

# 全球气候变暖研究中的不确定性

龚道溢<sup>1</sup>, 王绍武<sup>2</sup>

(1. 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;  
2. 北京大学 大气科学, 北京 100871)

**摘要:**讨论了有关全球变暖研究中存在的一些不确定性,主要包括3个方面,即资料方面的不确定性,气候变化机制方面的不确定性和预测方面的不确定性。城市热岛效应是资料中最大的误差来源,特别是一些最近几十年快速发展的城市,其热岛效应的误差没有很好地得到检查和排除。资料覆盖面也很不完善。地面观测温度在1979—1999年的趋势是 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,但覆盖全球的卫星观测资料(反映对流层低层到中层)趋势只有 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。北极地区的温度变化也没有设想的那样强烈。使用海表温度比使用海表气温得到的变暖估计值偏高。1979年以来,用气温代替海温,趋势只有 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。海洋在气候变化中的作用需要更深入地研究。利用代用资料来估计全球温度的变化,带来的不确定性较大,特别是树木年轮,因为 $\text{CO}_2$ 浓度的增加可以加速植物的生长,其年轮宽度并不一定主要反映与温度的关系。未来气候变化的预测有很大的不确定性,到2100年全球平均气温达 $+1.4\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的估计很可能偏高。

**关键词:**不确定性; 气候变暖; 预测

**中图分类号:**P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2002)02-0371-06

近地面观测的温度显示,近一百多年来全球温度有强烈的增暖,线性趋势达到 $+0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 。在观测的记录中,1998年是有观测记录以来全球温度最高的一年,温度距平达到 $+0.57\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1~3]</sup>,20世纪90年代是近百年最暖的10年。许多代用资料建立的长序列则表明,不仅1998年是近千年来温度最高的一年,而且整个20世纪也是近千年来最暖的一个世纪<sup>[4]</sup>。许多的研究把人类活动造成的 $\text{CO}_2$ 增加,看成是造成全球变暖的主要原因。不过,长期以来对此就有不同的观点,不仅是对变暖的原因,还包括变暖本身都有争议<sup>[5]</sup>。当然,全球气候变暖研究中的确还存在许多的不确定性,有些方面的不确定性还相当大,因此,要想更好地理解全球变暖及其原因,有必要了解这些不确定性。本文从几个不同方面对此进行讨论。

## 1 资料中的不确定性

资料中最大的问题是城市热岛效应的影响。目前所使用的地面温度观测记录大部分都是来自大城市。而随着城市的发展,热岛效应必然会造成长期的气候序列产生系统的偏差。如何合理地排除这部分误差,尚无满意的结果。一些全球平均温度序列都是由全球数千个观测站结果处理而来,严格意义上来讲,只有那些位于郊区或乡村的观测才能直接使用,而在城市中的资料都可能不同程度地受到了热岛效应的影响。目前还没有任何一种方法可以对每一个测站都进行热岛效应的检验和订正。例如有些研究指出,很多情况下,对北美一些大城市热岛效应的估计可能过低<sup>[6]</sup>,因此造成订正后的结果也是温度偏高。而且由于各个国家和地区的经济和城市的发展水平有很大的不同,也给统一的订正造成极大困难。比如,我国北方的许多城市的观测气温近几十年来都有非常迅速的变暖,如果这种变暖完全是由于全球变暖造成的,那么相隔不远的两个站的温度的差值应该保持稳定。但是实际上情况不是这

收稿日期:2001-06-27; 修订日期:2001-12-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40105007); 国家重点基础研究发展规划首批项目(G1998040900)资助

作者简介:龚道溢(1969—),男,博士,主要从事气候诊断分析与全球变化研究。E-mail:gdy@pku.edu.cn

样,例如北京与规模相对较小的承德市,年平均温度在 1980 年代以来异常偏高,上海与屯溪的差值也是如此,见图 1。这说明自从改革开放以来,我国大城市的快速发展造成的热岛效应已经对其温度观测记录造成了深刻的影响。如果初步将他们的温度差值的增加看成是热岛效应的贡献,除去之后,则北京和上海观测气温近来的快速上升趋势就会大大地下降。在 Jones 和 Hansen 等的全球温度数据中,对一些测站由于城市化造成的热岛效应的影响有一些控制和检验措施,如果热岛效应是长期存在缓慢增加的话,情况还好处理一些,但是如果只是在最近的几十年中才特别明显,像中国的许多城市一样,则很难单独进行处理和剔除。

