



全球变化科学领域的若干研究进展*

叶笃正 符淙斌

(中国科学院大气物理研究所东亚区域气候环境重点实验室 北京 100029)

摘要 介绍了中国科学院大气物理研究所东亚中心在全球变化科学研究方面的一些进展。主要包括:(1)参与了国际和国内全球变化科学的开拓工作;(2)提出了区域水平上的全球变化研究新方向;(3)气候突变和全球增暖的区域响应研究;(4)东亚季风区植被-大气相互作用研究;(5)区域环境系统模式的发展和亚洲区域模式的国际比较研究活动;(6)提出了对全球变化的人类有序适应的概念、试验观测、理论和方法;(7)面向国家需求的全球变化问题——北方干旱化研究;(8)陆地生态系统碳循环研究等。

关键词 国际 START 东亚区域研究中心,全球变化科学,区域模式,东亚季风



叶笃正院士

1 引言

全球变化科学是 20 世纪后期发展最快、新兴科学领域之一。近 20 年来,大气物理研究所(简称大气所)积极参与了国际上这一领域早期的开拓工作,并在国内努力推动这一领域的建立和发展,提出了一

系列重要的科学思想,取得了一批在国内外学术界有重要影响的研究成果,但限于篇幅,本文着重介绍大气所全球变化东亚区域研究中心的相关研究工作。

2 参与国际全球变化科学领域的开拓工作

全球变化是 20 世纪 80 年代初开始酝酿的一个科学领域。1984 年 7 月,国际科联(ICSU)在加拿

大召开第一次全球变化大会,组织全球变化国际计划的可行性研究,数百名科学家参加了这次大会。叶笃正和符淙斌应邀在会上发表了题为“Climatic Change—a global and multidisciplinary theme”的论文,第一次指出了 10—100 年应当是全球变化研究集中关注的时间尺度,讨论了气候变化与全球变化的联系和区别。在这次大会上,符淙斌^[1]还就气候与生态系统过渡带在全球变化中的敏感性问题发表了评论,受到与会生态学家的高度重视。随后应 SCOPE (Scientific Committee on Problem of the Environment) 邀请在巴黎国际会议上,做了题为“Transitional zones and biome boundaries—a case study from China”的报告,并在 SCOPE 系列专著 *Ecological studies 92, Landscape boundaries* 发表了相关论文,进一步阐述了气候和生态系统过渡带对全球变化中的自然扰动和人为影响的响应特征。

1986 年,ICSU 正式批准建立国际地圈-生物圈计划(简称 IGBP),标志着全球变化科学新领域的诞生。叶笃正担任该计划的特别委员会成员。1990 年,IGBP 正式开始执行,建立了科学委员会,符淙斌被任命为该委员会的成员,直到 1996 年。在委员会工

* 本文内容曾刊于《大气科学》,本刊发表时做了部分删节。
参加本文工作的还有:董文杰、温刚、延晓冬
收稿日期:2004 年 8 月 23 日



作期间,他们的一系列重要科学思想对 IGBP 科学计划的形成和发展做出了重要贡献。

1989 年,叶笃正和符淙斌在 *Climatic Change* 上发表了全球变化可预报性的讨论文章,提出了地球系统的记忆能力和系统各组分变化之间的相互适应问题。

3 推动中国 IGBP 研究计划的制定和发展

20 世纪 80 年代中后期,叶笃正、符淙斌和陈泮勤等组织了我国全球变化的预研究^[1],并且提出将面向国家重大需求又有全球意义的科学问题作为我国全球变化研究的重点。1988 年,在国家有关部门的支持下,发起成立了 IGBP 中国委员会,并着手制定 IGBP 国家研究计划,在这个计划中提出了两个方面的科学问题:

(1) 全球变化对东亚和我国生存环境变化和可持续发展的影响,其中包括全球增暖对东亚季风的影响、对水资源和气候灾害出现频率和强度的影响、对农业的影响以及海平面高度变化等。

