

气候变化的历史记录和可能原因 ——IPCC 1995 第一工作组报告评述

任国玉

(国家气候中心, 北京 100081)

摘要 根据气候变化的历史记录, 特别是古气候资料及其分析, 对近现代全球气候变化的历史背景和可能原因进行了讨论, 并对 IPCC 第二次评估报告的相关部分进行了评述。古气候资料表明, 现在就得出结论认为过去 100 年的全球增暖全部或部分地是由人为排放的温室气体引起的还为时过早。在过去的 2000 年里, 出现过十年到世纪时间尺度的全球或半球性气候变化, 并且可能有过和现代相当的温暖阶段。加强古气候方面的研究和评估可能是解决现代全球气候变化原因问题的关键。

关键词 气候变化 温室效应 IPCC 报告 古气候学

1 前言

IPCC 1995 年第二次评估报告已于 1996 年出版发行^[1]。同 1990 年第一次评估报告^[2]及 1992 年补充报告^[3]相比, IPCC 第二次评估报告的第一工作组报告即气候变化科学部分(以下简称 IPCC 95 I)包括了一些新的研究结果, 并以更坚信的语气指出人类活动对过去 100 年的全球气候产生了显著影响。这些变化引起了国际科学界、政治界和工商业界的广泛关注, 其中不乏激烈争论和反对意见。

概括起来, IPCC 95 I 的结论与过去的评估相比有下列明显特点:

(1) 更肯定地指出, 由化石燃料和生物质燃烧产生的对流层气溶胶具有负辐射强迫作用; 并指出气溶胶的短生命期和地域性特点。

(2) 更明确地提出, 过去 100 多年的全球增暖是由人类活动引起的大气 CO₂ 等温室气体浓度增加造成的, 同时也承认在长期自然气候变化的幅度和形式等关键问题方面, 仍然存在着不确定性。

(3) 关于未来气候变化, 采用 IS92 中度排放构想和气候敏感性的最佳估计值, 并包括未来气溶胶增加的影响, 预测到下个世纪末, 全球平均气温将比 1990 年上升 1~ 3.5°C, 最佳估计为 2°C; 而 1990 年第一次报告和 1992 年补充报告的估计则为 1.5~ 4.5°C, 最佳估计为 3°C。

(4) 关于未来海平面变化, 认为到下个世纪末, 全球平均海平面相对 1990 年将上升 15~ 95 cm, 最佳估计为 50 cm; 而 1990 年评估报告和 1992 年补充报告的估计则为 35~

165 cm, 最佳估计为 65 cm。

(5) 认为干旱和洪涝灾害在一些地方会加强, 而在另一些地方将减轻, 降水强度可能会增加, 极端降水事件有可能增多。

(6) 还指出, 当包括了气溶胶影响时, 模式预测亚洲季风区夏季雨量可能会减少, 而不是象原来模拟结果表明的那样将增加。

对于 IPCC 95 I 的这些结论, 尤其是对现在已经可以明显看到的人为引起的全球增温信号这一结论, 一些科学家表示了不同意见。这些不同意见归纳起来有:

(1) IPCC 95 I 在资料的选择上有偏向性, 忽视了那些不利于证实人为气候变化的观测资料和研究结果, 如对卫星观测资料的忽视^[4]和在信号检测研究中对探空资料观测时期的选择^[5]等。

(2) 对当前气候模式的不确定性估计不足, 这些不确定性主要包括对云、水汽^[6]和气溶胶^[7]的影响没有很好理解, 它们在模式中难以得到恰当的描述; 模式还不能满意地模拟气候的自然变化^[6], 也没有经过观测资料的严格检验和校准^[4]。

(3) 在过去的十几年内, 模式预测的数字不断减小^[4, 8], IPCC 95 I 给出的温度和海平面上升值又比上两次降低, 这说明气候模式至少是处于不断改进中, 今后也还会有改进。但也有认为新的预测数字可能偏低了, 因为未来人为气溶胶的影响不会那么大^[7]。

(4) IPCC 95 I 报告对气候自然变化的考虑仍不充分, 对古气候资料的分析未给予足够重视, 已有的古气候资料评估也存在问题^[9~11]。

(5) IPCC 95 I 第八章在马德里会议通过之后又被修改^[9, 12, 13]。这次修改使口气和倾向性有所变动, 美国“全球气候联盟(Global Climate Coalition)”把这次修改称作是“对科学的清除”^[13]。

应该承认, 这些不同意见尽管有的比较偏颇, 但均有一定依据, 值得认真考虑。IPCC 95 I 确在一定程度上忽视了气候的自然变化过程, 并可能夸大了过去 100 年人类活动对气候的影响。尽管如此, 作者认为, 这份报告基本上还是反映了当前科学界对气候变化问题的认识水平和主流意见。下面, 拟从气候变化历史记录和气候变化成因的角度, 谈谈作者对有关问题的看法。

2 近现代时期的气候变化

2.1 温度观测记录

对近现代仪器观测资料的分析, 促进了现代气候变化科学的发展。尽管在温度观测本身和观测资料的分析上还存在着一些不尽如人意的地方, 大多数气候学家坚信, 仪器记录的全球温度变化是真实的。

全球平均温度序列一般是从 19 世纪中期开始的。这些温度序列表明的变化大同小异。从 19 世纪 60 年代到现在, 全球平均气温上升了 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ ^[11]。但是, 过去 130 多年的增温在时间和空间上都不是均匀的。在时间上, 本世纪前 40 年和最近的 20 年两个时段增暖最明显, 冬季和春季升温幅度较多, 夜间气温上升比白天多; 在空间上, 中高纬陆地地区升温幅度较大, 南半球升温比北半球明显, 60 年代以来对流层中下层升温而对流层上部和平流层却变冷。

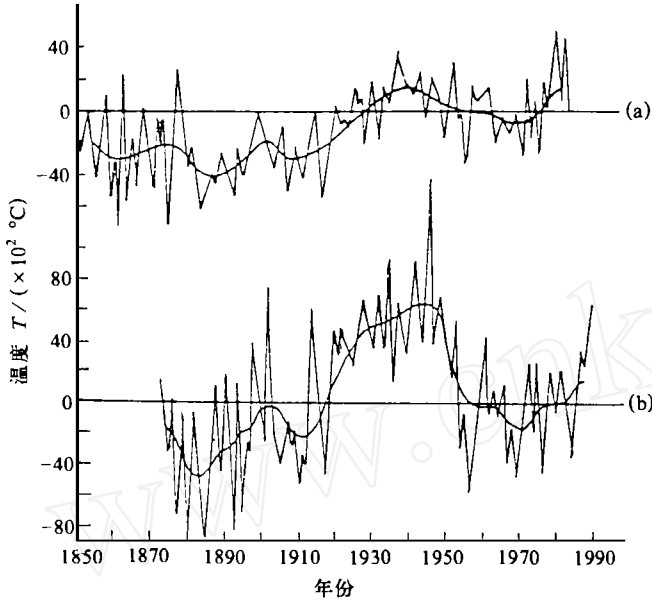


图1 北半球(a)和中国(b)年平均温度变化曲线。折线为实际温度, 曲线为10年滑动平均, 平均值参考期为1951~1990年。引自文献[17]

