors in large-scale temperature averages, *J. Climate*, 10, 2548~2568.
 - 7 R. Sneyers, 1990, On the statistical analysis of series of observations, WMO Technical Note No. 143, WMO No. 415, Secretariat of World Meteorological Organization, Geneva.
 - 8 Weng H. And Lau K.-M., 1994, Wavelets, period doubling and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 51, 2523~2541.
 - 9 Hoyt D. V., 1979, Variations in sunspot structure and climate, *Climate Change*, 2, 79~92.
 - 10 Hu Q., Woodruff C. M. and Mudrick S. E., 1998, Interdecadal variations of annual precipitation in the central United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79(2), 221~229.

Inter-Decadal Oscillations in Global Temperature Field During the Last 100 Years

Yan Zhongwei

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Climate variations of time-scales from years to decades has received increasing attention recently. They behave variously in different regions, thus forming the complexity of global change. Based upon a global grid surface temperature data set, this study tries to recognize the mentioned time-scale signals that are of global significance. The linear trend of temperature change at each grid during the 1897~1996 is extracted at first. Remarkably, the tropical Indian Ocean shows most significant warming under the Mann-Kendall's trend test. The cooling prevailing notably, if not very significantly, in the regions to the east of Qinghai-Tibetan Plateau and to the east of the Rocky Mountains, may indicate some special effect of the large topographic features. The Morlet wavelet analysis of the global mean series show relatively strong variations at the time-scales about 4~5 years, 22 years and 40~50 years. The strongest signals of 22-year-scales occur in the subtropical Pacific. The areas near the Kuroshio and Gulf Stream exhibit strong signals as well. The geographical distribution of 40~50-year-scale variations is similar to that of 22-year-scale ones, but strong signals more concentrate in the northwestern Pacific and Gulf stream. It seems that the inter-decadal or longer time-scale climate variations are related closely to oceanic circulation. Considering their importance to East Asian climate, we examine the 22-year-scale variations in the northern subtropical Pacific, eastern China and the ocean area around the Philippines, where the signals are strong. As in the global mean case, the variations in all the three regions have been strong in the early half of the century and decayed recently. It is interesting that the same time-scale variations exist also in the solar activities and more interesting that they decayed during the late half of this century, too. Although there is no definite relationship in phase between the regional climate changes and the solar activities, it remains to carry out an important research subject how the solar activities impact on climate system.

Key words global temperature anomaly field wavelet analysis inter-decadal oscillation solar activity