

全球变暖的模拟研究及与自然变率的比较

谢志辉¹⁾ 王绍武¹⁾ 蔡静宁¹⁾ 慕巧珍¹⁾ 朱锦红¹⁾ 龚道溢²⁾

(1)北京大学物理学院大气科学系 北京 ,100871 ;

2)北京师范大学资源科学研究所 环境演变与自然灾害教育部重点实验室 北京 ,100875)

摘 要 用 NCAR 公共气候模式 CCM3.6 进行了 1872~1999 年共 128 a 的给定月平均海温强迫下的全球气候变化模拟研究 ,以及给定月平均气候海温强迫下积分 100 a 的全球气候自然变化模拟研究 ,对模拟的全球气温的变化进行了分析 ,发现模式能很好地模拟全球年平均气温的年际变化和年代际变化。模拟的结果可以弥补早期气候观测资料的不足 ,这样 ,就可以用来估算覆盖面完整情况下的全球平均气候变暖趋势。把经过模拟补充的完整覆盖面情况下的百年全球年平均气温变化序列称为第一近似 ,其 1900~1999 年增暖趋势为 $0.87\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,比用 Jones 序列不完整覆盖面得到的气候增暖趋势 $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 要大 ,更接近于 IPCC 报告的上限。实测海温强迫下模拟的气温 ,其 EOF1 为全球一致的趋势 ,其时间系数为向上的变暖趋势 ,反映全球一致性的变暖 ,EOF2 类似于 ENSO 的模式 ,EOF3 类似于 PDO 的模式 ,而气候海温强迫的积分结果 ,则没有全球一致的温度变化。

关键词 变暖趋势 全球气温 覆盖率 模拟 第一近似

The Numerical Modeling of Global Warming and Its Comparison with the Natural Variability

XIE Zhihui¹⁾ WANG Shaowu¹⁾ CAI Jingning¹⁾ MU Qiaozhen¹⁾ ZHU Jinhong¹⁾ GONG Daoyi²⁾

(1) *Department of Atmospheric Science , School of Physics , Peking University , Beijing , 100871 ;*

2) *Key Lab of Environmental Change and Natural Disaster , Beijing Normal University , Beijing , 100875)*

Abstract In this study , the complex climate model CCM3.6 (NCAR community climate model) is used . Given the monthly-mean SST in 1872~1999 , and given the monthly-mean climate SST with the integration time being 100 years , the modeling research on the global climate was carried out . The global surface temperature change was studied . It is found that the model can simulate the inter-annual and inter-decadal change of global surface temperature change . The modeling result could be used to supply the data of poor coverage , especially in the early years , thus the global warming trend could be studied at the 100% coverage . An annual global temperature change index is obtained at the 100% coverage of data supplied by modeling results . As the precision of model and the design of modeling as well as the scheme of modeling have uncertainties , it is thought that the result represents only 'the first approximation ' and can be improved in future . According to the first approximation of global temperature , the global warming trend is $0.87\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$, which is higher than the $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ of Jones Index calculated at the imperfect data coverage . The former is nearer to the top limit of IPCC report . It gives the decadal-mean temperature anomalies forced by observed SST since 1870s and annual zonal-mean temperature anomalies since 1872 . The EOF1 of the temperature anomaly shows the global consistency . Its time coefficient goes up with time and represents the warming trend of global consistency . EOF2 is ENSO-like mode , and EOF3 is PDO-like mode . Nevertheless , the temperature anomalies forced by climate SST fail to show the change of the global consistency .