卫星观测的对流层温度资料始于1979年。过去的这17年是地面观测的明显升温阶段, 但卫星资料却表明了轻微降温^[1, 14, 15]趋势, 这也成为近几年争论的问题之一。

在50年代以前, 我国的仪器观测记录不太可靠。但初步分析显示, 中国大陆部分的温度变化与北半球平均比较(图1), 在40年代以前的明显增暖二者是一致的, 而50年代到70年代中期的降温中国比北半球平均大得多, 而70年代后期以来的升温中国也不如全球平均显著^[16, 17]。另外, 我国近40年来北方升温比南方明显、冬季升温比夏季明显以及夜间温度上升比白天多等特点则同

全球情况一致^[18~20]。

2.2 其它观测记录

在过去的100年内, 全球平均海平面上升了10~25 cm^[11], 中国平均海平面上升14 cm^[21]。海平面的上升主要由同时期的全球增暖引起。全球降水量的观测资料没有温度可靠, 而且现有的分析也没有发现全球性趋势变化, 但在北半球中高纬度陆地地区, 降水量在过去的100年里一般明显地增加了^[11]。一项新的研究还发现, 过去100年内, 全球平均降水量在10年际时间尺度上的变率已经增高^[22]。在本世纪内, 美国极端强降水事件中的降水量比例显著地上升; 但在过去30~40年内, 前苏联和中国极端强降水事件中的降水量比例似乎有轻微下降^[23, 24]。

大气温室气体浓度的观测在50年代以后才开始, CO₂、CH₄和N₂O等人为温室气体均呈明显增加, 其中, 冰芯资料已证实, CO₂和CH₄浓度的增加是从18世纪末开始的^[1, 2]。最新的南极冰芯研究还表明(图2), N₂O浓度的显著上升始于19世纪末^[25]。

总的来看, IPCC 95 I对过去100多年气候变化事实的评估是客观的、平衡的, 同

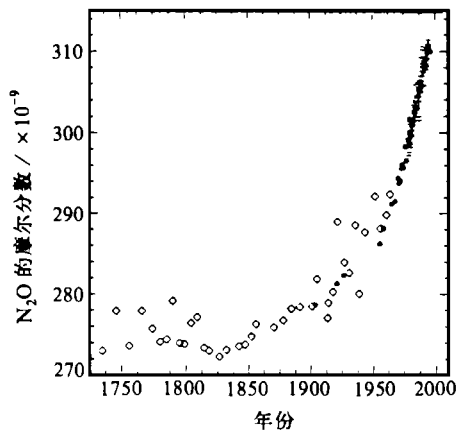


图2 过去250年大气N₂O摩尔分数变化史。“+”为南半球直接大气观测, “·”为来自南极冰雪层中空气分析结果, “o”为南极冰芯中气泡样品分析结果。引自文献[25]

1990 年报告和 1992 年报告比较起来变化不多。

2 古气候演变

全球增暖是一个年代至世纪时间尺度上的气候变化问题。为了完全理解这个时间尺度上的变化, 需要有良好空间覆盖的至少 1000 年的过去气候记录。现有的仪器记录时间太短, 无法适应这一要求。通过各种分析技术可以获得古气候代用资料, 它们能够在一定程度上满足这个需要。

当然, 和仪器观测资料比较起来, 古气候资料存在较多缺陷, 这成为目前气候变化科学不确定性的主要原因之一。但是, 现有的古气候代用资料对于我们理解全球气候变化问题仍然具有重要科学价值。

3.1 过去 1 千年

对于过去 1000~ 2000 年, 目前还没有得到公认的全球或半球平均温度序列。但是, 许多独立的研究工作显示, 在过去的 1000 多年内, 北半球及全球温度发生了明显的变化。大部分古气候学者认为, 从 10 世纪到 14 世纪, 北半球或全球温度可能高于过去 1000 年的平均值, 在古气候学上称为“中世纪温暖期”; 15 世纪到 19 世纪的全球温度则可能低于过去 1000 年的平均值, 这段时间叫做“小冰期”^[26-29]。“小冰期”可能由 16~ 17 世纪和 19 世纪两个相对冷期及其间的 18 世纪相对暖期构成。“中世纪温暖期”中间的变化还不清楚, 但最暖阶段可能处于 11~ 13 世纪之间。根据全球 10 个地区古气候代用资料进行的初步估计表明, “小冰期”和“中世纪温暖期”的全球平均温度, 约分别比近 1000 年平均值低 0.55°C 和高 0.45°C (图 3), 变化幅度接近 1°C^[30]。

“小冰期”内的降水变化还没有一致意见, 但欧洲, 特别是中欧和西欧, 夏季可能比今天湿润。在“中世纪温暖期”, 欧亚大陆内部夏季可能比较干^[31], 美国中部和西海岸雨量比现代少^[32, 33], 南美巴塔哥尼亚高原夏季变得暖干^[32], 中国东北科尔沁沙地夏季雨量可能多于现在^[34]。

最近 1000 年的大气温室气体记录主要来自极地冰芯分析。这些分析指出, CO₂ 和 CH₄ 在工业革命后迅速上升, 而在此前没出现显著变化^[1-3]。

3.2 过去 1 万年

在全新世, 即最近的 1 万年中, 北半球或全球年平均温度与以前的冰期阶段比较是相当稳定的, 变化幅度可能只有 1~ 3°C, 甚至更小。格陵兰冰芯资料表明, 当地全新世年平均温度波动很小, 不超过 1°C (图 4)^[1, 35]。但是, 陆地花粉资料和气候模式模拟结果说明, 在距今 9000~

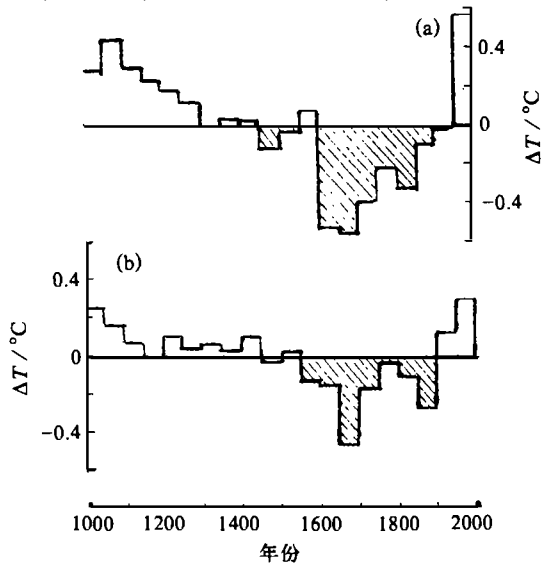


图 3 公元 1000 年到 1989 年全球 (a) 和中国 (b) 50 年平均气温距平 (相对千年平均值的偏差, 最后一个 50 年为 1950~ 1989 年)。引自文献^[30]

