

全球变化的主要科学问题

叶笃正 符淙斌

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文概要地介绍了全球变化国际研究计划发展的现状, 论述了它的科学目标, 从地球系统维持和运行机制变化规律以及人类对环境的影响等方面分析了需要进一步研究的主要科学问题, 指出了实现全球变化研究目标的关键措施。

关键词: 全球变化; 地球系统科学。

一、引 言

自地球诞生之日起, 它的环境就在不断变化。在人类出现之前, 这种变化纯粹是受自然推动力支配的。例如, 近百万年来, 冰期和间冰期交替出现, 其周期大约为 10 万年。现在普遍认为此种周期是地球轨道参数(黄道偏心率, 黄赤交角和岁差)的周期性变化的结果^[1]。

自人类诞生之日起, 人类就开始干预了地球环境的演变过程。当然在初始时期人类对环境的干预是微不足道的。然而在古罗马时代, 地中海大部分森林已被破坏^[2]; 在中国, 黄土高原的森林大约在春秋战国后期已大部分被破坏^[3]。人类活动开始显著地影响生态环境。但是, 直到工业革命以前, 这种影响还只是局部的。

随着人类社会的发展, 人类对环境的影响日益增长。早在 1972 年, 联合国召开了著名的“人类环境大会”, 号召各国政府关注环境问题。但是, 当时的注意力还仅限于一个国家和一个地区的问题, 其学科范围主要限于地球科学的各个分支。

今天, 人类对全球环境问题的严重性、复杂性以及人类自身对环境影响程度的认识达到了一个新的高度。全球环境问题已成为人类社会持续发展的一个中心议题。

(1) 人类赖以生存的环境是由大气圈、水圈、陆圈和生物圈组成的地球系统的整体行为。在这几个圈的非常复杂的非线性相互作用下, 人类生存环境继续不断地向前演变。

可以说, 过去几十年内, 人类对影响地球环境的物理过程和它们之间的联系的认识有很大的长进。但是, 全球环境问题要求把物理、化学和生物过程联系起来, 研究有生命的行为和无生命的行为的相互作用, 其中也包括人类本身。正是这种相互作用控制着

1993年4月9日收到, 1993年9月8日收到修改稿。

地球环境的演变。

(2) 到现阶段, 人类是引起地球环境演变的一个最活跃的因素。今天, 人类活动对环境的影响能力在某些方面已经可以同自然界的推动力相比, 甚至超过它。人对环境的影响不仅是局部的、区域的, 而且是全球性的。例如, 化石燃料的燃烧、反刍动物的大量饲养和水稻的大量种植等等, 大大地增加了大气中温室气体的含量, 从而可能影响全球的气候。根据 IPCC 的报告^[4]。二氧化碳和甲烷含量在 18 世纪之前相对比较稳定, 此后缓慢上升, 20 世纪中期之后上升速度急剧增加。氧化氮含量自 18 世纪中叶就开始上升, 20 世纪中期之后猛烈增加。CFC₁₁ 在 1930 年之前在大气中几乎不存在, 50 年代之后它的含量直线上升。工业化以来它们的年平均的增长速率为: CO₂ 为 0.5%; CH₄ 为 0.9%; CFC₁₁ 为 4%; CFC₁₂ 为 4%, N₂O 为 0.25%^[3]。

大气中温室气体含量的增加将导致气候的变化。如以全球地面平均温度的变化来表示, 根据气候模式的计算, 随着温室气体的增加全球平均温度亦将上升。图 1 是 1861—1990 年间全球平均温度的演变^[5]。虽然资料来源不一, 有些地区资料也缺乏, 但这是经过世界各国的专家们努力, 在目前水平下最完备的代表性曲线。该图基本上给出了全球地面平均气温 (包括陆地和海洋) 变化趋势。可以肯定地说, 过去百年来全球温度升高了 0.3—0.6°C (误差小于 ±0.05°C)。这个数值与三维气候模式预报的结果相当吻合。最新的结果表明, 80 年代是近百年来最暖的十年, 1990 和 1991 年更是两个最高温度年。近百年来, 高山冰川平均是后退的^[6], 海平面高度也是升高的^[4], 这些现象说明地球平均温度是升高的。当然, 由于近百年来地球增暖的数值与自然的气候变率相当, 我们还不能肯定观测到的全球增暖就是由于温室效应引起的。

CFC_s 不仅是温室气体, 这类气体输送到平流层, 还可以引起那里臭氧含量的减少, 以南极最为明显, 称之为“南极臭氧洞”现象^[7]。近年来发现, 除热带以外, 两半球中高纬度地区气柱内臭氧总含量均有显著减少趋势^[5]。臭氧含量的减少会增加到达地面的太阳紫外辐射, 从而对人类和动植物产生严重的危害。

又如农业、林业和其他各种土地和水体利用, 工业活动、废物处理等严重地影响了陆地及沿海的生态系统, 进而引起动植物生产力、水资源和大气化学的变化。这些变化有的直接、有的间接地造成酸雨的发生, 平流层臭氧含量的减少, 给人类带来严重的危害。

更引起人们注意的是, 自然界引起的地球环境变化在一定程度上带有循环性质, 亦即变坏 (对人类不适宜) 之后, 还会变好。例如, 气候的冷暖、干湿等的交替出现等。然而, 人类作用的影响, 如果不加控制, 不进行自身的调节, 则往往是单一方向的。例

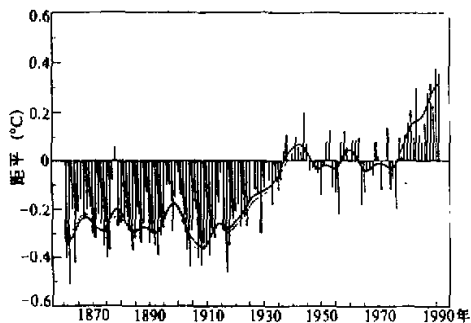


图 1 1860 年以来全球地面平均气温变化^[5]

