

# 全球变化的区域响应和适应<sup>\*</sup>

符淙斌 董文杰 温刚 叶笃正

(中国科学院大气物理研究所全球变化东亚区域研究中心, 北京, 100029)

## 摘要

20 世纪 90 年代以来, 全球变化研究进入了一个新的时期, 其研究方向发生了重大调整: 从认识地球系统基本规律的纯基础研究为主, 扩展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究; 从研究人类活动对环境变化的影响, 扩展到研究人类如何适应全球环境的变化; 在更高层次上进行地球系统的综合集成研究。

文中对日益受到重视的全球变化区域响应和适应研究的背景进行了分析, 并着重介绍了一些概念和研究进展:

(1) 对全球和区域环境变化的适应同可持续发展之间的关系。两者应存在协调统一的关系。同时, 适应应是对区域和全球环境系统的整体性和系统性适应, 不应是局部的和片面的。

(2) “有序人类活动”的研究框架。介绍了对“有序人类活动”的一些基本认识, 以及在虚拟试验研究、示范区建设和长期监测研究等方面的进展。

(3) 集成研究。以东亚区域环境系统和北方干旱化的集成研究为例, 介绍了集成研究的方法和过程。

关键词: 全球变化, 区域响应, 适应, 有序人类活动, 可持续发展, 集成研究。

## 1 全球变化研究方向的调整

全球变化科学(Global Change Science)是 20 世纪 80 年代开始提出的一个新兴科学领域。它的科学目标是, 描述和理解人类赖以生存的地球环境系统运转的机制、它的变化规律以及人类活动对地球环境的影响, 从而提高对未来环境变化及其对人类社会发展影响的预测和评估能力<sup>[1]</sup>。

在以快速发展的计算机技术和卫星遥感技术为代表的高新技术的支持下, 以地球系统科学的发展为主体, 在过去各学科及其分支长期发展、不断深入和细化的基础上, 引入新的科学方法论, 强调学科的交叉和综合, 使人类对地球系统的整体行为的认识达到了以往无法企及的高度。

但是, 在关注地球系统的整体行为的同时, 人们也在愈来愈多地从观测事实<sup>[2]</sup>中认识到, 全球变化并非全球一致的变化。地球系统及其各部分的面貌在不同的空间尺度上的表现是多姿多彩的, 在不同时间尺度上的变化是多种多样的, 全球变化总是由一系列过程和现象各异的区域变化构成的。

同时, 区域变化不是孤立的, 全球变化也不是区域变化的简单集合。区域变化既可以认为是全球变化的区域表现, 又可以认为是全球变化的区域响应, 它们是地球系统内在规律调控下和人类活动影响下的具体行为, 通过地球系统的运行规律连接成为一个相互作用的整体, 任何一个地区的变化都是地球系统整体行为中的一个部分, 也对其他地区以及整个地球系统产生影响和控制。

20 世纪 90 年代以来, 全球变化研究进入了一个新的时期, 其研究方向发生了重大调整。

第一, 认识地球系统基本规律的纯基础研究为主, 扩展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究。面对人口、资源和环境等重大问题的严重压力, 各国政府和民众最关心的是诸如干旱化和淡水资源、粮食和食品供应、能源以及环境变化对人类健康的影响等问题。他们要求科学家把地球环境变化规律的认识转化为可以解决上述种种问题的有用的知识和技术。由于各个国家所处的地理位置、生态和社会条件的不同, 全球变化对各国的影响也是不同的。作为制定国家或地区可

<sup>\*</sup> 初稿时间: 2002 年 10 月 20 日, 2002 年 12 月 15 日。  
资助课题: 本研究得到“国家重点基础研究发展规划”项目(编号: G1999043408, G1999043403, G1999043409)和中国科学院知识创新工程重大项目(编号: KZCX1-10-07)资助。

持续发展战略的科学基础,人们不再仅仅关心全球平均温度升高多少度,而是更加关注自己的国家和地区将发生那些变化?决策者、工农业生产的管理者和公众更需要知道全球变化对他们所在地域的影响效果以及这些影响在社会经济方面的重要性等。因此,全球变化的区域响应的研究成为重点领域之一。