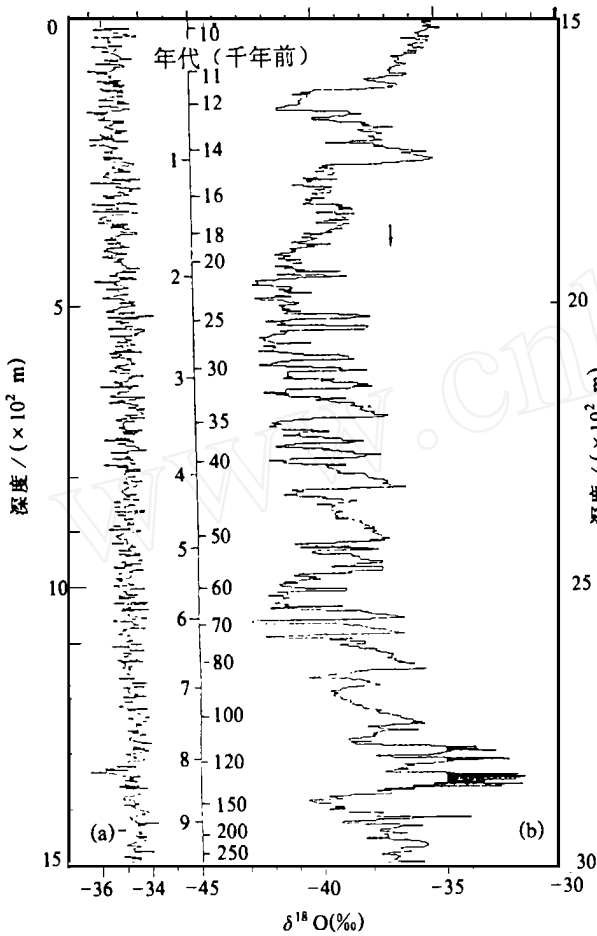


图4 格陵兰顶部GRIP冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 变化。(a)1万年前至今,即全新世;(b)25万年至1万年前。 $\delta^{18}\text{O}$ 值大表示温度高。引自文献[35]

6000年前,北半球大陆内部夏季平均温度比现在高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,距今6000年前以后,夏季平均温度经历了长期变凉趋势;冬季平均温度的长期变化可能与夏季相反^[36]。最近也有研究指出,全新世期间相对寒冷的气候每隔 $1000\sim 3000$ 年重现一次^[37,38]。在过去的1万年,除了最近1000年以外,现在还没有可靠的资料证明,全球或北半球年平均温度可以在几十年到一二百年内变化 1°C 以上。

过去1万年里,北半球季风区的降水变化比温度更引人注目。一般认为,在距今 $9000\sim 6000$ 年前,北非、南亚和东亚地区的夏季雨量均明显增加了,而北美中部平原地区则比现在干燥,欧亚大陆内部可能也比较干燥^[39]。长期以来,我国多数学者认为,中国的华北、西北东部和东北等地区当时降水量和湿润程度都比今天高,但还需要进一步研究。在工业革命以前,冰芯记录的全新世大气 CO_2 体积分数从未超过 290×10^{-6} ,而且变化也不大;过去1万年大气 CH_4 体积分数的长期变化则比较显著,全新世早期一般呈下降趋势(图5);到5000年前

达最低,只有 600×10^{-9} ;以后又不断上升,至工业革命前已达到 740×10^{-9} ^[40](现在的体积分数约为 1700×10^{-9})^[40]。

3.3 过去20万年

过去20万年包含一个完整的间冰期-冰期循环(图4)。在距今 $12\sim 13$ 万年前的上次间冰期,全球温度至少和全新世一样高,不少研究者认为可能比现在高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。对上次间冰期内是否存在气候突变问题,目前还不能证实。距今12万年前以后,地球气候进入第四纪最后一次冰期,并在2万年前附近达到最冷阶段,当时全球平均温度可能比目前低 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。在这次冰期中,至少在北大西洋地区,发生了一系列世纪-千年时间尺度的剧烈气候振动。距今2万年前到全新世初称作晚冰期,全球温度上升。但在距今 $1.29\sim 1.16$ 万年前,当温度升至接近全新世水平时,北大西洋及其周边地区经历一次突然降温事件,古气候学上称“新仙女木事件”(图4)。当时气温在不到半个世纪时间内降低到接近冰期最

冷时的程度, 然后又在同样短的时间内上升到接近全新世的水平^[35, 39]。现在还不能肯定地回答, “新仙女木事件”是否具有全球性。在最后一次间冰期-冰期循环中, 大气 CO_2 浓度与全球温度呈正相关关系, 即全球温度高时, 大气 CO_2 浓度也高; 在全新世以前, 大气 CH_4 浓度也与全球平均温度呈显著正相关^[1-3]。

4 过去气候自然变化的可能原因

4.1 冰期-间冰期

不同时间尺度上气候变化的原因或驱动机制是不一样的。就自然变化而言, 在千年至万年时间尺度上, 气候变化的外部强迫因子主要是地球轨道参数周期变化。这种周期变化引起了太阳辐射在季节上和空间上的重新分布。地球轨道参数的变化周期包括偏心率(9.6 万年)、黄赤交角(4 万年)和地轴进动或春分点进动(2.58 万年)。此外, 大气温室气体浓度、气溶胶含量、冰雪反射率和海平面与海洋环流等气候系统内部的反馈作用, 对于千年到万年时间尺度上的气候变化也是重要的。

一般认为, 地球轨道参数的周期变化调制着第四纪冰期-间冰期气候的长期波动^[41]。例如, 自从 2 万年前的末次冰期最盛期以来, 由于春分点进动和黄赤交角的改变, 北半球各季节太阳辐射已经发生了明显的变化。现在北半球冬夏半年接受的太阳辐射与 2 万年前相近, 但 1 万年前夏季接受的太阳辐射可能比目前高出 8% 左右, 而冬季又比现在低 8% 左右。从 2 万年前到 1 万年前, 北半球夏季接受的太阳辐射量呈增加趋势, 而从 1 万年前到现在, 北半球夏季接受的太阳辐射量又呈不断减少趋势; 冬季则相反。