Key words global warming the global surface temperature coverage modeling the first approximation

在 20 世纪全球气候研究中 ,全球气候变暖是一个重要的问题并取得了长足进展(Houghton 等 , 2001 ; Jones 等 ,2001) ,而在全球气候变暖问题的研究中 ,资料覆盖面是一个重要问题(Madden 等 ,

1991 Jones, 1995, 1998)。而早期覆盖率按经纬网格计只有 20%~40%, 到 20 世纪 80~90 年代, 也只有 70% 左右的网格点是有资料的。Jones (1995) 特别强调, 要想使全球平均温度序列更有代表性, 需要减少样本过少带来的误差。

提高覆盖率主要可以使用 2 种方法:

(1) 使用代用资料: 在陆地上可以使用树木年轮, 其精度可以精确到年, 但是主要反映的是夏半年的温度, 还可以使用冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 资料; 占地表约 70% 的海洋区域, 主要的代用资料是珊瑚。但代用资料也不可能覆盖全球。

(2) 气候模式: 用气候模式来解决覆盖率的问题, 弥补资料的不足。本次研究中试验用气候模式的模拟结果来弥补资料覆盖面的不完整。由于气候

模式是全球模式, 对区域气候的模拟有一定的局限性, 故只分析模拟结果的大尺度特征, 并且称之为第一近似。

1 资料的覆盖率及其影响

以 Jones 资料为例, 其空间分辨率是 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬网格点, 共有 72×36 个网格点, 在计算某年的覆盖率时, 若大于等于 8 个月有资料时就认为该点有值, 有值点除以总点数再乘以 100 得到实际年平均气温的覆盖率, 从图 1 可以看到随着时间的推移, 资料覆盖率基本上是稳步上升的, 二次世界大战期间的资料覆盖率有所下降, 19 世纪末 20 世纪初, 覆盖率只有 20%~40%, 到 20 世纪 80~90 年代, 也只有 60%~70% 左右的网格点是有资料的。

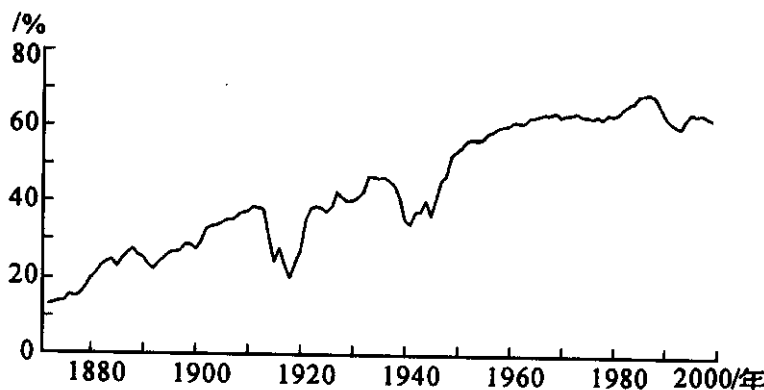


图 1 1872~1999 年 Jones 资料的覆盖率

Fig. 1 Coverage of Jones data in 1872~1999

2 数值模拟方案

使用的模式是美国国家大气研究中心的公共气候模式 NCAR CCM3 (Kiehl 等, 1996), 它包括了完整的物理过程参数化方案。本文中的数值模拟是大气模式单独运行的结果。

模式积分中 1871~1950 年所用的全球海温是全球海洋海冰数据集 GISST2.3 (Reynolds 等, 1994, Parker 等, 1994), 从 1951 年开始用 Hadley 气候预测研究中心的月平均海温分析资料, 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

本次研究中使用的大气初始场没有具体的年份。在实况海温 (1871 年 1 月至 2000 年 12 月) 强迫下, 模拟 1871~2000 年的气候变化, 分析 1872 年 1 月至 1999 年 12 月的 128 a 模拟结果。为了检验

模式的性能和研究自然变率, 在月平均气候海温强迫下, 积分 100 a, 得到 100 a 气候海温强迫下的模拟结果。

3 模拟有效性的检验

为了验证模式对全球温度模拟的有效性, 需要对模拟能力进行检验。从模式对标准气候的模拟能力和模式对陆地、海洋平均温度的模拟能力 2 个方面进行检验。

模式模拟的全球气温具有完整的覆盖率, 而 Jones 序列的覆盖率是不完整的, 为了比较, 仅取与 Jones 有资料格点完全对应的模拟结果得到一个序列, 与 Jones 序列的相关系数和变暖趋势见表 1 和表 2。