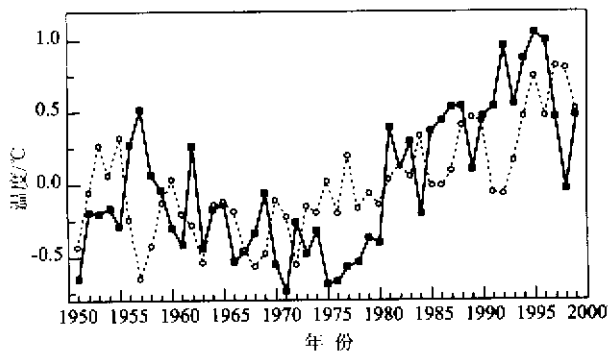


图 1 几个大城市与周围较小城市年平均温度的差值

Fig. 1 Annual temperature difference between the big cities and the relative small cities  
实线是北京与承德气温的差,虚线是上海与屯溪的差,都已经处理为对整个序列平均的距平值

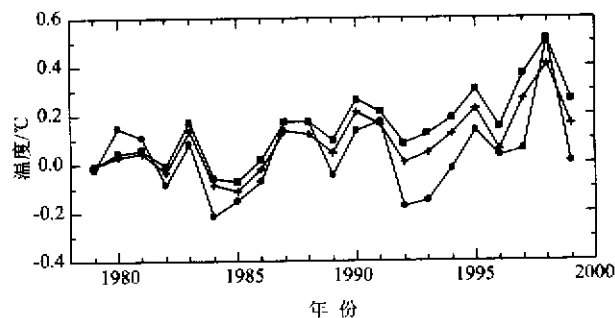


图 2 不同的温度资料体现出来的趋势差别

Fig. 2 Temperature trends revealed by the different data sets  
“■”代表陆地气温和海表温度,“+”代表陆地气温和海面气温,  
“●”代表卫星观测气温

观测资料覆盖面的不足也是一个大的问题。近百年以来比较好的有连续观测资料的台站,其覆盖范围大致上只占整个地球表面积的 18% 左右。即使是现在覆盖面大大改善后,在极地和海洋地区的观测仍然是明显不足。

目前的全球温度序列是根据陆地的观测气温和

海洋表层温度来计算的,而海洋表层温度和海面气温是有差别的。Christy 等<sup>[7]</sup>最近做了一个试验,比较了用海表温度和海面气温可能造成的误差。结果发现,如果不用海表温度(SST)而改用海面气温,1979 年到 1999 年期间全球平均温度的线性趋势下降到了 0.13 °C/10 a,比用海表温度序列的同期全球温度趋势(0.19 °C/10 a)有显著下降,幅度高达 32%(见图 2)。

代用资料估计温度的长期变化,也存在很多的不确定因素。在众多代用资料中,只有根据雪线和钻孔地温廓线反演的地表温度误差最小,在 0.5 °C 以内,其他的代用资料误差都较大。通常使用最多的是树木年轮,不过根据树木年轮重建的气温和地温廓线反演的地表温度之间有明显的偏差(见表 1)。根据钻孔温度反演的地表温度变化,要比用树木年轮重建的温度变化幅度大,工业革命后的 1960—1991 年平均值比工业革命前的 1500—1700 年平均值要高出约 0.8 °C。考虑到前面的一段时期正好处于小冰期,所以这个量级的升温看起来也比较合理。而用树木年轮重建的温度,升温的幅度只有大约 0.33 °C,二者间相差 0.47 °C,这个数值与近百年来的全球增温属一个量级。Mann 等<sup>[4]</sup>利用树木年轮重建了公元 1000 年以来的平均温度序列,不过在这个千年序列中,中世纪暖期和小冰期都不明显,只是从 19 世纪后期以来气温有强烈的上升趋势。Mann 等的解释是小冰期和中世纪暖期可能都是局地现象,因此做了半球或全球平均后就不明显了。对此是有很大争议的,Broecker<sup>[8]</sup>专门在《科学》杂志上撰写了一篇文章,指出近千年中的一些特殊气候时期和事件的尺度是全球性的。而且在整个全新世中全球气候存在 1500 a 左右的自然周期波动,最近的温度上升很可能是这种波动的表现。