北半球太阳辐射量的这种季节变化是地球末次冰期结束以及全新世间冰期开始的初始原因。同时, 由于气候和冰盖变化导致的大气 CO_2 和 CH_4 浓度的上升及气溶胶含量的降低, 对晚冰期阶段的全球温度增暖有相当大的增幅作用。在全新世中, 在百年-千年时间尺度上, 控制北半球季节气候变化的强迫因子主要是地球轨道参数, 温室气体浓度和气溶胶含量已不重要, 但陆地植被的反馈作用可能是不容忽视的^[42, 43]。自从 6000 年前或更早一些时间以来, 轨道参数变化已使北半球夏季温度不断变凉, 冬季温度趋向温和, 温度年较差趋于减小。因此, 过去 100 年北半球陆地温度年较差的缩小与更长时间尺度的背景变化是一致的。

4.2 历史时期

在最近的 1000~2000 年内, 影响十年到世纪时间尺度气候变化的自然因子主要有太

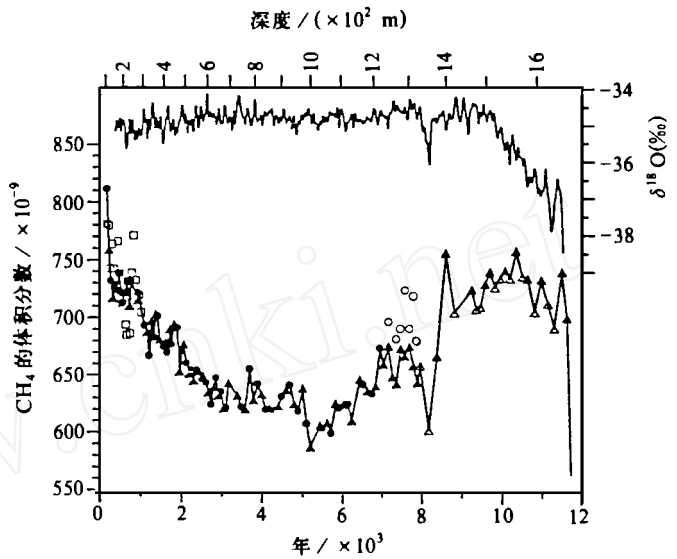


图5 格陵兰顶部 GRIP 冰芯分析得到的过去 1.2 万年大气 CH_4 体积分数变化, 同时给出了 $\delta^{18}\text{O}$ 变化曲线。引自文献[40]

阳活动、火山喷发、洋流和低频 EN SO 现象^[44,45]。例如,近 1000 年来,表征太阳活动强弱的大气¹⁴C 含量变化与温度变化有良好的对应关系,说明太阳活动可能对地球温度具有明显的影响^[44,46,47]。就最近的 400 年而言,有一种意见认为,在 19 世纪以前,太阳辐射对温度变化起主要控制作用;19 世纪以后,太阳强迫也说明了全球增温的一半左右,但对 1970 年以来的增暖,太阳辐射变化的影响只占三分之一^[47]。此外,火山活动可能也对公元 10 世纪以来的温度变化产生一定影响^[44,48]。初步的火山重建资料表明,“中世纪温暖期”火山活动比较弱,而“小冰期”阶段火山活动也相对较强^[48]。

在气候系统内部,海洋环流和海温也存在着长期变化,这对十年到世纪时间尺度气候变化的影响可能是重要的。20 世纪观测记录表明,在北大西洋和北太平洋都存在年代际以上时间尺度的温度或盐度变化,EN SO 现象也具有低频变化特征。但是,目前还没有可靠资料去证实这种长期变化对过去 1000 年的全球或半球平均温度是否产生影响。另外,格陵兰冰芯资料显示,“小冰期”阶段大气中海盐微粒和陆地粉尘含量曾显著上升^[49],对中国历史时期降尘的研究也得到类似结果^[50]。这是否表明对流层中气溶胶对“小冰期”温度变化也具有一定反馈作用还值得注意。

5 近现代人为气候变化的检测和判别

目前,全球气候变化研究争论的焦点在于两个问题:一是最近 100 多年记录的增暖相对于年代- 世纪时间尺度上的气候自然变化是不是异常的;二是这种增暖或异常是不是、或在多大程度上是由人类排放的温室气体引起的。这两个问题既有联系,又有区别。研究人员把针对第一个问题开展的工作叫信号“检测”(detection),而将针对第二个问题进行的研究称因果“判别”(attribution)。应该承认,自从 IPCC 1990 年和 1992 年报告发表以来,这方面的研究取得了不少进展,但问题并没有最终解决。

5.1 研究现状

信号检测和原因判别研究均需要有对自然气候或古气候变化的估计,然后检验过去 100 年或更短时期观测记录相对这一长期自然变化是不是异常的。如果有良好的古气候重建资料,气候变化异常的检测应该是简单的。但是,现有的古气候资料还不很完备,主要表现在缺乏足够长的空间分布均匀的高分辨率温度重建序列,同时不同代用资料之间的可比性较差。

对分布在全球不同地区的 10 条温度序列的初步合并表明^[30],20 世纪的增暖尽管很迅速,但仍未显著超出过去 1000 年气候自然变化的范围。当然,这方面研究还需要进一步深入。目前,直接利用过去 1000 年古气候资料进行的检测研究,主要还是限于区域范围内。一般陆地上多是采用树木年轮资料和冰芯资料,海洋上采用珊瑚资料。这类分析尽管有的声称已检测到了异常信号,有的则认为,过去 1000 年内存在着同现代相当或更暖的时期^[1],但都没有充分的说服力。年轮资料一般只能反映夏季温度。在年轮资料中,去除生长趋势过程一般会引起低频变化信号的损失,同时大气 CO₂ 浓度增加引起的过去 100 年树木生长量可能加快没有得到订正。这些问题都给检测工作蒙上了阴影。中纬度山地冰

芯氧同位素的气候指示意义也还有疑问。当然,更主要的问题是,单个地点的序列无法代表全球或半球平均温度变化。

由于目前还缺乏足够长的全球或半球平均古温度资料,同时也是出于比较的需要,人们通常采用各种数值模式生成所需要长度的自然气候变化序列。再以此作为“标尺”或背景,来检验现代的增温是否为显著异常。在绝大部分情况下,利用气候模式生成的这些“标尺”是在没加任何外部强迫条件下的气候系统内部自然变化,因此只能把它们看作是自然变化的一部分,而不是全部。

近来,多数的气候变化检测研究,都是根据对过去 100 多年全球平均温度序列与上述模式生成的自然变化序列的比较来完成的^[1]。一些采用统计模式的研究者认为,观测的增暖在统计上是显著的;但也有一些指出,没有发现统计上有意义的显著增暖。采用气候模式的研究人员一般认为,相对于非强迫的气候趋势,过去 100 年的增温趋势是十分显著的。另外,一些研究者利用不同的自然和人为强迫因子去驱动气候模式,并将得到的 100 年模式温度与观测的全球温度进行对比,发现当把人为强迫放上时,二者拟合得最好^[1]。综合这些研究结果,现在能够说的就是,过去一个世纪的全球增暖完全由气候系统内部自然变化引起的可能性极小。