第二,研究人类活动对环境变化的影响,扩展到研究人类如何适应全球环境的变化。近几十年来,全球环境变化的速率和强度是人类历史上少见的。例如,近千年来地球表面温度在经历了几个世纪的缓慢降温过程之后,于1920年代出现了迅速增温,20世纪是近千年来最暖的一个世纪,90年代又是20世纪最暖的10 a。初步预测,21世纪全球增暖的速率将超过过去一万年来自然的温度变化速率,对生存环境产生不可忽视的影响;当前生存环境的恶化也达到了前所未有的程度,大范围水、土、气的污染,生物多样性的减少、土地的退化、沙漠化和水资源严重短缺等已经成为人类社会可持续发展的障碍。而对这样的形势,人类将采取什么措施?一个十分重要的问题是:人类社会现有的农业、林业、畜牧业的体系,水资源管理体系,能源体系以及经济的宏观布局等,都是根据过去积累的气候和环境状况信息和知识制定出来的。这些体系在全球变化的条件下是否还能适用?如何调整这些体系以适应已经发生和未来将可能发生的变化,以达到趋利避害的目的,就是人类对全球变化的适应问题。科学地评估全球变化对人类社会的影响是制定适应对策的科学基础。

近百年来全球环境变化的加速和恶化,在很大程度上是由人类自己的行为造成的。工业化、城市化、不合理的水土资源利用等是环境恶化的主要原因。人类必须调整自身的行为,包括生活方式、生产方式和科学技术活动,才能使环境朝着有利于人类的方向发展。合理地组织“有序的人类活动”,改善环境条件是人类适应全球变化的一个重要途径。

第三,在更高层次上进行地球系统的综合集成研究。以研究地球系统中生物地球化学过程为主要内容的“国际地圈生物圈计划”(IGBP),以研究物理气候过程为主要内容的“世界气候研究计划”(WCRP)和以研究人类与地球环境变化相互关系为主要内容的“全球变化的人类方面”(IHDP)这三大国际计划之间的界限愈来愈模糊,正在酝酿横跨三

大计划的新的研究项目,诸如全球碳、全球水和粮食系统等把物理、生物、化学过程联系起来,把自然过程与社会过程结合起来研究的新的的大型国际计划<sup>[3]</sup>。这些计划的制定和实施,对全球变化的区域响应、自然过程主导的自然适应过程和人类活动主导的有序人类适应过程的基础理论研究和应用研究,必将提出新的要求。

## 2 全球变化区域响应中的敏感性、脆弱性和适应能力

全球变化区域响应中的敏感性、脆弱性和适应能力研究,作为全球变化区域响应研究的一项主要内容,已成为制定区域可持续发展政策和指导相关行动所要求的科学基础之一。

在20世纪80年代初期,我国科学家在参与制定国际全球变化研究计划的过程中,就已提出重视全球变化的敏感区和敏感带的问题研究,并指出地处半干旱和半湿润的气候过渡地带、植被从森林向草原和荒漠过渡的植被生态过渡带、以及农牧交错的人类活动过渡带的我国北方地区,可能是全球变化区域表现的敏感带<sup>[4]</sup>。

政府间气候变化委员会(IPCC)在2001年发布的第三次评估报告中对适应和对气候变化的敏感性、适应能力和脆弱性等概念进行了定义<sup>[5]</sup>。适应是指对生态、社会和经济系统对现实和预期的气候变化驱动及其作用和影响进行的调整,为趋利避害在过程、实践和结构上进行的改变。敏感性是指一个系统对气候变化因素的响应程度,其响应可以是不利的,也可以是有利的,产生作用的方式可以是直接的,也可以是间接的。脆弱性是指一个系统容易受到或不能克服气候变化不利影响的能力。适应能力是指一个系统调整自身以适应气候变化和趋利避害的能力。

因此,系统的敏感性和脆弱性同系统的适应能力紧密结合在一起。增强适应能力才能降低脆弱性,使系统得以存在和发展。

适应包括了自然过程主导的自然适应和强调人类活动能动作用的有序人类适应,通常所说的适应更偏向于后者。

自然适应是指区域环境要素,特别是生态系统,对全球变化的区域表现产生了自激和自组织的调整<sup>[5]</sup>。例如,在全球增暖背景下,低纬度的植被生态系统将可能北侵,同时,高纬度地区的植被生态系