表 1 不同作者和资料反映的工业革命后与工业革命前的平均温度的变化

Table 1 Different warming during the industrial periods induced from the proxy data

作者	年份	温度差 C	资料	文献
Overpeck 等	1997	0.9 *	钻孔温度	[9]
Huang 等	2000	0.9 * *	钻孔温度	[10]
Harris 和 Chapman	2001	0.7 * *	钻孔温度	[11]
Crowley 和 Lowery	2000	0.3 * *	树轮	[12]
Mann 等	1999	0.3 * *	树轮	[4]
Jones 等	1998	0.4 * *	树轮	[13]

\* 1960—1991 年平均减 1500—1600 年平均, \* \* 1960—1991 年平均减 1500—1700 年平均

近来有研究指出,利用树木年轮的宽度重建过

去的温度,可能并不能真正反映温度的变化,因为植物的光合作用对大气中  $\text{CO}_2$  的含量很敏感,近百年来树木年轮宽度的增加可能是植物生理特性对  $\text{CO}_2$  的响应。只有  $\text{CO}_2$  与植物的生长之间的关系保持稳定,那么重建的气候序列才是可靠的,实际上这种关系是随时间在不断变化的,后果是造成木材的加速生长,而目前的重建研究中没有考虑到这一点<sup>[14,15]</sup>。木材的密度对此可能不敏感,如果不用宽度而使用木材的密度,则会有不同的结果。Briffa<sup>[16]</sup>曾用了北半球近 400 个地方的密度年表,重建的温度序列并没有反映出近百年来有非常强烈的变暖趋势。这与 Mann 等<sup>[4]</sup>的结果形成了很大的反差。

## 2 机制的不确定性

模式和理论研究表明,如果由于温室气体增加造成的全球温度变暖,在高纬度地区将最为突出,尤其是北极地区温度强烈上升。根据观测资料,北半球高纬度地区( $55\text{--}85^\circ\text{N}$ )的温度上升趋势在 20 世纪 20~40 年代期间,比 70 年代以来更强烈,近期的平均温度也只是大体与 30 年代的水平相当<sup>[17]</sup>。而 Pryzbylak<sup>[18]</sup>使用了更能反映北极的观测台站资料( $70\text{--}85^\circ\text{N}$ ),其资料只用到 90 年代初,结果表明从 40 年代开始,温度一直在下降,即使是从 80—90 年代初,温度也没有很明显的变暖趋势。其他的不同来源的资料也证实了这个结论<sup>[19]</sup>。如果包括更低纬度的地区(到  $55^\circ\text{N}$ ),在最近的 30 年中,就会出现约  $1.5^\circ\text{C}$  的变暖,因此,温度的上升更主要的是中纬度地区而不是北极。而中纬度(尤其是亚欧大陆地区)的地面温度与大气环流有非常密切的关系,其温度的明显改变并不一定完全是反映出温室效应的结果<sup>[20~23]</sup>。

根据模式模拟的结果,如果温室效应在温度变化中是居于主导地位,那么近百年来由于  $\text{CO}_2$  的增加,全球平均温度应该已经上升了大约  $1^\circ\text{C}$ 。不过实际观测资料的结果并没有这样大,一个方面可能是模式本身的问题,也可能是气候系统还有其他的过程在起作用,尤其是有巨大热容量的海洋。Levitus 等<sup>[24]</sup>发现全球几大洋 3 000 m 厚的上层海水从 1955 年到 1995 年所储存的热量增加了  $2 \times 10^{23}$  J,温度增加了  $0.06^\circ\text{C}$ ,这相当于地表有净的  $0.3 \text{ W/m}^2$  的热量通量。因此一些人认为全球气候模式模拟的