如,工业化引起的大量二氧化碳排放,将可能使大气中的二氧化碳浓度越来越高。即使人类在某个时间之后停止一切影响地球环境的活动,如停止燃煤(这是不可能的),在其后的一个相当长的时间内,大气也不会返回其原来状态,如恢复到工业化之前的二氧化碳水平。

人们认识到了这个非常严峻的事实。这是一个全球性的共同问题。

(3) 人类应该也有能力通过调节自身的行为保护环境,并引导地球环境朝着有利于人类生存的方向发展。

人类社会的发展、科学和技术的进步,为人类研究和控制全球环境问题提供了可能。例如,卫星遥感技术有可能从整体上来监测地球环境的变化;高速大容量的计算机有能力传送处理全球环境变化的巨大信息,诊断和模拟复杂的、高度非线性的地球系统的演变,进行全球环境变化的预测;高度发展的工业技术可以为环境工程提供最先进的设备和方法,以控制环境发展的方向。

地球环境变化有各种时间尺度。但是,对人类社会最迫切的具有现实意义的是几十年到百年的尺度,这关系到当代和今后几代人的生存环境。在这样的时间尺度,由自然因素引起的环境变化振幅相对地较小,这种缓慢的环境变化可以看作为一种相对稳定的状态。而人类活动产生的环境变化,在强度上甚至超过了这种缓慢变化,成为主要因素。例如,100年内地球平均温度的变化通常不超过 0.5°C ,但是由于大气中温室气体量变化所造成的50—100年内的气候变暖可以达到 $1.5\text{—}4^{\circ}\text{C}$ ^[5]。因此,从某种意义上来说,在这样一个时间尺度上,控制环境变化的主动权在人类本身。但人类能否很好地使用这个主动权是个非常复杂的社会问题。如何实现环境 and 经济持续发展,是一个很困难的科学研究问题。现在人类还刚刚开始注意这些问题。

然而在这样一些基本认识的指导下,从70年代开始世界科学团体经过长期准备酝酿,建立了以整体地球为对象的空前规模的国际合作研究计划,即全球变化研究,成为当代世界科学的一个前沿领域。各国的政治家们也在讨论这个问题。

二、全球变化研究的科学目标

全球变化研究人类赖以生存的整个地球系统维持和运转的机制,它的变化规律以及人类活动对地球环境的影响,从而提高人们对未来几十年至百年尺度地球环境变化的预报能力。它包括了三个相互作用过程的研究:

(1) 地球系统各组成部分之间的相互作用,即大气圈、水圈、陆圈和生物圈之间的相互作用;

(2) 地球系统中三大基本过程,物理过程、化学过程和生物过程之间的相互作用;

(3) 人与环境的相互作用,即人类活动对地球系统及其演变的影响程度和方式,以及环境因素对人类社会持续发展的影响。

因此,全球变化研究强调从总体上来研究整个地球系统的行为。在方法论上,它突破了传统的学科界线,不仅强调地球系统非生命行为之间的相互作用,而且希望从生命世界同非生命世界之间的联系上,揭示地球系统的变化规律和机理。同时,它十分强调人在环境变化中的作用,发展自然科学同社会科学之间的相互结合,希望人类不断调节

自身的行为中,使环境朝着有利于人类社会的发展方向。

围绕着全球变化研究的总目标,经过长期的酝酿和可行性研究,已经形成了相互联结各有重点的三个国际计划。

(1) 世界气候研究计划 (World Climate Research Programme, 简称 WCRP), 它是由国际科联 (International Council of Scientific Union, 简称 ICSU) 和世界气象组织 (World Meteorological Organization, 简称 WMO) 联合主持的, 以研究物理气候为主要对象的国际计划。这个计划从 70 年代开始酝酿, 80 年代开始执行, 是开展得较早的一个计划, 主要研究地球系统中的物理过程。

(2) 国际地圈-生物圈相互作用计划 (International Geosphere-Biosphere Programme, 简称 IGBP), 它是由国际科联主持的, 主要研究生物地球化学子系统, 以及这个子系统与物理气候子系统的相互作用。这个计划从 80 年代初开始酝酿, 进行可行性论证, 于 1986 年正式提出科学计划, 1990 年转入执行阶段, 暂定为 10 年。

(3) 全球环境变化的人文科学研究 (Human Dimension of Global Environmental Change, 简称 HDP/GEC), 它是由国际社会科学理事会 (International Social Science Council, 简称 ISSC) 主持的, 从社会科学的角度来研究全球环境变化的一个国际计划, 主要研究人类活动对环境的影响以及环境变化对人类社会发展的制约作用。它是最近几年才提出的一个科学计划, 将逐步转入实施。

上述三个研究计划, 围绕着一个总的目标, 就是逐步减少我们对地球系统演变规律 (包括自然的和人为的) 认识中的不确定性, 从而对未来环境发展趋势, 提出科学的预测意见, 为全球环境问题上的宏观决策提供科学依据, 也为各国政府在资源开发利用、环境保护和治理等方面政策的制定, 提出咨询建议。这就是政府间气候变化委员会 (Intergovernmental Panel for Climatic Change, 简称 IPCC) 的任务。它是由联合国环境署 (UNEP) 领导的。因此, 三个计划的研究成果, 就是 IPCC 的工作基础。图 2 概括了 WCRP, IGBP, HDP/GEC 和 IPCC 的工作领域和它们之间的关系。