从表 1 和表 2 中可以得到以下结论: 全球气候

模式模拟可得出模拟大范围的低频变化。陆地模拟效果比海洋差 ,但也具有较高的相关系数 ,海洋上空有海温强迫的信息 ,而大陆上空的信息也来自海洋 ,其模拟效果自然不如海洋上空气温的模拟。模式模拟的全球变暖趋势在取相同格点的条件下 ,比 Jones 序列的值偏小。

表 1 CCM3.6 模拟与 Jones 序列的相关系数
(模拟资料与 Jones 资料格点完全对应)

Table 1 The coefficient between the data of CCM3.6 simulation and that of Jones 's index(the data grids ore same)

年 代	陆地部分	海洋部分	全球
1900~1999 年	0.633	0.966	0.912
1872~1999 年	0.678	0.972	0.926

表 2 全球变暖趋势
(模拟资料与 Jones 资料格点完全对应)

Table 2 Global warming trend of CCM3.6 simulation and Joes 's index(the data grids are same)

℃ ·(100a) ⁻¹				
序列	年代	陆地部分	海洋部分	全球
CCM3.6	1900~1999 年	0.652	0.623	0.633
Jones 序列	1900~1999 年	0.702	0.618	0.638
CCM3.6	1872~1999 年	0.445	0.425	0.433
Jones 序列	1872~1999 年	0.610	0.467	0.504

4 10 a 平均距平图及时间纬圈平均距平图

由于全球模式的模拟能力主要在大尺度气候变化。图 2 只给出几个 10 a 平均距平图 ,由此可以看出 Jones 序列覆盖面的不足 ,以及用模拟结果补充后的情况。

图 3 给出了观测(Jones)与合成(Composite)的纬向平均气温逐年变化 ,从图上可以看出百年来不同纬度上温度变暖的趋势。

5 百年气温的变率分析及其与自然变率的比较

由于不同的地区变率不同 ,为比较方便 ,所以在进行 EOF 分析之前对各点的序列都进行了标准化处理。对 1900~1999 年在实况海温强迫下模拟得

到的全球温度距平 EOF 的前 3 个空间特征向量进行分析 ,第 1 特征向量占总方差的 34.5% ,第 2 特征向量占总方差的 8.6% ,第 3 特征向量占总方差的 5.4%。

实况海温强迫下模拟得到的全球温度距平第 1 特征向量为全球基本一致的变化 ,第 1 特征向量的时间系数是向上的变暖趋势 ,反映的是全球一致性的变暖 ,只有很少的区域表现出相反的特征。EOF1 的时间系数功率谱值最大集中在低频区间内 ,显示该时间系数也同温度距平序列一样 ,是一个红噪声很强的序列 ,以温度的增暖趋势为主。第 2 特征向量的空间分布在太平洋区域为类似于 ENSO 模态 ,在赤道东太平洋偏南的海区变率最大 ,且表现出东太平洋和西太平洋相反的变化 ,东太平洋和印度洋特别是西印度洋一致的变化。第 2 特征向量的时间系数的功率谱分析表明 ,最主要的周期是 3.4 a 左右 ,可以达到 95% 的信度 ,其周围有一个宽度在 3~7 a 的区域 ,功率谱的值都比较高。第 3 特征向量反映的是类似太平洋 10 a 振荡(PDO)的变化 ,其时间系数的周期在 80 a 周期处达到信度检验。从整个序列的小波分析图上可以看到 20 a 左右的周期变化。从第 4 特征向量开始 ,可能反映的都是模式在没有外界强迫时的自然变化从功率谱分析的结果。也可以看出 ,在气候海温强迫下 ,基本上没有达到 95% 信度的周期存在。

6 第一近似 综合曲线

由于模拟有完整覆盖率 ,因此还可以用模拟的资料补充 Jones 缺测的资料 ,得到一个观测和模拟综合的格点资料 ,进而可以用面积加权平均得到一个新的综合序列 ,称之为“ 第一近似 ”。图 4 给出了第一近似序列及 Jones 的序列。