(2) 具有全球意义的区域性生存环境问题,其中包括季风气候-生态系统相互作用、人类活动(主要是土地利用在生存环境中的作用)、生存环境的敏感带和变化的突变性等。

根据 IGBP 中国国家研究计划,我们又积极组织申请国家项目的立项工作。1991 年,“全球变化和我国未来(20—50 年)生存环境变化趋势的预测研究”被列为国家攀登计划首批项目,叶笃正等^[2]为该项目的首席科学家。与此同时,在中国科学院、国家科委、国家自然科学基金委等部门的支持下,一批与全球变化有关的研究项目相继立项实施,有力地推动了中国全球变化的研究。

4 提出区域水平上全球变化研究的方向,建立全球变化东亚区域研究中心

为了促进全球变化研究的区域合作,特别是加大发展中国家在全球变化研究中的贡献,IGBP、WCRP (World Climate Research Programme) 和 IHDP (International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change) 联合于 1992 年建立全球变化区域网络系统 START(全球变化分析、

研究和培训系统)。1993 年,在中国科学院领导下,大气所起草了建立东亚全球变化区域研究网络的建议书。1993 年在周光召院长的亲自主持下,在北京召开了由中、蒙、俄、韩、朝、日等国参加的第一次全球变化东亚区域会议,会议修改和通过了中国起草的建议书。这个建议书提出了在东亚开展全球变化研究的意义和建议研究的核心科学问题,把区域水平上的全球变化问题,包括全球变化对区域可持续发展的影响和具有全球意义东亚区域生存环境问题,作为优先领域,同时,还就区域合作的运行方式,包括区域合作委员会、区域中心等问题达成了一致意见。会议决定在大气所建立东亚区域合作委员会秘书处。

紧接着,大气所在中国科学院领导下制定了区域合作研究的执行计划,开展建立 START 东亚中心的筹备工作。经过几年的努力,终于在 1995 年 9 月,经 START 国际科学委员会批准成立 START 东亚区域研究中心(简称东亚中心),该中心挂靠在大气所,符淙斌为中心主任。

5 东亚中心研究工作进展

东亚中心是 START 全球网络中的一个区域研究中心,多年来,东亚中心在全球变化的区域研究领域做出了出色的工作。

5.1 气候突变和全球增暖区域响应的研究

气候和环境突变是一个重要的科学问题,它对预测未来的环境变化有重要意义。东亚中心对亚洲季风和区域气候的突变进行了系统的研究,从突变的定义、检测方法和突变事件的时空特征以及发生机理等方面开展了许多工作。符淙斌等最早揭示了季风亚洲区域气候变化的强信号,指出了气候从一种稳定状态向另一种稳定状态转变中的突变性,严中伟等对 20 世纪 60 年代北半球气候突变事件进行分析,指出了突变的行星尺度带状结构。

符淙斌等^[3]在对 20 世纪 20 年代气候突变的全球特征研究中,指出南亚季风和东亚季风气候突变与全球增暖的突变有一致性,还发现,几乎与此同时,全球,主要是北半球的大气环流也发生了突变。在东亚地区,与 20 世纪 20 年代迅速增暖相联系的



是中国东部从一个相对湿润期进入比较干早期。符淙斌等还分析了发生在 1976 年前后的全球气候突变,这次突变表现在南方涛动指数、热带地区陆面温度、赤道暖池和北太平洋副热带高压强度等一系列重要的海洋和大气现象的变量上,并指出了 ENSO 现象与全球增暖之间可能的相互关系。