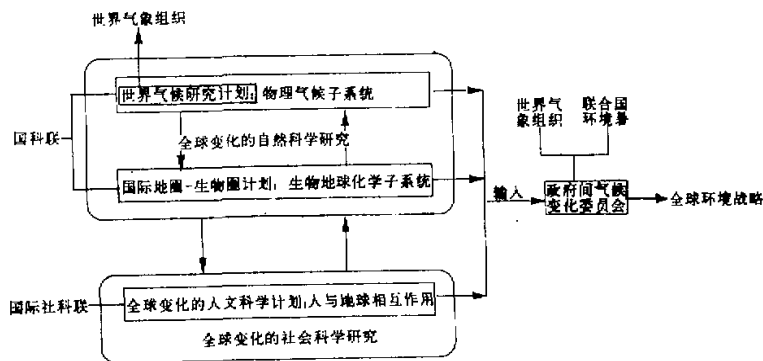


图 2 全球变化研究的主要国际计划及其相互关系示意

三、全球变化的科学问题

为了实现全球变化研究的科学目标,首先要弄清楚其中的科学问题是什么。根据现有的知识,有以下的科学问题需要回答。WCRP, IGBP 和 HDP/GEC 等国际研究计划正是围绕着这些科学问题来组织项目和课题的。

从根本上来说,全球变化是地球系统内在的动力和热力作用以及这种作用对外部作用力响应所决定的。对于几十年到百年尺度变化来说,地球系统可以看作由慢变化和快变化两个系统组成,快变化系统由大气,陆面和上层海洋组成,慢变化系统由下层海洋及深海环流,冰川和冰盖等组成。快系统是驱动地球系统其他部分的热机,供给动量、水和能量。如云控制着行星反射率和可到达地面的辐射能量,驱动大气运动,同时也是供给生物生长的主要能源。蒸发和降水控制地球水循环,也控制着地球上生物和需要的淡水,淡水供应控制植物的分布;植被和土地利用是控制阳光吸收,蒸腾和湍动水热输送的主要因子。同时,水体和土地利用影响生物地球化学循环,这本身又受到人类活动所支配。因此,一方面能量过程是地球系统变化的动力。另一方面这种动力又要依靠两个物质循环过程,水循环和生物地球化学循环把大气、海洋、陆地和生物圈联结起来。这里我们从驱动地球系统的太阳能开始来讨论全球变化的主要科学问题。

1. 全球大气化学组成的控制和调节

地球系统的根本能量来源是太阳辐射。大气的化学组成,特别是温室气体的含量是调节大气所吸收的辐射量和到达地面的辐射量的主要因子。因此,控制地球大气化学组成的过程是一个重要的科学问题,其中生物过程在消耗和产生有辐射能力的微量气体中的作用又是一个知道得很少的关键性的科学问题。

大气的化学成分受到生物过程的强烈影响,大气的自然组成在化学上是不稳定的。如果地球上没有生命存在,大气成分就将与现在有很大的不同。如果没有植物的参与,大气中的氧气就要减少几千倍,二氧化碳含量就会增加几千倍。这样的大气状况几乎完全不适合今天各种生命形式的生存。由于生命的存在增加了大气中 N_2 、 O_2 等主要气体的含量,也增加了 CH_4 、 N_2O 等温室气体的含量。同时则减少了 CO_2 、 CO 等的浓度^[8]。

许多自然过程和人类活动影响大气中温室气体,主要是 CO_2 、 CH_4 、 NO_x 的浓度。了解温室气体的源、汇,对于改进全球气候模拟十分紧迫。例如:如果 CH_4 仍维持现在的每年 0.9% 的增长率,到下一世纪内由它引起的增暖就要大于 CO_2 的影响^[8]。而 CH_4 间接或直接都来源于生物体。因此,IGBP 设置了国际全球大气化学计划 (International Global Atmosphere Chemistry, 简称 IGAC)。它的主要研究内容是:(1) 基本弄清控制全球大气化学组成的过程;(2) 认识大气化学过程、生物过程和气候过程的相互作用;(3) 预测自然和人为因子对大气化学组成的影响。

2. 海洋生物地球化学过程与气候变化的相互影响

海洋拥有大约 95% 的在生物圈内循环着的碳^[8]。二氧化碳在海洋内的储量高出大气

储量约 55 倍^[7]，因此，海洋内部碳循环的变化是大气二氧化碳长期变化的主要控制因子。根据估计，由人类活动产生的 CO_2 ，只有不到 60% 存在于大气里，其余的主要转送到了海洋^[9]。海洋内部的碳循环是十分复杂的，它包括了许多有机和无机的物质循环过程。各类生物过程和化学过程影响海洋的输送和碳的转换。因此，现在的测量和模拟结果对海洋和大气之间 CO_2 交换的数量和分布还有许多的不确定性。IGBP 针对这一问题建立了全球海洋通量研究计划（Joint Global Ocean Flux Study，简称 JGOFS）。它的主要内容是：

（1）研究控制海洋内部碳循环和相关联的生物因子随时间变化的大尺度过程，估计相应的海洋和大气之间的 CO_2 交换以及海洋与海底和大陆边界之间的碳的交换；

（2）研究海洋生物地球化学过程对人为扰动的响应，特别要研究与气候变化有关的人类活动对海洋过程的影响。

3. 海洋热力过程对气候的影响

辐射能量到达地球之后，主要被海洋表面所吸收，储存在上层海洋。下部海洋比较冷，所以层结是稳定的，因此它的“惰性”很大。通过这种“惰性”，海洋可以把大气加于它的快过程变成较缓慢的过程，这就是所谓“滤波作用”。海水运动相对于大气是缓慢的，尤其是深层海水环流异常地慢，所以它对于气候影响的时间尺度非常长。由于上述原因，海洋对气候变化有着重要的作用，尤其能对气候变化起滞后作用。但是，海洋上观测记录稀少，人们对海洋环流的知识很不完全，尤其是深水环流，大部分还是推测的结果。了解全球海洋环流的实际状况，对于地球系统的能量收支和生物地球化学过程都是十分重要的。为此，WCRP 建立了“全球大洋环流试验”研究计划，（World Ocean Circulation Experiment，简称 WOCE），它的主要研究内容是：