在信号检测和原因判别研究方面,被认为最具有说服力,同时也是引起争议较多的研究,是基于模式和观测图式对比的工作^[1,51~53]。在这类研究中,现在开始用结合的 CO₂ 和硫酸盐气溶胶等人为强迫去驱动海气耦合模式,并考虑了平流层 O₃ 的可能影响。然后,将得到的结果同观测资料进行多维空间上的相关分析。这方面的研究发现,模拟的与观测的温度变化在大尺度上(南北半球间及对流层与平流层间)有较好的对应,而且这种对应关系还随时间增强。为了确定这种对应关系的统计意义,这类研究同样使用了根据海气耦合模式控制试验得到的对大气温度内部自然变化的估计,并认为,气候系统内部自然变化不能解释模式信号与观测之间随时间增加的对应水平。由于太阳常数和火山活动引起的温度变化空间结构同观测的平流层变冷、对流层变暖图式也不一致,上述显著的对应关系说明人类活动已经对大气温度变化产生了影响^[52]。

此外,大陆地区记录的最低温度增暖明显、最高温度上升不多、温度日较差减小、北半球中高纬度地区降水增加等变化特征也和模式预测一致,表明过去几十年温室气体导致的气候变化可能已经发生了。

5.2 存在的问题

尽管目前的气候变化检测和原因判别研究取得了重要进展,但仍然存在不少缺陷,其中,最大的问题当属对过去自然气候变化或气候变化背景“噪音”的估计。现有的估计绝大多数是难以让人完全相信的,因而,人们仍然怀疑过去 100 年观测到的气候变化在更长时期的气候史中是不是独特的。

地面温度的古气候资料与模式模拟结果比较说明,模式温度在几乎所有时间尺度上的方差都小于古气候资料,而且在几十年以上尺度上,二者差别越来越大^[1]。这个不一致的原因可能不在古气候资料,因为古气候学界多数意见认为,过去的气候在年代-世纪时间尺度上存在着显著的变化。模式低估低频气候变化的原因可能有两个:一是没考虑太阳

活动和火山活动等外部强迫作用,再一个就是,由于海洋通量调整问题,低估了气候系统内部自然变化的幅度。无论什么原因,都说明利用现有的模式去估计过去几个世纪到一千年的自然气候变化还远不是令人满意的。

事实上,目前多数古气候学家都认为,近1000年来北半球出现过“小冰期”和“中世纪温暖期”这样世纪时间尺度的变化。过去温度的这种变化同重建的太阳活动强度基本一致,说明太阳辐射等外部强迫的长期变化已经对过去的气候产生了影响。过去气候系统内部的显著变化可能也发生在十年-世纪甚至更长时间尺度上,这在有的模式和诊断研究^[5-56]以及古气候记录中^[57,58]得到了证实。因此,真实的自然气候变化要比信号检测和原因判别研究人员想象的复杂得多。

另外,气候模式对外部强迫的敏感性估计还受到诸多不确定因素的影响。近来,有关冰期热带古气候的研究再次引起了人们对这个问题的注意。这些古气候重建表明,末次冰期低纬地区温度降低值可能比原有资料和模拟结果都大^[59-62],说明气候系统对辐射强迫的敏感性可能比原来想的要高。如果是这样,同时如果人为气溶胶的影响确实比原来认为的小^[63,64],那么,现在气候模式模拟的过去温度变化与观测资料之间的对应关系显然又将改变。

最后,还应该指出,在直接采用古气候资料时,IPCC第二次评估报告使用了公元1400年以来的北半球平均夏季温度序列^[1,65],并在报告中多次提到15世纪以来的自然变化问题。这条温度序列本身在北半球是有代表性的。但由于它只是夏季温度重建,在时间上又是开始于“中世纪温暖期”和“小冰期”之间,用它作为过去自然变化背景去判断近百年的年平均温度增暖是否异常是不合适的。即使只关心夏季,如果不是仅考虑最近的500年,而是再向前延伸到公元10世纪,由于“小冰期”之前的“中世纪温暖期”夏季温度可能接近,甚至高于20世纪,得出的结论将大不一样。

提出这些问题不是说检测和原因判别研究的结论没有意义,更不是说近百年的增暖不存在人类活动影响的烙印。事实上,这些工作,特别是基于图式对比的工作,确实让人们感觉到人类影响的印迹比过去更清晰了。但是,感觉不能代替科学。要从严格的科学意义上去确认现代气候增暖的异常性质及其人类活动的作用,还有大量的工作要做。这主要包括需要更多的高质量古气候序列重建工作,也需要气候模式本身的改进。

6 关于古气候类比问题

古气候类比是指根据过去不同时间尺度温暖期中的气候距平场,去预测未来温室增暖情况下的区域气候变化。前苏联学者对这种方法使用较多。他们根据对全新世(5000~6000年前)、上次间冰期(12~13万年前)和上新世(250~700万年前)3个温暖时期的古气候重建,对未来全球增温情况下的区域气候进行了预测^[2,66,67],认为北半球中高纬大陆内部升温明显,大部分地区、特别是季风区降水将增加,但东欧部分地区和北美中部平原地区将趋向干燥。

我国学者一般用全新世中期温暖期(6000年前左右)去类比未来可能增温条件下的气候变化^[10,11,39,68,69]。多数学者认为,在全新世中期温暖期,我国北方大部分地区年平均温

度高于现在, 年降水量或土壤水分含量明显多于今天, 气候温暖湿润。据此, 预测未来全球增温情况下我国北方气候将趋于暖湿, 环境条件趋于改善。

在使用古气候类比方法预测未来气候变化时, 有 3 个问题值得注意。第一, 人类活动引起的未来全球气候变化是一种年代- 世纪时间尺度上的变化, 而用于类比的古温暖期一般都是更长时间尺度上的过去变化。对不同时间尺度的气候要素场做类比需要证实: 气候温暖期温度和湿度距平空间分布型式独立于时间尺度, 即不随选择时期的长短而变化。这类工作还没有专门进行研究; 第二, 未来可能的全球增暖是由大气 CO_2 浓度增加引起的, 用于类比的过去温暖期除上新世外, 其余时期的升温主要不是由于大气 CO_2 浓度增加引起的。在这种情况下采用古气候类比方法需要证实: 不同温暖期温度和湿度距平空间分布型式不依赖增温或气候变化的原因。尽管有研究认为这一假设可能成立^[66], 但目前并没有得到严格证明; 第三, 过去气候的重建还存在着许多不确定性, 即使对目前了解最多的全新世温暖期, 其温度和湿度距平场仍难以准确恢复。过去一直认为, 全新世温暖期我国东北地区的气候也是暖湿的, 但新近的工作表明可能不是这样, 9000~ 6000 年前东北地区的夏季可能盛行着暖干气候^[70]。