5.2 东亚季风区植被-大气相互作用的研究

大气圈和生物圈的相互作用是地球系统中生命世界和无生命世界的重要过程之一,也是地球环境变化中一个最基本的过程。符淙斌等通过卫星遥感植被和地表覆盖信息与气候要素关系的诊断分析以及生态和气候模式的数值模拟,对东亚季风区气候和生态系统相互作用进行了研究,揭示了季风气候变化(季节、年际和长期)对生态系统的影响以及大范围植被覆盖状况变化对季风区域气候的作用。研究发现,受季风气候季节跳跃特征的影响,植被的生长状况也呈现突变征状,植被对温度变化的响应几乎是同时的,而对降水变化的响应要滞后 2—3 旬。这与世界其它气候区植被季节变化的波型有明显不同。在年际或更长的时间尺度,季风气候的大的变率也强烈地影响着生态系统的变化。由温度和降水组成的湿润指数与植被指数和植被类型之间的定量关系建立起来的简单生态系统模式,可以很好地描写东亚地区的植被分布特征。在此基础上提出了季风驱动生态系统的概念。

另一方面,研究发现大范围地表植被覆盖状况变化可对季风区域气候产生显著的反馈作用。它们是叠加在季风系统自然变率之上的一种重要变化。从东亚地区历史上自然植被向现今植被分布的主要变化情况看,80%以上的地区发生了显著的变化,其中包括西北地区原来的草原变为如今的沙漠和半沙漠、半沙漠变为沙漠,东部地区森林变为农田,西南地区常绿阔叶林变为混合林和灌木等,由此产生了地表动力参数的明显变化,如反照率增大、地表粗糙度和叶面积指数的减小等,这些地表动力参数的变化将显著影响地表和大气间的能量和水分交换,从而影响区域气候和环流,使夏季风减弱和冬季风加强,有利于干旱气候的发展。由于

东部地区异常的北来气流和增强的下沉运动显著地抑制了水汽的向北输送和对流活动的发展,导致了干旱的大气状况。同时,地面水分循环的主要分量,如降水、地表径流和土壤含水量都明显减少。这一模拟结果与东亚地区古气候研究的结果是一致的。这一重要研究结果,被邀请在 2001 年 Amsterdam 召开的全球变化开放大会上做特邀报告。

同时,我们还利用东亚区域环境系统集成模式 (RIEMS) 对过渡带 (北纬 36° — 44° , 东经 106° — 112° 和北纬 40° — 44° , 东经 112° — 122°) 土地覆盖变化对夏季气候的影响作了进一步研究,表明如过渡带半沙漠和农田被混合林替代后,局地 and 区域夏季降水量都会有明显的增加,但部分地区降水也发生了明显的减少。这一模拟与上面事实分析的结果较为一致。今后将进一步研究全球变暖背景下东亚区域土地覆盖和利用变化对气候和河川径流的影响。

5.3 区域环境系统模式的发展和亚洲区域模式比较计划

区域气候变化的模拟是气候研究的优先领域之一。迄今为止,关于东亚区域气候未来变化的信息主要来自全球模式,但全球模式对东亚季风的模拟能力,特别是地面气候的模拟能力尚需大大提高。其原因除了模式的分辨率比较粗,不能很好地描写地形和地表的中尺度特征的影响外,对区域气候有重要影响的区域尺度的人类活动的贡献,如工业气溶胶的排放和土地利用引起的地表覆盖变化等因子也没能考虑进去。东亚正是这类区域强迫最为明显的地区。因此,东亚中心提出了“人类影响下亚洲季风系统变化的区域模拟”研究计划,在国家攀登计划和“973”计划的支持下,与南京大学大气科学系合作开展了适合东亚季风区的区域气候模式的研究。它的主体部分是一个中尺度的大气动力模式,它通过两个子模式:陆面过程模式和大气辐射模式的连接,实现“气候化”的目的。它一方面通过大尺度模式引进大尺度的强迫因子(如太阳辐射、海陆分布和大地形,全球 CO_2 含量变化等)。另一方面引入区域尺度的人类活动的强迫。在这个框