（1）建立多年平均三维全球大洋环流；

（2）确定全球海洋热通量、淡水通量以及与大气之间的交换；

（3）研究海洋环流的年变化和年际变率；

（4）估计各大洋之间水的交换率。

热带海洋对气候的影响是又一个重要的问题。太阳辐射有相当大的部分被热带海洋吸收，再通过海洋和大气运动向高纬度输送，以维持系统的热量平衡。热带海洋和大气固有的时间和空间特征，使得这里的海洋大气相互作用特别强烈，所谓厄尔尼诺（El Nino）和南方涛动现象就是一个很突出的例子，它是年际尺度气候变化的强信号，对世界许多地区的气候有直接影响，如印度季风、澳大利亚干旱等。影响我国降水分布的副热带高压强弱就与热带太平洋的海温有密切关系^[10]，后者就是厄尔尼诺现象的表现之一。然而，厄尔尼诺产生的原因是什么，它的演变是如何影响气候的呢？迄今还有许多问题不清楚。因此，WCRP 建立了热带海洋和全球大气研究计划（TOGA）。

应当指出，海洋中生物地球化学循环过程和海洋的热力过程和海洋环流有密切关系。例如海水温度就是控制生物地球化学循环的一个重要因子。海洋环流对于生物地球化学循环有重要作用，它们又同时受气候变化的影响，从而受海洋生物地球化学循环过程所制约。所以，实际上 JGOFS，WOCE 和 TOGA 之间有密切的关系。

4. 地球系统能量和水的循环

水分和能量以及它们之间的相互作用又是决定包括气候在内的地球环境的两大基本因子。尽管水分过程十分重要,但人们对水分在气候系统中转换的实际过程及其相关联的能量过程了解得还很不清楚。这里包含着大气辐射,蒸发(蒸腾)、降水、径流、水汽输送,云的形成等一系列问题。因此,全球气候模式对水文过程的处理很不完善,从而影响它们对全球和区域气候的模拟能力。为了了解地球系统中能量和水分循环过程,WCRP建立了“全球能量和水循环实验”研究计划(GEWEX),这个计划是由大气物理、气象和水文学家联合组织的,以模拟和野外观测为主要内容,设计GCM网格尺度的观测试验。

最近,植被在全球能量循环和水循环中的作用,已引起了人们的注意。植被的作用是多方面的。首先,植被的存在改变地表反照率,从而影响地面的辐射收支,地表和大气之间的感热和潜热通量。另一方面,植被冠层既有强的蒸腾作用,又可以截流降水,有植被的土壤具有减少径流和保持水分的作用。植被的另一个重要作用是通过根系把地下水 and 大气水连接起来。如果没有植被,由于土壤潜在的蒸发能力高,土壤水分将很快被蒸发殆尽成为干土。但是,被深根覆盖的土壤,有时虽然经过相当长的干旱期,仍可有蒸发作用,因为根系可以吸收深层地下水。平均而言,水在大气中停滞的时间为10天左右,然后以降水的形式回到地面。在海洋上,岛屿和季风区,水分主要是来自海洋;而在内陆区,陆地的蒸腾则是主要的来源。根据最新的估计^[8],就全球而言,植物的蒸腾和垂直方向的蒸发,占降落到地面的总降水量的65%,即大约每年 70000 km^3

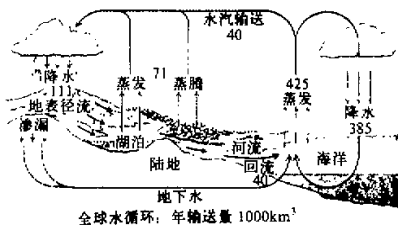


图3 全球水循环示意^[8]

的水量^[8]。但是,与地球水循环的其他分量一样,这种贡献有很明显的局地 and 区域的差异,它与降水变率、土壤和植被类型、地形和温度有密切关系。由自然或人为原因造成的植被覆盖状况的变化,对水循环有显著影响,从而扩展到整个气候系统。这种影响可以是区域的,也可能是大陆尺度,以至全球的。人们对植被的这些作用,特别是蒸腾过程的认识非常不够。因此,IGBP设置了“水循环中生物作用”的

研究计划(Biospheric Aspects of Hydrological Cycle,简称BAHC),它是与GEWEX相配合的,后者着重于物理方面,前者着重植被的生物过程方面,研究植被和土壤的组成和分布与水和能量循环过程的关系。BAHC的研究分为三个尺度:

- (1) 均一植被区(Patch scale)的土壤、植被和大气之间的通量研究;
- (2) 区域尺度陆面特征和通量研究;
- (3) 生物圈对水循环影响的大尺度研究。

这个计划同下面将提到的GCTE有密切关系,因为后者主要研究陆地生态系统的结构和功能变化,同生物圈在水循环中的作用有直接的联系。

5. 海洋过程和陆地过程之间的联系

海洋过程和陆地过程是影响地球环境和气候变化的两大因子, 它们之间是紧密联系着的, 其中海陆之间的过渡带——海岸带是这种联系的一个重要渠道。研究海岸带的海陆相互作用是一个重要的科学问题。

所谓“海岸带”(Coastal zone)是指从沿海平原(Coastal Plain)到大陆架边缘的地带^[11]。

虽然这个带仅占地球表面的 8%, 它的生物产量却达到 23%, 占整个海洋捕捞量的 90%^[11]。那里居住着一半以上的世界人口, 提供着食物、矿产和交通运输等重要资源, 同时, 也是人类所产生的废物的排放地。

这个地带对温室气体的全球通量及重要元素 C, N, S 的循环也有重要贡献。例如, 河口和沿海沉积物中的有机碳是一个重要的库(汇), 沿海水中起源于陆地的有机物氧化是大气中 CO₂ 的重要来源。