CCM3.6 的模拟结果是 1900~1999 年和 1872~1999 年全球年平均温度距平变化趋势分别为 0.842℃/100a 和 0.600℃/100a。1900~1999 年和 1872~1999 年百年全球平均气温距平的“ 第一近似 ”全球年平均气温直线趋势分别为 0.872℃/100a 和 0.643℃/100a。需要强调的是 ,1900~1999 年增暖趋势为 0.87℃/100a ,比用 Jones 序列不完整覆盖面得到的气候增暖趋势 0.66℃/100a 要大 ,更接近于 IPCC 报告的上限(Houghton 等 , 2001)。

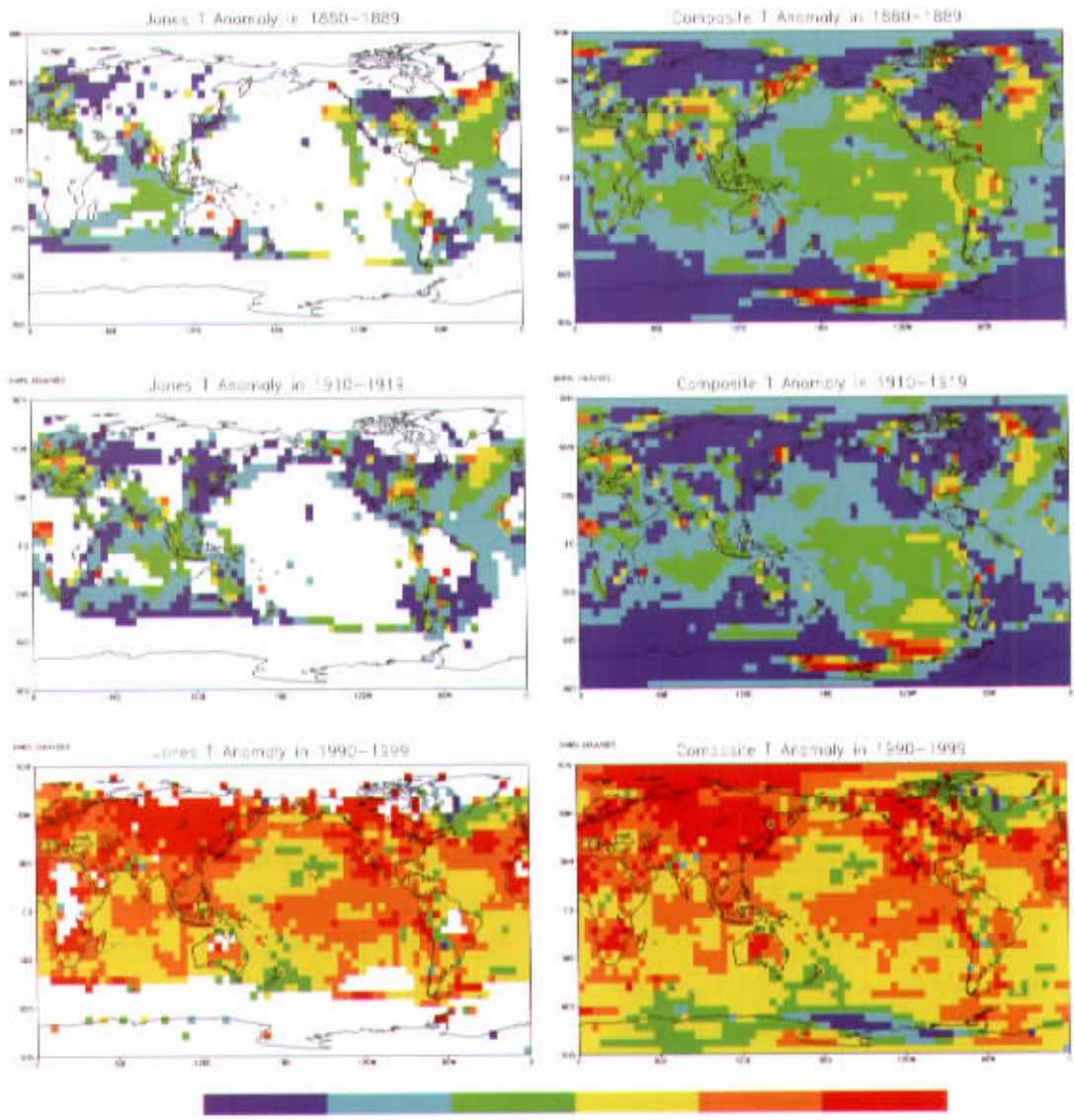