架的基础上东亚中心建立了一个区域环境系统模式,简称 RIEMS。

在区域模式系统发展中,有两个最关键的相互作用过程:(1)植被-大气相互作用过程;(2)气溶胶-气候相互作用过程。

季劲钧等将陆表物理过程和植被生物学过程相耦合,使大气对植被的影响和植被对大气的作用处于一个动态的相互作用过程中,通过同气候模式的耦合不仅能较好地模拟东亚季风的气候特征,而且可以模拟植被与大气之间碳的交换,其中对初级生产力的模拟有良好的结果。这个模式参与国际生态系统模式与数据比较计划(EMDI),在 10 个模式中处于上游。钱云等将一个描写气溶胶的输送和沉降过程的模式与气候模式和辐射模式相耦合,一方面气候要素决定了区域范围内气溶胶的输送和沉降过程,得到气溶胶的分布。同时,这个分布又通过大气辐射模式来影响区域气候的进一步变化。

目前,东亚中心还与南京大学大气科学系合作,将改进的水文过程模式和简化化学模式放进区域模式,完成了新版本的区域环境系统模式(RIEMSV 2)。

为了进一步改进区域环境系统模式,东亚中心提出并主持了由中、美、韩、日、澳大利亚五国的 10 个研究组参加的亚洲区域模式比较计划,在亚太全球变化研究网络、START 和中国科技部、韩国环境部、日本气象厅等的联合支持下从 1999 年开始实施。这个比较计划的目的是通过考察不同模式在亚洲地区的模拟能力,进一步改进区域模式,并应用其进行集合模拟研究亚洲地区未来气候变化情景。该计划已经完成了第一阶段 18 个月积分结果的比较研究,正在进行第二阶段的 10 年连续积分的统计行为的比较研究。这项研究计划已被列入 WCRP 和 IGBP 模式比较计划序列之一。

东亚中心的这些研究得到了国际的高度评价。WMO 秘书长 Obasi 教授在意大利举行的全球变化国际会议的报告中称“人类影响下亚洲广义季风系统变化的区域模拟是全球变化区域研究的一个特别好的例子。这项研究不仅具有全球意义,而且在

区域尺度上把三大国际计划的问题结合起来……”。国际 START 全球变化系统还出版特刊介绍过这一方面的研究成果。

5.4 人类有序活动:概念、方法和观测试验

人们在不断深化对地球系统自然规律认识的同时,也越来越多地认识到人类活动已成为推动地球系统变化的另一个强迫力,这种强迫力在十到百年尺度上产生的影响已和自然力的作用相当或过之。通过农业、工业、社会和经济等彼此关联的活动,人类活动影响到地球的各子系统,地球各个子系统及其相互作用产生的反馈又进一步影响人类的生存。近年来,科学界就人类活动对地球系统的作用和两者关系提出了一系列新概念,如“人类圈”、“人类纪”和“可持续性科学”等。

针对中国生存环境和社会经济发展的区域特征,东亚中心科学家提出了“有序人类活动”的概念,对适应未来变化的影响有了“有序人类适应”的概念,提出了“人类有序活动”的研究框架,推动合理地组织“有序人类活动”,改善环境条件,适应全球变化的区域影响。“有序人类活动”和“有序人类适应”发展了上述概念,并进一步强调人类活动对其生存环境的能动作用。

有序人类适应研究的一个主要方法,是发展人类活动-生存环境模式和应用模式进行虚拟试验。例如,东亚中心在一项关于退耕还林还草的虚拟试验中,即利用了包含气候、水文、生态等过程的区域环境系统集成模式,考虑人类活动对其中过程的改变,研究和评价植被恢复可能达到的状态^[9]。虽然研究结果是初步的,但表明了开展虚拟试验进行有序人类活动研究的潜力。有序人类适应研究的另一个主要方法,是有序人类活动示范区建设和长期监测研究。示范区可以把虚拟试验的过程和结果物质化,担当丰富和完善人类活动-生存环境模式的试验基地,成为科学成果向实践活动转移的桥梁。