由于全球人口增长, 并且越来越多的人喜欢居住在沿海地区, 最近几十年人类活动对海岸带的影响更为严重, 反过来又对全球气候和环境产生反馈影响。研究气候、土地利用和海平面变化对海岸带的影响, 预测其未来的变化对海岸带的管理和持续发展有重要意义。为此, IGBP 建立了一个核心计划, 称之为海岸带的海陆相互作用(Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, 简称 LOICZ)。这个计划的主要目标是:

(1) 确定全球海洋和陆地之间物质转换的速率和全球变化(包括海平面、气候、土地利用以及海岸带资源开发等)对这些通量和海岸带结构功能的影响;

(2) 研究海岸带的生物地貌和生物地球化学过程对全球变化的响应及其对全球环境的反馈;

(3) 预测在全球变化(气候变化, 人口增长和海岸带的社会经济活动)影响下, 海岸带生态系统的变化和海岸资源的承载能力。

东南亚有全球发育最好的海岸带, 那里的人类活动对海岸带有重要的影响, 是研究海陆相互作用的典型区域之一, 已经成为 LOICZ 研究的一个重点。

6. 平流层过程对气候的影响

地球大气分为中层、平流层和对流层等主要层次, 它们之间有着紧密的联系。其中平流层大气就对对流层气候有重要影响。例如大气中的臭氧绝大部分集中在平流层, 它吸收绝大部分来自太阳的紫外辐射, 使地面生物免受强紫外辐射的危害。平流层臭氧含量的减少不仅对人类健康和地面生态系统有影响, 而且对气候也有影响。平流层臭氧含量是如何控制的? 火山爆发向平流层喷放大量气溶胶粒子的方式以及平流层气溶胶对气候的影响如何? 平流层气溶胶的数量、物理化学性质和生命史, 平流层和对流层大气交换过程, 平流层大气的各种变化对气候的影响? 气候变化对平流层各种物理过程反馈等等, 这些都是全球变化中的科学问题。为此 WCRP 设置了“平流层过程和它们在气候中的作用”(Stratospheric processes and their role in climate, 简称 SPARC)。它的主要研究内容有四个方面:

- (1) 平流层在气候变化中的作用;
- (2) 与臭氧含量减少有关的平流层过程研究, 包括人类因子对臭氧排放的影响;
- (3) 平流层的全球变化;
- (4) 平流层变化和紫外辐射的穿透。

这些问题是涉及到平流层和对流层相互作用的动力和辐射过程、大气化学过程以及自然和人为扰动影响等多学科的复杂科学问题。IGBP 已经将平流层过程对生态系统的影响、对大气化学过程的影响包括在它的几个核心计划中。

7. 地球环境过去的演变及其变化的原因

现在和未来是过去的延续, 要了解现在和预测未来, 自然要研究过去的演变过程。在过去的历史长河中发生过多次重要的环境演变。图 4^[5]给出了 16 万年以来的温度变化。从第四纪算起, 在它的末期有末次冰期和间冰期, 在全新世里有全新世的暖期和 14 世纪以来的小冰期, 以及小冰期之后的回暖。这些重要的历史事件是如何发生的? 它们在全球的分布如何? 原因何在? 图 4^[5]给出了由冰芯分析得出的历史上大气中 CO_2

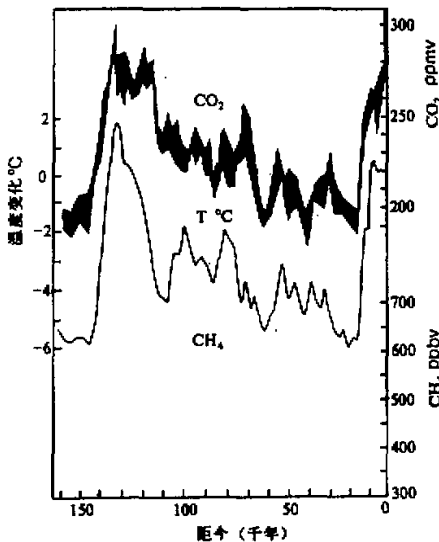


图 4 由南极冰芯记录重建的 16 万年以来温度、二氧化碳和甲烷浓度变化^[5]

和 CH_4 等温室气体含量的变化, 这些温室气体含量变化和温度变化似乎有很好的关系, 尤其是近百年来全球平均温度不断升高, 与 CO_2 和 CH_4 等温室气体含量的升高密切相关。但仅用温室效应来解释近百年来温度的上升还有不少不确定性。力求减少这些不确定性, 探索近百年来全球升温的原因, 这对预测未来全球环境变化非常重要。

我们知道土地利用的变化 (如毁林造田, 大面积灌溉, 土地沙化等等) 对气候和环境有重大影响。自人类诞生以来, 人类就一直改变着地表状况, 影响气候和环境。历史上气候和地球环境变化的演变有多大程度上可用人类活动解释? 在演变的成因上又如何区分人类活动与自然界的驱动?

地球系统是由高度非线性相互作用的若干子系统组成的, 它有没有不稳定

状态? 它的失稳就会造成它的环境状态不稳定。各种历史记录指示着气候在历史上可能有突然变化。如在约 1.2 万多年前大气由暖突然变冷, 称 Younger Dryas, 是一次公认的气候突变^[12]。再如在我国河南可能发生过几次干湿气候的突变, 在 1483—1533 年的 50 年内有 7 次大灾年, 7 次都是大旱, 没有大涝, 而在紧接着的 48 年 (1535—1583 年) 中的 7 次大灾年都是大涝, 没有大旱。在这个时段出现过一次由干变湿的气候突然

变化^[13]。历史上突然变化是应该找出的, 它的成因应该在理论上给予探讨。

为了研究地球环境过去的变化, IGBP 提出了“过去全球变化”的核心计划 (Past Global Changes) 简称 PAGES。主要应用新技术研究环境演变的历史, 重点是了解生物圈在近代环境变化中的作用。自然过程和人类活动对环境变化的影响。它确立了两个主要研究尺度:

一是近 2 千年来高分辨的环境变化历史的研究。既要分析太阳变化和火山活动等自然因子的影响, 也试图把人类的影响从自然变率中区分出来。二是一个完整的冰期-间冰期过程的研究, 以了解地球系统长期演变的动力过程。中国有丰富的环境史记载, 可以提供研究。我国气候工作者已经有过大量研究, 今后应更加深入。尤其是要加强合作, 提出有权威性的系统和定量的我国历史上气候演变实况, 以求在 IGBP 的“过去的全球变化” (PAGES) ^[14] 课题中做出我国应有的贡献。针对气候变化, WCRP 还建立了全球气候变化的研究计划 (CLVAR)。

8. 全球变化对陆地生态系统结构和功能的影响

这是一个既有理论价值又有实际意义的科学问题。它同直接供给人类吃、穿、用的农业、林业和畜牧业等的发展有密切关系。

由于人类社会发展的直接影响, 全球的土地资源和环境已经经受了巨大的变化, 这种变化还在继续, 而且其变化速率呈指数增长。今天, 全球耕田面积有 1500 万 km², 畜牧用地 3200 万 km², 商用森林地 1000 万 km², 剩下大约 9000 万 km², 多半是生产率低下, 可利用率很低的土地^[8]。正是这样的土地资源供养着人类发展的基本需求。由于人类活动, 植被破坏, 大量物种消失, 土壤侵蚀, 沙化, 肥力减退, 据估计, 全球每年损失的表层土壤约 75 亿吨^[8], 致使陆地生态系统的自然产量不断下降。今后 50 年, 世界人口将增加 1 倍, 对土地的压力将再度加大。此外, 气候和大气成分的变化对自然生态系统和人工生态系统的结构和生物产量也将产生全球范围的影响。了解造成这些影响的过程, 进一步正确评价全球变化带来的利害关系, 对于人类社会的持续发展意义重大。为此, IGBP 建立了“全球变化和陆地生态系统” (Global Change and Terrestrial Ecosystem) 的核心计划, 简称 GCTE。它的主要目的是, 了解气候变化, 大气成分变化和土地利用对陆地生态系统的影响, 并预测这种影响以及它们对物理气候系统的反馈。它将集中研究四个主要问题:

- (1) 全球变化对生态系统的生理过程的影响;
- (2) 全球变化对生态系统的组成和结构的影响;
- (3) 全球变化对农业和林业发展的影响;
- (4) 全球变化对生态系统多样性的影响。

研究将包括大型生态系统的观测试验, 主要作物区的加强观测和长期的生态系统模拟等。第一个问题是基础, 它述及到生态系统生理过程中最基本的问题。图 5 给出了它所包括的主要科学内容^[15]。

9. 对地球系统的各个部分和各种基本过程的综合分析和模拟研究

WCRP 和 IGBP 分别研究了地球各个子系统的内部过程以及它们之间的联系, 对

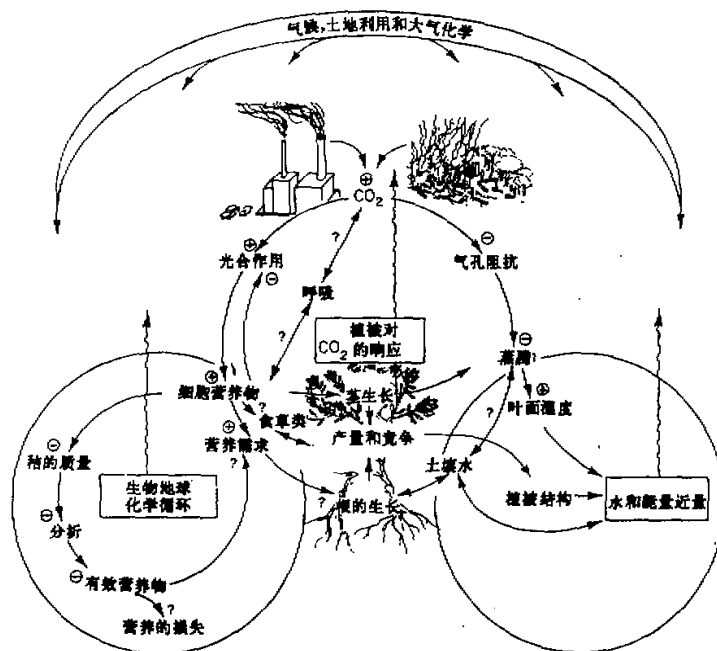


图 5 生态系统的生理过程与全球变化关系示意^[15]

所得的大量结果和由卫星以及其他的观测取得的新事实加以综合分析,用统一的观点加以解释,才能得出地球环境变化的统一的图形。这个图形既能描写各个子系统互相适应的关系,又能描写各种循环(生物地球化学、水和能量循环等)和各种过程的内在联系(相互影响和相互反馈)。它初步的概念图形如图 6 所示^[8]。由此设计出描述整个地球系统演变的数学模型,在未来的超高速电子计算机上运算,进行各种模拟和敏感性实验,再用特为全球变化设计的地球观测系统所得资料进行验证。为此,IGBP 建立了“全球分析、阐述和模拟”(Global Analysis, Interpretation and Modelling (GAIM))课题。它的最终目的是定量地分析地球环境的变化。这是人类最大的一个地球物理试验。要处理这个高度非线性的复杂的地球系统,难度是很大的。首先必须通过许多计划的研究逐步减少对地球系统相互作用的许多重要环节认识的不确定性。同时通过数值模式这种最有效的手段把已有的认识集中起来进行系统分析。现有的子系统模式需要进一步发展,并逐步耦合起来。现阶段的主要任务是:(1) 植被-气候双向耦合;研究区域和全球气候变化对陆地生态系统分布的影响和它们对气候变化速率的敏感性;(2) 陆地、海洋和大气三向的碳循环模式的耦合,主要研究生物过程在大气 CO_2 和 CH_4 含量变化中的作用。