温度变化在 70 年代以来高于实际观测结果,是因为模式中没有考虑到这些进入海水中的“额外”热量。如果模式中这些热量通过某种机制进入海洋中,那么模拟结果会有很大的改善。不过,相对大气来说,海洋是非常稳定的流体,上部暖而轻,下部冷而重,因此没有很强的类似大气中的对流。这些“额外”的热量如何进入上层海洋的呢?并不清楚,因为海洋温度的升高并非由大气的加热所引起,太阳辐射最多也只能到达表层 100 m 的深度,而且表层海水是通过与大气的能量交换达到热量平衡的,而不是与更深层次的海水。这些都无法解释上层和中层海水的温度上升。近来强调大洋温盐环流的作用,不过其时间尺度与最近的气候变化并不匹配。观测资料显示近几十年来海水表层的温度也大致经历了两次明显的增温,一次在 20 到 40 年代,另外一次是从 20 世纪 70 年代后期以来。但是海水中热量的增加总是超前海表温度的变暖。海洋中增加的热量什么时候,以何种形式释放出来呢?都还不清楚。有人估计可能会在 21 世纪,所以在做未来气候预测的时候,这些热量释放到大气中后会加剧全球温度的上升趋势。

卫星观测、探空气球和地面观测结果存在明显差别的事实,已经引起人们的极大关注。由于对流层通常被看做充分混合的气层,因此,整个气层中从低空到高空的温度变化应该有很好的 consistency。 $\text{CO}_2$  增加气候变化的模拟研究中也说明整个对流层应该是一致变暖。从 1979 年 1 月开始,NOAA 卫星搭载的微波探测仪(MSU)可以精确地遥感对流层低层(1 000~8 000 m)的大气温度,精度可以达到  $0.01^\circ\text{C}$ ,而且可以完整覆盖整个地球。MSU 探测的全球对流层底层平均气温从 1979 年到 1999 年期间的线性趋势只有  $+0.06^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ ,如果去掉 1998 年强大的 El Nino 事件的影响,则几乎没有变暖的趋势。Jones 等<sup>[25]</sup>比较了 MSU 与地面观测资料的异同,发现在北美、欧洲、澳大利亚等观测资料比较可靠的地区,二者相当一致。而关系不太好的地区包括了印度洋、东南亚、西非、巴西中部、太平洋一些地区以及西伯利亚东北部地区。显然,这些地区都是缺乏可靠观测资料的地区。MSU 资料的可靠性也可以用探空气球观测的对流层低层气温来作验证,用与 MSU 大体相同的高度,计算的探空观测气温与 MSU 温度几乎完全一致<sup>[26]</sup>。这也从另外一个方面说明 MSU 资料的科学性。由于卫星观测的全

球气温与地面台站观测的气温的趋势相差太大, 不得不促使人们去查明原因。究竟是什么原因造成了二者的差别? 是地面观测气温的趋势有误, 还是卫星观测资料不对呢? 美国国家研究委员会(NRC)专门对此问题进行了研究<sup>[26]</sup>。不过最后的结论是这两种资料都是正确的, 是某种未知的大气物理过程造成了二者的差别。其结论的说服力显得不够充分, 不过至少有一点可以肯定, 最近几十年全球气温的变暖并非象以前认为的那样整个对流层都迅速升温, 而是只出现在近地面非常薄的一层大气中。

从以往的气候历史看  $\text{CO}_2$  与温度的关系, 会发现二者也存在许多的不确定性。最后盛冰期向全新世过渡期间, 从 17 000 aBP 到 11 000 aBP, 温度迅速升高, 同时  $\text{CO}_2$  也增加了 40%, 从  $189 \times 10^{-6}$  增加到了  $265 \times 10^{-6}$ , 但是,  $\text{CO}_2$  的变化要落后于温度的变化, 落后约 800 年<sup>[27]</sup>, 这可能意味着,  $\text{CO}_2$  不一定是气候变化的绝对驱动因子, 而温度的变化则可能是  $\text{CO}_2$  的变化的原因。Fischer 等<sup>[28]</sup> 研究了最近 3 次大冰期结束时的情况, 发现大冰期结束后全球温度的上升同样是超前  $\text{CO}_2$  的增加。与此相类似, 冰期开始时,  $\text{CO}_2$  的减少也落后温度的下降数千年<sup>[29]</sup>。此外, 一些短时段内, 如 D-O 循环或新仙女木事件中, 全球的气温变化也可以达到数摄氏度, 但