由于存在着上述问题, 在采用古气候类比方法时应十分慎重。目前, 这类研究可以作为气候模式预测的补充或验证。今后则应加强这方面研究。也应注意加强有关古气候过程类比的研究^[39]。

6 结论和建议

6.1 主要结论

人为气候变化的检测和判别是气候变化科学评估中最关键的问题之一, 今后也必然继续受到各方面密切关注^[71]。本文主要通过回顾近年来在气候变化历史记录分析和成因研究方面的成果, 对气候变化的检测和判别及其相关问题进行了评述。显然, 目前仍然存在着许多不确定性。减少这些不确定性正是现在和今后十余年甚至更长时间国际全球变化研究计划的目标。但是, 这不排除有一些研究结果还是相对确定和可靠的。根据目前的研究, 能够获得如下几点基本结论:

(1) 在过去的 100 多年里, 全球大气 CO_2 和 CH_4 等温室气体浓度、全球或半球地面平均温度及全球平均海平面均已经显著地升高了, 北半球中高纬度地区的降水量也明显增多了。在同一时期里, 我国地面年平均温度长期上升趋势不如全球和北半球明显, 但我国沿海平均海平面上升速率与全球保持同步。

(2) 在过去的 1000 多年里, 北半球或全球气候发生过有意义的年代- 世纪时间尺度的变化。一般认为, 15~ 19 世纪的“小冰期”和 10~ 14 世纪的“中世纪温暖期”可能至少在北半球具有普遍性。这意味着, 仪器记录表明的增暖可能是发生在世纪时间尺度自然气候变化的升温背景下; 也意味着 20 世纪的温暖程度可能不是史无前例的。

(3) 更早的古气候代用记录表明, 近 1 万年即全新世是过去 11 万年间最稳定的一个温暖阶段。全新世北半球年平均温度的变化可能并不大, 但季节温度可能发生了显著的变化。最近的 6000 年北半球温度年较差一直在持续减小, 这也构成了过去 100 年温度年较差变小的背景。在全新世以前的近 20 万年里, 至少在北大西洋及其周围地区, 气候是很不

稳定的;但目前还不能确定,在与近1万年温度相当或稍暖的上次间冰期内是否发生过气候突变。

(4) 不同时间尺度上的自然气候变化其原因是不相同的。在最后的20万年,在千年-万年尺度上,地球轨道参数、大气CO₂浓度和气溶胶含量、海洋洋流以及冰盖本身的反射率等都是重要的;在全新世百年-千年尺度上,只有地球轨道参数的影响得到证实;在近1000年内,年代-世纪尺度上的自然变化可能主要与太阳活动、火山活动、洋流与海温变化有关。

(5) 对于最近100年的增暖,人类活动排放的CO₂等温室气体可能起到一部分作用,多方面的迹象或“指印”使气候学者开始觉察到了它的影响,但目前还不能完全确认这一点。把近百年的升温全部归结为人类活动影响可能是不正确的,因为过去1000年影响气候变化的自然因子目前可能还在单独地或结合地发挥着作用。不过,在未来的几十年到一二百年,人类排放的温室气体对气候的影响将会越来越大,并可能会成为年代-世纪时间尺度气候变化的主导因子。

(6) 古气候类比法还不够成熟。目前,采用这种方法去预测未来全球增温情况下区域气候要素场只能作为参考。在过去的温暖期中,北半球季风区夏季雨量一般可能增加了,但北美中部和欧洲部分地区全新世温暖期比较干燥,我国东北地区可能也比较干燥。这些结论和气候模式预测大体上一致。

6.2 研究推荐意见

上述结论仍然在不同程度上包含着不确定性。减少这些不确定性只有靠进一步加强科学研究。目前急需解决的科学问题包括:

(1) 最近1000~2000年全球或北半球地面平均温度变化史。关键的问题在于重建这个时期不同地区的季节和年平均温度。在此基础上了解“小冰期”和“中世纪温暖期”气候异常的时空变化特征,获得可靠的全球或半球平均温度变化序列,并对其频谱特征进行分析。

(2) 最近1000~2000年太阳活动、火山活动、大气CO₂和CH₄浓度、大气气溶胶等辐射强迫的变化史。理解这些强迫因子与全球或半球地面温度变化的关系。

(3) 继续利用各种气候模式,根据重建的辐射强迫变化去模拟过去1000~2000年的全部自然气候变化,并据此检验由人为辐射强迫驱动的模式气候与观测资料之间的对应关系是不是在统计上有意义。

(4) 现代温度、海平面、降水以及各种极端气候事件的进一步监测与分析,也需要继续对主要温室气体、气溶胶、太阳辐射等外部强迫以及海洋温盐环流、云量、冰雪、陆地生态系统等气候系统内部成员的变化进行观测和分析。

(5) 进一步挖掘和利用全新世及其更早时期的古气候资料,检验与校准海-气耦合模式,探索古气候类比预测方法的可能性,分析气候突变尤其是过去温暖阶段气候突变的性质和原因。

(6) 在古气候重建与分析的基础上,加强古气候类比方法的研究,结合气候模式和古气候类比方法预测未来区域气候变化。加强古气候过程类比的研究,预测特定地区重要气候过程发生的可能性。

6.3 对IPCC 95 I的总体评价

关于 IPCC 95 I, 作者认为, 它基本上反映了当前科学界的主流意见。IPCC 95 I 主要由气候变化领域杰出的科学家完成, 报告的编写者和评阅者在地区上的分布也大体反映了科学实力的差异(表 1)。因此, 和过去一样, IPCC 95 I 从总体上看仍然是科学行为, 其主要结论可以看作当前科学界对气候变化问题的最好认识。

表 1 各主要国家参加 IPCC 95 I 报告编写和评阅的科学家人数

国家	人次	占总人次百分比	国家	人次	占总人次百分比
美国	476	34.4	瑞士	35	2.5
英国	140	10.1	中国	31	2.2
澳大利亚	87	6.7	阿根廷	23	1.7
加拿大	69	5.0	瑞典	22	1.6
德国	63	4.6	肯尼亚	21	1.5
日本	46	3.3	巴西	19	1.4
法国	45	3.3	新西兰	13	0.9
荷兰	42	3.0	挪威	11	0.8
俄罗斯	38	2.8	丹麦	10	0.7
印度	37	2.7	委内瑞拉	9	0.7