在科技部的支持下,东亚中心主持的“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”项目,开展了以中国北方干旱化为对象的有序人类活动研究,并在半干旱的吉林省通榆县,建立了实施长期



生态观测和大气边界层观测的野外试验站,进行有序人类活动和自然恢复监测,并为吉林省的“生态省”建设提供服务。

5.5 北方干旱化研究——面向国家需求的全球变化科学问题

占国土面积 40% 的北方地区的干旱化,是最为严峻的生存环境问题之一,它已成为北方粮食生产、能源基地建设和西部开发的一个主要障碍,科学地预测干旱化发展的趋势,评估其社会经济影响,提出合理的适应对策,是国家战略决策的需要。

我国北方的干旱化不是孤立的现象,它与世界上许多地区的干旱和沙漠化有密切的联系,是全球变化的区域表现。同时,我国北方干旱化又是在特定的环境条件下发生的,既遵循东亚环境演变的自然规律,又受日益加剧的人类活动的深刻影响。

大气所与地球环境研究所、地质与地球物理研究所、南京大学、北京大学、农业部、水利部等单位合作,从 1999 年开始承担国家重点基础研究发展规划项目“我国未来生存环境演变和北方干旱化趋势的预测研究”,首先开展了三个关键科学问题研究,即:环境系统干湿变化的自然规律;全球变化(主要是全球增暖)影响下,季风环境系统整体的异常响应;人类活动(主要是土地和水的利用)对生存环境的影响。经过三年多的工作,取得了一系列实质性进展,其中包括:(1)对北方干旱化的演变规律有了更深入的认识,取得了多种时间尺度干旱化新的更确凿的证据;(2)取得了人类活动加剧北方干旱化的一些定量、半定量的证据;(3)发展了可以用于干旱化趋势预测和有序人类活动虚拟试验的一个工具——区域环境系统集成模式(EIEMS);(4)水分胁迫对典型生态系统影响的系统观测,初步揭示了干旱化的生理和生态效应;(5)建立了有序人类活动的理论框架,提出了采用虚拟试验研究半干旱区有序人类活动的气候和生态效应的科学方法,同时还建立了半干旱区人类有序活动观测实验站,成为国际强化观测试验 30 个标定站之一。ICSU 在 2002 年南非召开的世界高峰会议的报告中,把北方干旱化研究项目列为科学可持续发展的一个典范。

5.6 陆地生态系统碳循环的研究

陆地生态系统碳循环研究是预测未来大气 CO_2 和其它温室气体含量、认识大气圈与生物圈的相互作用等科学问题的关键,也是认识地球生态系统的水循环、养分循环和生物多样性变化的基础。

为了认识中国陆地生态系统在全球碳循环中的作用,中国科学院于 2001 年启动了“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”重大项目,重点开展不同类型生态系统的碳循环生物地球化学过程实验和模型研究,建立了中国陆地生态系统碳通量观测网络。2002 年,科技部又批准了“中国陆地生态系统碳循环及其驱动机制研究”的国家重点基础研究发展规划项目。在上述两个项目中,我们都承担了森林生态系统碳循环的模拟模型研究工作,目的是研究森林生态系统碳收支和碳储量变化过程并建立其动态模型,从而用于评估气候变化对中国森林生态系统的影响。

通过研究,建立了气候驱动的中国森林生态系统生长演替模型,这个模型通过对森林生态系统的生产、更新、死亡和土壤分解等过程的模拟,可以得到森林生态系统的结构和组成及碳储量变化。应用这个模型对中国东北森林对全球气候变化的响应进行了研究,得到了一些有益的结论,如:

(1)在没有气候变化条件下,中国东北森林林分将维持目前优势顶级森林地位,森林的碳储量保持动态平衡,或有小幅上升,这与目前观察到的现象和现有理论是相符合的。

(2)在 GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)气候变化情景下,东北森林的种类组成将发生很大变化,落叶阔叶树将取代目前针叶树成为东北森林主要树种,阔叶树中蒙古栎将是最重要的树种,它将成为大、小兴安岭最主要树种;以森林碳储量来看,主要变化发生在气候变化过渡期的 50—100 a,在此期间,长白山和小兴安岭的碳储量损失最大,可达 50 t hm^{-2} 以上。研究还表明在 GISS(Goddard Institute of Space Studies)模式给出的气候变化情景下,东北森林的可能变化,对比两项模拟研究,可知,不同气候变化情景对东北森林的影响



各不相同。GFDL 情景可导致阔叶树占据东北森林的主导地位, 而 GISS 只可导致阔叶树在东北森林树种组成中比重增加。因此, 可以肯定无论未来气候如何变暖, 东北森林中阔叶树成分将增加。(3) 进一步模拟研究表明, 在中国一般从裸地上开始的森林生态系统, 可以维持高的碳吸收 ($>1 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$) 的时间可长达 100—150 年, 由于中国森林的次生林和人工幼龄林占了很大比重, 所以中国森林生态系统将维持高于目前碳吸收水平 (0.045 Gt a^{-1}) 超过 100 年。这些结论对中国的生态建设都具有一定的启发意义。

6 结语

大气所和东亚中心, 从 20 世纪 80 年代初开始, 就在全球变化科学这一前沿领域开展工作, 在研究方向和内容上始终与国际同步, 并坚持自己的特色和创新, 在区域集成研究方面走在世界的前

列。目前, 正同 IGBP 和 START 等国际计划合作, 组织季风亚洲区域集成研究的新的核心研究计划, 继续保持和发展在这一前沿领域的优势, 为全球变化科学的发展做出新贡献。

主要参考文献

- 1 叶笃正主编. 中国的全球变化预研究(总论). 北京: 气象出版社, 1992, 101.
- 2 叶笃正, 符淙斌. 全球变化和我国未来的生存环境. 上海: 上海科技出版社, 1995, 233-275.
- 3 符淙斌, 王强. 南亚夏季气候的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性. 中国科学(B 辑), 1991, 666-672.
- 4 Fu Congbin, Yuan Huiling. A virtual numerical experiment to understand the impacts of recovering natural vegetation on the summer climate and environmental conditions in East Asia. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (14): 1 199-1 203.

Some Advance in Global Change Science Study

Ye Duzheng Fu Congbin Dong Wenjie Wen Gang Yan Xiaodong

(International START Regional Center for Temperate East Asia, Key Laboratory of Regional Climate-Environment for East Asia, Institute of Atmospheric Physics, CAS, 100029 Beijing)

Some advance by International START Regional Center for Temperate East Asia in global change science study is reported in this paper, which includes: (1) Participating initiating of international and national global change science study; (2) Initiating new direction of global change study on regional scale; (3) Regional response study of climate jump and global warming; (4) Study of vegetation-climate interaction in East Asia Monsoon region; (5) Development of regional environment system and international comparison activity of Asia regional models; (6) Initiating the orderly human activity adaptation to global change, its concept, observation, experiment, theory and methodology; (7) Study on nation required global change question-Northern China aridification study; (8) Study on terrestrial ecosystem carbon cycle, etc.

Keywords global change science, regional climate model, East Asia Monsoon

叶笃正 大气物理研究所研究员, 中国科学院院士, 芬兰科学院外籍院士, 美国气象学会和英国皇家气象学会荣誉会员。1916 年 2 月生于天津。1948 年获美国芝加哥大学博士学位。曾任中国科学院副院长, 现任中国科学院特邀顾问、中国科学院大气物理研究所名誉所长。主要研究领域是气象学和全球变化, 在大气能量频散, 青藏高原气象学和全球变化等方面做出过重要贡献。