基本上是线性的<sup>[30]</sup>。

### 3 预测的不确定性

要对未来气候变化的情景作出可靠的预测目前还存在很多的困难。如果简单地把预测看成是一个从输入到输出的问题, 观测的气候变化是输入参数, 未来的变化是输出参数, 那么, 误差来源有两个, 一个是输入参数。输入参数的信度有多大呢? IPCC 报告中给出了 12 个不同的因子, 包括气温和降水强度等, 目前对这些因子及其变化的科学理解水平参差不齐, “很低”的占 67% (8 个因子), “低到很低”的占 75%, 达到“高”的只有一个因子。另一种误差来源于处理过程。主要是强迫的估计和参数化引起的不确定性造成的。目前各种强迫因子的强度只能给出一个可能的变化范围, 有些因子如气溶胶的间接影响, 其相应的温度响应从  $0 \sim -1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 一些矿物颗粒的响应在  $-0.5 \sim +0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 是正是负甚至都不能确定。把所有的温室气体、气溶胶、土地利用造成的反照率、太阳活动、臭氧等都考虑进来, 则温度的可能响应是一个很大的变化范围, 从  $+3.2 \sim -1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 上下可以相差到  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。这个数值是近百年观测温度变化量的十倍, 与冰期和间冰期气温的变化都大体相当了。基于这种不确定性的估计, 对未来一个世纪气候的预测也当然有很多的问题。IPCC 第 3 次报告作出的预测是, 到 2100 年全球平均气温达到  $1.4 \sim 5.8 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[31,32]</sup>, 为了直观比较, 图 3 中给出了重建、观测和预测的气温。最突出的特点有两个, 一是与过去一千年作比较, 未来的升温幅度是相当大的, 其次一个特点是未来温度变化的可能范围也是巨大的。1995 年 IPCC 第二次评估报告中给出的预测全球温度变化在  $1.0 \sim 3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , 最新的估计比上次的估计偏高了  $1.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , 变化幅度也更大。这也意味着预测的不确定性更大。只有更好地解决了这些不确定性, 对未来的预测水平才有可能得到提高。

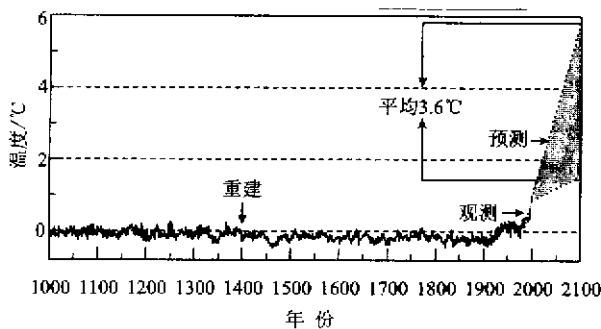


图 3 重建的过去近千年北半球温度<sup>[4]</sup>以及预测的未来 100 年全球温度变化<sup>[31,32]</sup>

Fig. 3 Reconstructed northern hemispheric temperature for the past millennium<sup>[4]</sup> and the projected global temperature during the 21st century<sup>[31,32]</sup>

同期的  $\text{CO}_2$  浓度的变化则少于  $10 \times 10^{-6}$ 。这些特殊时段全球温度的变化与  $\text{CO}_2$  浓度也并没有明显的因果关系。最近一个世纪的全球温度升高, 还没有达到大暖期的程度。而从大暖期以来的长期的趋势变化看, 温度与  $\text{CO}_2$  的关系也并非完全一致。从 8 200 aBP 到 1 200 aBP, 全球的温度是缓慢地在下降, 而  $\text{CO}_2$  则增加了约  $25 \times 10^{-6}$ , 而且这种增加