但是, 也应该意识到一些非科学因素的影响。全球气候增暖及其影响是摆在科学家面前最复杂的问题之一。这个科学问题的复杂性不仅因为它牵涉到自然科学和社会科学的方方面面, 因而增加了科学上的不确定性, 而且由于它过早地接受了政治和公众舆论的关注。在这种情况下, 科学家的个体行为可能会受到科学以外的思潮和压力的影响; 作为一个政府间组织, IPCC 更会频繁地受到包括政治在内的诸多因素的干扰。随着各个国家和利益集团逐渐地认清自己在全球气候变化事务中的地位, 今后这个问题将变得越发突出。此外, 学科间的陌生和偏见也是不容忽视的问题。由于这些非科学因素的影响, 科学家的研究成果和评估结论有可能在一定程度上偏离科学方向。

我们注意到, IPCC 95 I 在对待过去自然气候变化或古气候研究成果方面不能说是令人满意的。诚然, 古气候资料及其分析存在许多不确定性。但不能因为这一点就漠视或曲解它们。事实上, 模式研究同样存在很多不确定性。我们并没有因为模式存在的问题就忽视它们。IPCC 95 I 把代用记录表示的自然气候变化起始时间仅放在公元 1400 年, 而对模式模拟的自然气候变化又只给出没有外部强迫条件下的内部变化趋势, 并将其作为检验现代增温是否异常的依据, 这都不能看作是适宜的。应该指出的是, 在马德里会议之后, 对 IPCC 95 I 第八章的修改删除了几处强调古资料 and 自然气候变化意义的段落或文字, 致使该章在语气上出现可以察觉到的漂移, 这同样是不合适的。

总之, IPCC 95 I 的气候变化科学评估部分从总体上看反映了该领域科学家的主流意见, 决策者可以把它作为重要参考依据; 但是, 这份报告的个别选材和结论又存在着某些偏向, 在把它作为谈判和决策依据时应该考虑到这方面局限。这也说明, 不论是现在, 还是将来, 在我国进行独立的研究和评估都是非常必要的。

致 谢 丁一汇教授和张德二教授对本文提出修改意见, 王邦中先生和陈振林先生也提供了很好的建议, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 IPCC, 1995, Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Cambridge University Press
- 2 IPCC, 1990, Climate Change, The IPCC Scientific Assessment Report
- 3 IPCC, 1992, Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment
- 4 Singer, F., 1996, A heated debate over global warming, The Washington Times, July 5, 1996
- 5 Michaels, P. J., 1996, "Clearest evidence" for human "fingerprint"? World Climate Report, 1(21).
- 6 Stevens, W. K., 1996, A skeptic asks, is it getting hotter or is it just the computer, The New York Times, June 18, 1996
- 7 WEC, 1996, WEC review IPCC's second assessment report, ECOAL, Vol 18, July 1996
- 8 Pearce, F., 1995, Fiddling while Earth warms, New Scientist, 25 March 1995
- 9 Shlaes, J. and Pearlman, D. H., 1996, Letter to Professor Bert Bolin
- 10 任振球, 1996, "温室效应"是当代气候变暖的主要原因吗? 科技日报, 1996, 7, 21.
- 11 许靖华, 1997, Climate, hunger, and mass migrations, An article at the invitation of Professors Zhang Cunhao and Hui Yongzheng
- 12 Nature Editor, 1996, Climate debate must not overheat, *Nature*, **381**, 539.
- 13 Masood, E., 1996, Climate report "subject to scientific cleaning", *Nature*, **381**, 546
- 14 Hurrell, J. and K. Trenberth, 1996, Satellite versus surface estimate of air temperature since 1979, *Journal of Climate*, **9**, 2222~ 2232
- 15 Hurrell, J. and K. E. Trenberth, 1997, Spurious trends in satellite MSU temperature from merging different satellite records, *Nature*, **386**, 164~ 167.
- 16 王绍武, 1990, 温室效应及其对气候影响的最新研究, 气象, **16**(10), 3~ 9
- 17 林学椿, 于淑秋, 唐国利, 1995, 中国近百年温度序列, 大气科学, **19**(5), 525~ 534
- 18 陈隆勋等, 1991, 近四十年我国气候变化的初步分析, 应用气象学报, **2**(2), 164~ 173
- 19 曲建和, 孙安健, 1991, 黄淮海地区近四十年来温度变化特征的研究, 应用气象学报, **2**(4), 424~ 428
- 20 任国玉, 周薇, 1994, 辽东半岛本世纪气温变化的初步研究, 气象学报, **52**(4), 493~ 498
- 21 丁一汇, 1993, 气候变化研究的进展及其对策, 丁一汇, A. 马卡姆主编, 环境和气候变化对中国的挑战, 北京: 气象出版社, 16~ 21.
- 22 Tsonis, A. A., 1996, Widespread increase in low-frequency variability of precipitation over the past century, *Nature*, **382**, 700~ 702
- 23 Karl, T. R., R. W. Knight and N. Plummer, 1995, Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, **377**, 217~ 220
- 24 Karl, T. R. et al., 1996, Indices of climate change for the United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**(2), 279~ 292
- 25 Battle, M. et al., 1996, Atmospheric gas concentrations over the past century measured in air from firm at the South Pole, *Nature*, **383**, 231~ 235
- 26 Wang Shaowu, 1994, Cold periods during the last millennium, *TAO*, **5**(3), 383~ 392
- 27 张德二, 1991, 中国的小冰期气候及其与全球变化的关系, 第四纪研究, 第6期, 104~ 112
- 28 Flohn, H., 1993, Climatic evolution during the last millennium: what can we learn from it? In: *Global Changes in the Perspective of the Past*, edited by J. A. Eddy and H. Oeschger, John Wiley & Sons Ltd., 295~ 316
- 29 Grove, J. M. and R. Switsur, 1994, Glacial geological evidence for the Medieval Warm Period, *Climatic Change*, **26**, 143~ 169
- 30 王绍武, 赵宗慈, 1995, 未来50年中国气候变化趋势的初步研究, 应用气象学报, **6**(3), 333~ 342
- 31 Lamb, H. H., 1997, Climate: past, present and future, Methuen, London 1977, Vol 24, 35~ 461.
- 32 Stine, S., 1994, Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time, *Nature*, **369**, 546~ 549.
- 33 Laird, K. R. et al., 1996, Greater drought intensity and frequency before AD 1200 in the Northern Great Plains, USA, *Nature*, **384**, 552~ 554
- 34 任国玉, 张兰生, 1996, 中世纪温暖期夏季雨量增加的花粉证据, 气候与环境研究, **1**(1), 80~ 85
- 35 Dansgaard, W., S. J. Johnsen, H. B. Clausen et al., 1993, Evidence for general instability of past climate from