图2 1880年、1910年和1990年全球平均气温观测(Jones)和合成的结果

Fig.2 Observed and composited anomaly of global surface temperature in 1870 ,1910 and 1990

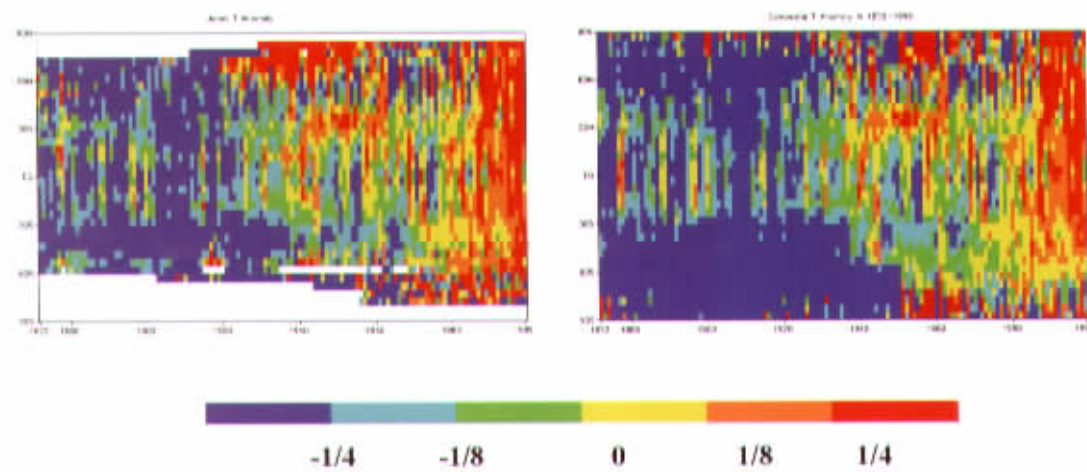


图3 观测(Jones)和合成的纬向平均气温逐年变化

万方数据 Fig.3 Observed and composited annual zonal-mean temperature anomalies since 1872