10. 人类活动在全球环境变化中的作用

研究全球环境变化的社会和经济原因以及它们对社会经济发展的影响具有十分明显

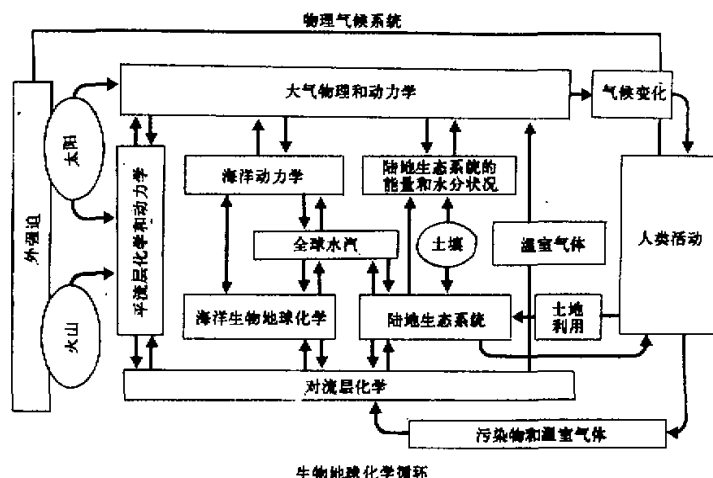


图6 地球系统示意

的实际意义。对于人类因子（包括人口的多少及其增长速度、密度和结构），经济的投入产生类型、技术的发展、健康和社会福利需要、社会结构等，需要研究的问题有：人类活动对土地利用状况变化的影响；人类对海岸带发展的影响；社会和经济因素对温室气体排放的影响；过去环境变化和社会变化之间联系等等。这些问题的研究需要自然科学家和社会科学家的密切合作。IGBP 和 HDP/GEC 已经提出了一个以研究土地利用和覆盖状况变化为主要内容的联合研究计划（LUCC）。这个计划对发展中国家有普遍意义，因为那里人类活动的主要形式是土地利用状况的变化，一方面可以改变地表的物理特征，直接影响地面—大气之间的热量、水分交换；另一方面又可以改变地表的生物地球化学循环过程，影响地面大气之间的微量气体交换和其他物质通量，两者均可显著地影响气候。

四、完成全球变化研究的关键

（1）观测：全球变化的研究需要以地球系统各组成部分变化的长期监测为基础。根据第二次世界气候大会的建议，在现有观测系统基础上，WMO 联合 NASA，ESA（European Space Agency）和 CNES（the Centre National d'Etudes Spatiales）等组织筹备“全球气候观测系统”（GCOS）。GCOS 的目的是：①气候系统监测、气候变化信号的检测和陆地生态系统对气候变化响应的监测；②为各国经济发展提供必要的资料和信息；③为认识、模拟和预报气候系统提供资料；④最终为气候预报提供一个综合的观测系统。该系统中卫星部分如图 7 所示^[16]。地面部分有 WWW（World Weather Watch），再加上监测全球大气化学以及其他大气物理要素的“全球大气监测”（Global Atmospheric Watch）。此外还有地面的生态系统方面的监测（GTOS）和全球海洋观测

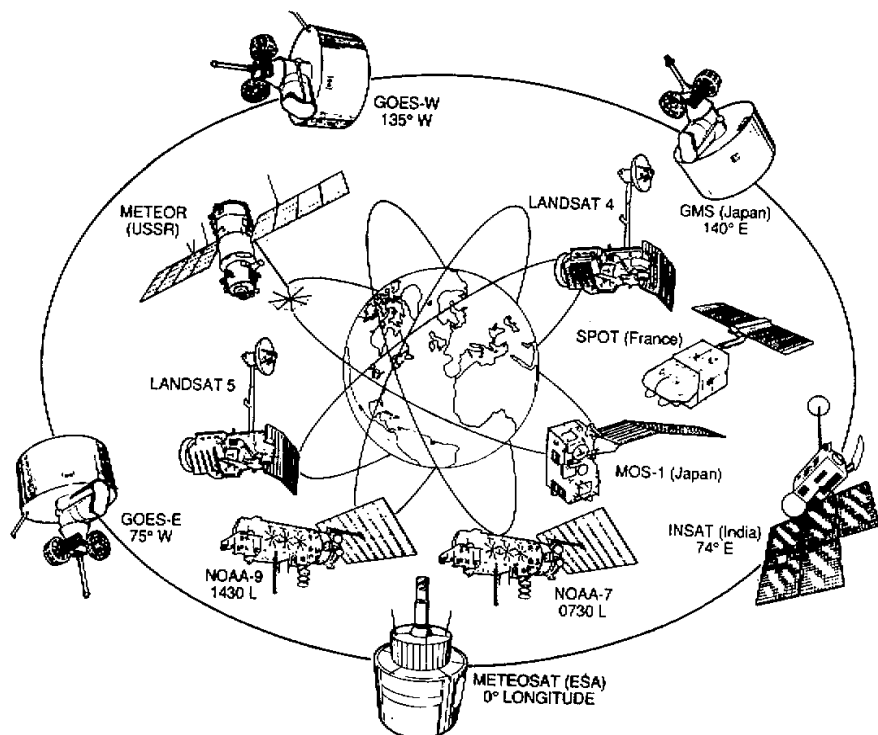


图 7 运行中的地球观测卫星状况^[16]

系统 (GOOS)。这就组成了包括大气、海洋和生态系统在内的三维空间的地球环境监测网。这个监测网的一大特点就是把无生命的和有生命的东西作为一个有机的联合体进行监测。