- a 250- kyr ice- core record, *Nature*, **364**, 218~ 220
- 36 COHMAP, 1988, Climatic changes of the last 18000 years: observation and model simulations, *Science*, **241**, 1043~ 1052
- 37 Kerr, R. A. , 1996, Millennial climate oscillation spied, *Science*, **271**, 146~ 147.
- 38 GECC Editor, 1996, Abrupt cooling cycles discovered in recent past, *Global Environmental Change Report*, **8** (1), 6
- 39 任国玉, 1996, 与当前全球增暖有关的古气候学问题, *应用气象学报*, **7**(3), 361~ 370
- 40 Blunier, T. , J. Chappellaz, J. Schwander et al , 1995, Variations in atmospheric methane concentration during the Holocene epoch, *Nature*, **374**, 46~ 49
- 41 任国玉, 1991, 太阳辐射与气候变化, *地球科学进展*, 第 6 期, 37~ 41.
- 42 Foley, J. , J. E. Kutzbach, M. T. Coe et al , 1994, Feedbacks between climate and boreal forests during the Holocene epoch, *Nature*, **371**, 52~ 54
- 43 Kutzbach, J. , G. Bonan, J. Foley and S. P. Harrison, 1996, Vegetation and soil feedback on the response of the African monsoon to orbital forcing in the early to middle Holocene, *Nature*, **384**, 623~ 626
- 44 王绍武, 1994, 气候系统引论, 北京: 气象出版社
- 45 Mann, M. E. , J. Park, R. S. Bradley, 1995, Global inter- decadal and century- scale climate oscillations during the past five centuries, *Nature*, **378**, 266~ 270
- 46 Lean, J. , J. Beer, R. Bradley, 1995, Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change, *Geophysical Research Letter*, **23**, 3195~ 3198
- 47 Crowley, T. J. , K. - Y. Kim, 1996, Comparison of proxy records of climate change and solar forcing, *Geophysical Research Letter*, **23**, 359~ 362
- 48 Moore, J. C. , H. Narita, N. Maeno, 1991, A continuous 770- year record of volcanic activity from East Antarctic, *Journal of Geophysical Research*, **96**(D9), 17353~ 17359
- 49 O'Brien, S. R. , P. A. Mayewski, et al , 1995, Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core, *Science*, **270**, 1962~ 1964
- 50 张德二, 1984, 我国历史时期以来降尘的天气气候初步分析, *中国科学(B 辑)*, No. 3
- 51 Mitchell, J. F. B. , T. C. Johns, J. M. Gregory and S. F. B. Tett, 1995, Climate response to increasing level of greenhouse gases and sulphate aerosols, *Nature*, **376**, 501~ 504
- 52 Santer, B. D. , K. E. Taylor, T. M. L. Wigley, 1996, A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere, *Nature*, **382**, 39~ 46
- 53 Tett, S. F. B. , J. F. B. Mitchell, D. E. Parler, M. R. Allen, 1996, Human influence on the atmospheric vertical temperature structure: detection and observations, *Science*, **274**, 1170~ 1173
- 54 Graham, N. E. , 1995, Simulation of recent global temperature trends, *Science*, **267**, 666~ 671.
- 55 Knutson, T. R. , S. Manabe, 1995, Time- mean response over the tropical Pacific to increased CO₂ in a coupled ocean- atmosphere model, *Journal of Climate*, **8**(9), 2181~ 2199.
- 56 Wallace, J. M. , Zhang, Y. , J. A. Renwick, 1995, Dynamic contribution to hemispheric mean temperature trends, *Science*, **270**, 780~ 783
- 57 Anderson, R. Y. et al , 1990, Expression of seasonal and ENSO forcing in climatic variability at lower than ENSO frequencies: evidence from Pleistocene marine varves off California, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, **78**, 287~ 300
- 58 Duplessy, J. C. , L. D. Labeyrie, M. Arnold et al , 1992, Changes in surface salinity of the North Atlantic Ocean during the last deglaciation, *Nature*, **358**, 485~ 488
- 59 Stute, M. , M. Forster, H. Frischkorn et al , 1995, Cooling of tropical Brazil (5°C) during the last Glacial Maximum, *Science*, **269**, 379~ 382
- 60 Anderson, D. M. , R. S. Webb, 1994, Ice- age tropical revisited, *Nature*, **367**, 23~ 24
- 61 Kerr, R. A. , 1996, Ice bubbles confirm big chill, *Science*, **272**, 1584~ 1585
- 62 Broecker, W. , 1996, Glacial climate in the tropics, *Science*, **272**, 1902~ 1904
- 63 Chin, M. , D. Jacob, 1996, Aerosol influence may be less than expected, *Global Environmental Change Report*, **8**(18), 5
- 64 Schwartz, S. E. , M. O. Andreae, 1996, Uncertainty in climate change caused by aerosols, *Science*, **272**, 1121~ 1122

- 65 Bradley, R. S. and P. D. Jones, 1993, Little Ice Age summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends, *The Holocene*, **3**, 367~ 376
- 66 Budyko, M. I., 1982, *The Earth's climate: past and future*, Academic Press, Leningrad
- 67 任国玉, 1993, 全球气候变化的地域差异及其意义, *地理科学*, **13**(1), 62~ 68
- 68 赵宗慈, 1993, 对中国气候变化与影响的评估, 丁一汇, A. 马卡姆主编, *环境和气候变化对中国的挑战*, 北京: 气象出版社, 173~ 186
- 69 张翼, Wang W - C, 1992, 全新世中期中国的地面空气温度场, 张翼, 张丕远等, *气候变化及其影响*, 北京: 气象出版社, 91~ 106
- 70 任国玉, 1997, 我国东北全新世干湿状况的演变, (待发表).
- 71 丁一汇, 1997, IPCC 第二次气候变化科学评估报告的主要科学成果和问题, *地球科学进展*, **12**(2), 158~ 163

A Review on Records and the Possible Causes of Global Climate Changes

Ren Guoyu

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract Much work has been conducted about the analyses of the instrumental and paleo- climate data in the past two decades. It has also been recognized that the paleo- climate data and the analysis are of importance for the understanding of the modern global climate changes. However, in the newly published IPCC report, less attention has been given to the paleo- climate history, and some treatments for the paleo- data may be improper. A review on the climate change history from instrumental as well as paleo- records is given, and the relevance of the paleo- data for the detection and attribution studies of the global climate change is discussed. On the basis of the present knowledge, it seems that the natural variability may account for at least part of the past one hundred year climate warming. Up to now, we still can not rule out the possibility that the global warming in the past century is caused mainly by the natural forcing. This conclusion does not mean that the human- induced climate change will not occur in the future, but it indeed indicates the complicated situation the scientists face at present in understanding the causes of the near- past climate change. More research works have to be conducted before we can tell the true story about the global warming and its impacts on social- economy.

Key words climate change paleo- climate natural variability human activities