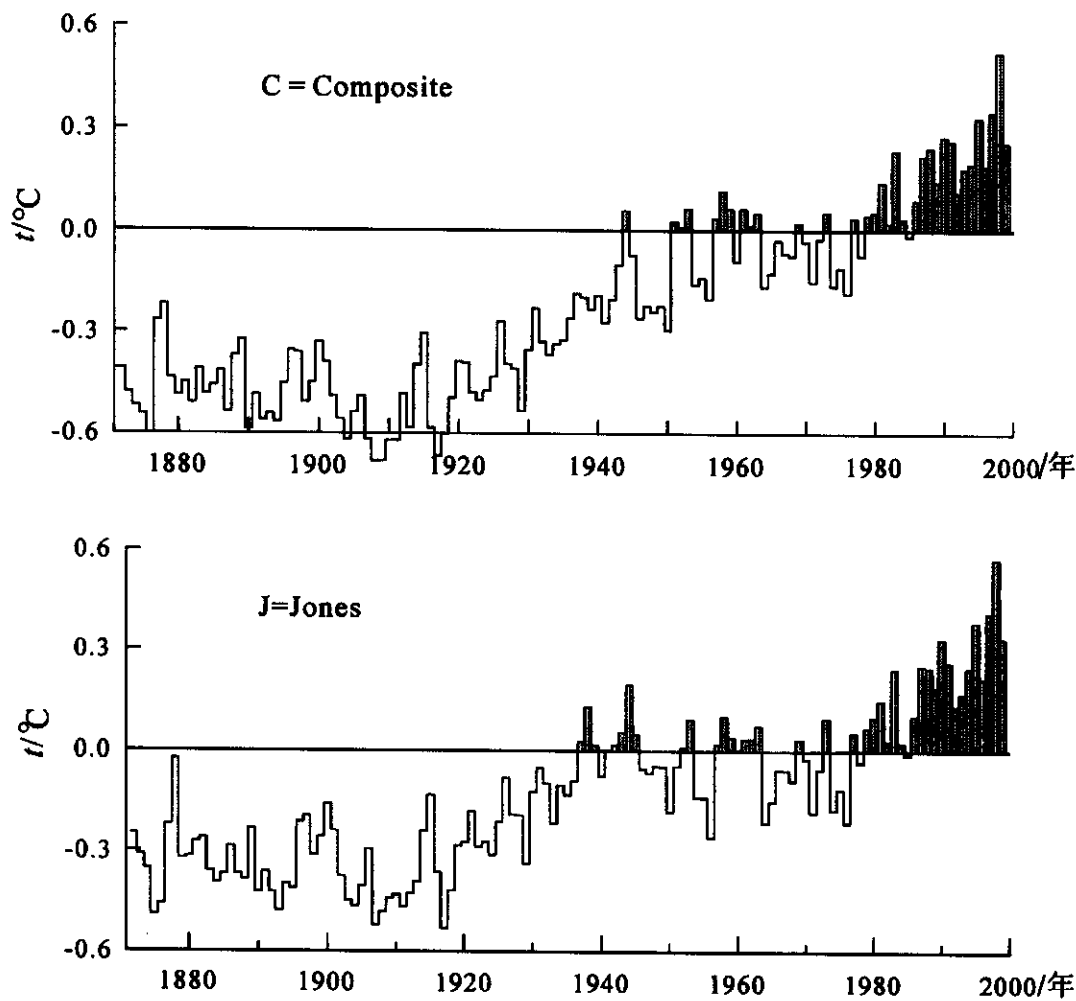


图 4 全球平均气温的第一近似 (C) 和观测 (J) 的序列
Fig.4 The first approximation (C) and observation (J) of global mean surface temperature

参 考 文 献

Houghton J T ,Qing Y ,Griggs D J et al. 2001. Climate change 2001 the scientific basis :third assessment report of the IPCC. United Kingdom and New York :Cambridge University Press ,881.

Jones P D ,Osborn T J ,Briffa K R. 2001. The evolution of climate over the last millennium. *Science* 292 :662~667.

Jones P D. 1995. Land surface-is the network good enough ? *Climatic Change* , 31 :1571~1583.

Jones P D ,Briffa K R ,Barnett T P ,Tett S F B. 1998. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium : interpretation , integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *The Holocene* 8 :455~471.

Kiehl J T , Boville B ,Briegleb B et al. 1996. Description of the NCAR community climate model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR/

TN-420 + STR , Boulder , Colorado.

Madden R A ,Shea D J. 1991. The effect of changing spatial coverage on estimates of the global mean surface air temperature , 350 ~ 354. *Proceedings of Fifteenth Annual Climate Diagnostics Workshop* , 1990.

Madden R A ,Shea D J ,Branstator D W ,Tribbia J J ,Weber R O. 1993. The effects of imperfect spatial and temporal sampling on estimates of the global mean temperature : experiments with model data. *J. Climate* 6 :1057~1066.

Parker D E ,Jones P D ,Folland C K ,Bevan A. 1994. Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.* , 99 :14373~14399.

Raynolds R W ,Smith T M. 1994. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *J. Climate* ,7 :929~948.