### 4 结论

(1) 近百年来全球温度的增加主要是接近地表面层的大气的升温, 整个对流层温度并没有相应程度的显著上升。

(2) 考虑到资料中的城市热岛效应、资料覆盖

面、分辨率等的影响,近一个世纪以来的温度变化趋势可能并没有原来估计的那样高。

(3)全球温度变化中气候系统其他成员,特别是海洋发挥了什么样的作用,以及将来会发挥什么样的作用,还不清楚。

(4)基于很大不确定性作出的未来气候变化的预测,可信度相对较低。IPCC 做出的到 2100 年全球温度变化到达 +1.4~+5.8 °C 的估计,很可能是偏高了<sup>[33]</sup>。

## References[参考文献]:

- [1] HOUGHTON J T, FILHO L G M, CALLANDER B A, et al. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* [M]. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 1996. 572.
- [2] JONES P D, NEW M, PARKER D E. Surface air temperature and its changes over the past 150 years[J]. *Rev in Geophysics*, 1999, 37: 173-199.
- [3] HANSEN J, RUEDY R, GLASCOE J, et al. GISS analysis of surface temperature change[J]. *J Geophys Res*, 1999, 104: 30997-31022.
- [4] MANN M E, BRADLEY R S, HUGHES M K. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations[J]. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26: 759-762.
- [5] SINGER S F. Human contribution on climate change remains questionable[J]. *EOS*, 1999, 80(16): 1-2.
- [6] KARL T. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record[J]. *J Climate*, 1988, 1: 1099-1123.
- [7] CHRISTY J R, PARKER D E, BROWN S J, et al. Differential trends in tropical sea surface and atmospheric temperatures since 1979[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28: 183-186.
- [8] BROECKER W S. Was the Medieval Warm Period global[J]? *Science*, 2001, 291: 1497.
- [9] OVERPECK J, HUGHES K, HARDY D, et al. Arctic environmental change of the last four centuries[J]. *Science*, 1997, 278: 1251-1256.
- [10] HUANG S, POLLACK H N, SHEN P Y. Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures[J]. *Nature*, 2000, 350: 756-758.
- [11] HARRIS R N, CHAMPMAN D S. Mid-Latitude (30-60° N) climatic warming inferred by combining borehole temperatures with surface air temperatures[J]. *Geophysical Res Lett*, 2001, 28: 747-750.
- [12] CROWLEY T J, LOWERY T S. How warm was the Medieval Warm Period[J]? *Ambio*, 2000, 29: 51-54.
- [13] JONES P D, BRIFA K R, BARNETT T P, et al. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium[J]. *Holocene*, 1998, 8: 455-471.
- [14] LaMARCHE Jr V C, GRAYBILL D A, FRITTS H C, et al. Increasing atmospheric carbon dioxide: tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation [J]. *Science*, 1984, 225: 1019-1021.
- [15] IDSO S B. A problem for paleoclimatology[J]? *Quaternary Research*, 1989, 31: 433-434.
- [16] BRIFFA K R. Annual climate variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 87-105.
- [17] SERREZE M C, WALSH J E, CHAPIN F S III, et al. Observation evidence of recent change in the northern high-latitude environment[J]. *Climatic Change*, 2000, 46: 159-207.
- [18] PRYZBYLAK R. Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic[J]. *Inter J Climatol*, 2000, 20: 587-614.
- [19] KAHL J D. Absence of evidence for greenhouse warming over the Arctic Ocean in the past 40 years[J]. *Nature*, 1993, 361: 335-337.
- [20] HURRELL J W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere[J]. *Geophys Res Lett*, 1996, 23: 665-668.
- [21] THOMPSON D W J, WALLACE J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. *Geophysical Res Lett*, 1998, 25: 1297-1300.
- [22] THOMPSON D W J, WALLACE J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. *Geophysical Res Lett*, 1998, 25: 1297-1300.
- [23] THOMPSON D W J, WALLACE J M, GABRIELE C. Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends [J]. *J Climate*, 2000, 13(5): 1018-1036.
- [24] LEVITUS S, ANTONOV J L, BOYER T P, et al. Warming of the world ocean[J]. *Science*, 2000, 287: 2225-2229.
- [25] JONES P D, OSBORN T J, WIGLEY T M L, et al. Comparison between the Microwave Sounding Unit temperature record and the surface temperature record from 1979 to 1996: real differences or potential discontinuities[J]? *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D25): 30135-30146.
- [26] NRC (National Research Council). *Reconciling Observations of Global Temperature Change* [C]. Washington DC: National Academy Press, 2000. 85.
- [27] MONNIN E, INDERMULE A, DOLENBACH A, et al. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations over the last glacial termination [J]. *Nature*, 2001, 391: 112-114.
- [28] FISCHER H, WAHLEN M, SMITH J, et al. Ice core records of atmospheric CO<sub>2</sub> around the last three glacial terminations[J]. *Science*, 1999, 283: 1712-1714.
- [29] PETIT J R, JOUZEL J, RAYNAUD D, et al. Climate and

- atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica[J]. *Nature*, 1999, 292:699-702.
- [30] INDERMUHLE A, STOCKER T F, JOOS F, et al. Holocene carbon-cycle dynamics based on CO<sub>2</sub> trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica[J]. *Nature*, 1999, 298:121-126.
- [31] KERR R A. It's official: humans are behind most of global warming[J]. *Science*, 2001, 291:566.
- [32] IPCC. *Climate Change 2001 the Scientific Basis*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 881.
- [33] SCHNEIDER S H. What is "dangerous" climate change[J]? *Nature*, 2001, 411: 17-19.

## UNCERTAINTIES IN THE GLOBAL WARMING STUDIES

GONG Dao-yi<sup>1</sup>, WANG Shao-wu<sup>2</sup>

(1. *Key Lab of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *Department of Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*)

**Abstract:** Uncertainties in the global warming studies are discussed in the present paper. These uncertainties are related to some shortcomings in (a) the data used to establish the global temperature series, (b) the mechanism of global climate change, and (c) the scientific understanding of the observed climate elements, including the variability, the appropriate parametrization, and the reproducing in the climate simulation. Based on those factors, the projection of future climate is made. As to the data, the biggest problem is the urban-heat-island effect in the temperature records, temperature measurements made in rapidly growing cities may be distorted by this kind of human-induced excessive heat. This gives a false impression of long-term warming. Although the urban adjustment is often applied, there are still considerable errors. The thorough correction is very difficult, since there are non-stable urbanization effect all over the world and at all times. For example, the manifestations of false warming appeared in the big cities in China were due to the rapid development and population expanding since the late 1970s. These human-induced temperature increases have not been corrected prior to getting the global means. Another uncertainty comes from the uneven coverage in surface temperature records. In the polar regions and in the vast areas of the oceans there are still lack of proper measurements. While the surface record was registering a global warming of 0.19 °C/10 a between 1979 and 1999, the satellite Microwave Sounding Unit (MSU) record was showing a quite different trend (0.06 °C/10 a) for the same period. There are significant difference between the sea surface temperature (SST) and the marine air temperature. When we substitute the marine air temperature for SSTs, the global warming trend decreases to 0.13 °C/10 a. Temperature changes inferred from the proxy data often are different from one another, the uncertainties caused by the low accuracy often confuse the temperature variations which is in the order of 1 °C in the Holocene. Another major source of uncertainty in the proxy data comes from the assumption of stable plant growth—CO<sub>2</sub> relation at all times, but we now know it is wrong, rising level of CO<sub>2</sub> enhances the plant growth effectively. The difference between the surface record and the MSU record (which represents the low-middle troposphere) as well as the lower-than-expected polar warming show that there are unknown mechanism involved in the climate system. Role played by the oceans remains an open question. Recent estimate of future temperature increase is in the range of +1.4 °C to +5.8 °C by 2100. However, our ability to quantify the human influence on global climate and to exactly forecast the 21st climate is limited because there are uncertainties in these key factors.

**Key words:** uncertainty; global warming; prediction