(2) 超高速的电子计算机: WCRP 和 IGBP 的成功将依赖于电子计算机的发展。自计算机诞生以来, 它的计算能力随时间有飞跃的发展。预计到本世纪末, 将有每秒千亿到万亿次机出现。

(3) 资料、信息数据库: 这方面的需要是显然的。IGBP 里有一个数据与信息系系统。它的主要职能不是储存资料和供应全球变化所需要的资料, 而是促进已有的各个资料信息中心之间的连接和合作, 以建设全球环境的完全的信息系统, 同时加强同地球观测系统之间的合作, 从全球变化的需要向观测系统提出需求, 并有效地获取观测系统提供的信息和资料。

(4) 全球研究网络: 显而易见, “全球变化计划”是一个高度的国际合作计划, 绝非少数国家所能包办。必须强调指出, 大量发展中国家的参加是这个计划成功的关键之一。为此 IGBP 同 HDGEC 和 WCRP 相结合, 计划建成全球变化研究网络称为全球变化分析、研究和培训系统 (Global Change System for Analysis, Research and Training), 简称 START。START 将全球分 14 个区 (图 8, 区域研究网络)^[17], 每个

区建立一个区域研究中心 (Regional Research Center, RRC) 和若干研究站 (Research Site), 由研究中心和研究站组成网 (RRN)。现在全球正筹建三个中心, 一个在非洲, 一个在南美, 另一个在南亚。区域研究中心将主要设在发展中国家, 它的主要任务是协调组织有全球意义的区域性环境问题的分析研究、区域范围内资料的管理, 系统分析和模拟, 以及组织交叉学科和新技术的培训计划。

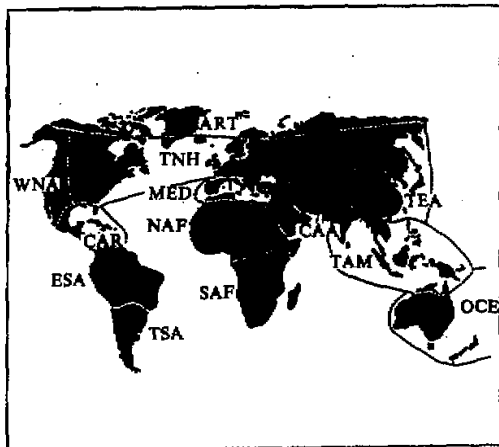


图 3 全球变化区域研究网络分区图^[17]

ANT 南极	AR 北极	CAA 中亚干旱区
CAR 加勒比海	ESA 赤道南非	MED 地中海
NAF 北非	OCE 海洋	SAF 东南非洲
TAM 热带亚洲季风	TEA 东亚温带区	TNH 北半球温带区
TSA 南美温带区	WNA 西北美	

参 考 文 献

- [1] Milankovitch, M., 1930, Mathematische Klimalehre und Astronomische Theories der Klimaschwankungen, in: *Handbuch der Klimatologie*, I (A), W. Koppen and R. Geiger, (eds), Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1-176.
- [2] SC-IGBP, 1988, A Study of Global Change (IGBP), A Plan for Action, A report prepared by the Special Committee for the IGBP, IGBP Report, No. 4.
- [3] 胡鞍钢, 王毅, 1989, 生存与发展, 科学出版社。
- [4] IPCC, 1990, Climate Change. *The IPCC Scientific Assessment*, edited by J.T. Houghton, G.J. Tenkins and J.J. Ephraums, Cambridge University Press, 365pp.
- [5] IPCC, 1992, Climate Change 1992, *The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, edited by J. T. Houghton, B. A. Collander and S. K. Varney, Cambridge University Press, 200pp.
- [6] 施雅风, 1989, 从高山冰川与湖泊变化看西北气候的干暖化趋势, 中国科学院地学部水资源讨论会文集, 1989年1月, 北京。
- [7] SC-IGBP, 1990, A Study of Global Change (IGBP), The Initial Core Projects, IGBP Report, No. 12.
- [8] P. Williamson / IGBP, 1992, Global Change: Reducing Uncertainties, published by IGBP in Stockholm. 40pp.
- [9] SCOR / ICSU, 1990, The Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS), Science Plan, JGOFS Report, No. 5.

- [10] Fu Congbin and Ye Duzheng, 1988, The tropical very low-frequency oscillation on interannual scale, *Advances in Atmospheric Sciences*, 5, 369–386.
- [11] IGBP, 1993, Land–Ocean Interaction on Coastal Zone (LOICZ), Science Plan, IGBP Report, No. 25.
- [12] Dansgaard, W. and H. Oeschger, 1988, Past environmental long-term records from the Arctic, in: *The Environmental Records in Glacier and Ice-sheet*, eds, H. Oeschger, et al., John Wiley and Sons, Ltd.
- [13] Yan Zhongwei and Ye Duzheng, 1991, Climatic jumps in flood / drought chronology in central China during past 4000 years, *Climate Dynamics*, 5, 153–160.
- [14] IGBP, 1992, Past Global Changes Project: Proposed Implementation Plans for Research Activities, IGBP Report, No. 19.
- [15] IGBP, 1992, Global Change and Terrestrial Ecosystems: The Operational Plan, IGBP Report, No. 21.
- [16] WMO, 1991, The Global Climate Observing System, A Proposal Prepared by an Ad Hoc Group of WCRP, at UK, 14–15 January, 1991.
- [17] IGBP, 1991, Global Change System for Analysis, Research and Training (START), IGBP Report No. 15.

Major Issues of Global Change Sciences

Ye Duzheng and Fu Congbin

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

This paper introduces briefly the recent development of international global change research projects and the over all objectives of research and then followed up by an analysis on major scientific issues in relation to the mechanism of maintenance operation and variation of the earth system and the impact of human activities on the global environment. Finally the key approaches to support the global change research are proposed.

Key words: global change; earth system science.