统分布区域向北收缩<sup>[5]</sup>。又如, 北半球中高纬度地区受春季温度升高时间提前的影响, 当地植被生长季长度的增加, 植被生长开始时间提前<sup>[6]</sup>。

有序人类适应可以是人类活动干预下的自然恢复过程, 也可以是通过人类活动采取的主动适应。对自然恢复过程, 中国科学院奈曼农业生态试验站的实践表明, 在内蒙古东部地区因过垦或过牧而沙化的土地上, 只要采取围栏禁牧等措施, 用 5 年左右的时间, 适应当地自然生态条件的草地植被即可自然恢复到接近自然状况的生长和分布水平<sup>[7]</sup>。人类活动采取的主动适应, 表现为对土地利用和水利用等的方式、种类和时空分布的调整等, 例如, 在全球增暖背景下对农业种植制度和农作物种类的调整。

### 3 对全球和区域环境变化的适应同可持续发展之间的关系

目前, 人们在大量研究的基础上已形成共识, 针对已经、正在或将要发生的全球变化及其区域响应, 地球系统的整体和它的各个部分难以恢复到原有的状态。那么, 全球和区域系统将达到什么样的平衡状态? 在状态转变过程中, 人类社会将付出多大的代价? 新的平衡状态是否适合人类社会的发展? 人类将因此采取什么行动进行适应? 回答这一连串的问题, 涉及到适应在不同时空尺度上的表现、系统行为的优化和适应的成本等诸多方面<sup>[8]</sup>。

难以逆转的全球和区域变化迫使人类采取措施进行适应, 利用其有利的方面, 减轻和抑制其不利的方面。同时, 可持续发展的概念是以过去和现在的气候背景和环境状况为依据提出的, 还需要考虑对未来全球和区域变化的适应, 从而建立真正意义上的可持续发展。

对全球和区域环境变化的适应同可持续发展之间应存在协调统一的关系。区域乃至全球的适应, 无论是趋利还是避害, 都应遵循可持续发展的原则, 而可持续发展也只有在对区域和全球变化的适应基础上才能实现。

适应应是对区域和全球环境系统的整体性和系统性适应, 不应是局部的和片面的。可持续发展也是这样。缺乏协调的局部最优, 往往受到整体资源分配和环境要素的制约, 并损害整体利益, 增加适应成本, 最终可能导致局部适应和可持续发展的失败。在适应和可持续发展中, 可能会牺牲一些局部, 从而达到整体的、系统的和稳定的最优。系统性的适应

能够通过提高系统的整体适应能力和抗逆水平, 减少系统的脆弱性, 使可持续发展在一个比较稳固的系统平台上展开。

因全球变化的区域响应之间存在差异, 适应和可持续发展之间关系的具体表现在不同国家和地区之间也会不同。

### 4 “有序人类活动”研究框架的建立

“有序人类活动”<sup>[9]</sup>是在“人类圈”<sup>[10]</sup>和“人类纪”<sup>[11]</sup>概念基础上, 从有序人类适应的角度出发, 对在地球系统中的能动作用的进一步认识。

Schellnhuber(1999)从人类活动的范围、作用和影响等多方面出发, 首次把人类从生物圈中分离出来, 称为“人类圈”(Anthroposphere), 确立了人类在地球系统中的特殊地位<sup>[10]</sup>。在此基础上, Crutzen认为人类文明的发展已经改变了传统的根据地层和古生物划分地质年代的格局, 为强调人类的核心作用, 把人类文明时期, 特别是 18 世纪后期以来的时间, 称为“人类纪”<sup>[11]</sup>。近期, “可持续性科学”的概念作为可持续发展的科学基础框架被提出(Kates)<sup>[12]</sup>。这些概念表明, 人类已认识到, 人类活动对其生存环境产生着特殊作用, 并希望这种特殊作用具有正向性。

我们在“国家重点基础研究发展规划”(973)的“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”项目(G1999043400)的支持下, 开展了以北方干旱化为对象的关于“有序人类活动”的理论和实践研究, 建立了“有序人类活动”研究的初步基础<sup>[7,9]</sup>。

#### 4.1 对“有序人类活动”的基本认识

有序人类活动可以定义为: 通过合理安排和组织, 能够使生存环境的总体和尽可能多的局部在人类可以预见的时间尺度上不发生显著退化, 甚至持续好转, 同时又能够满足当时社会经济发展对自然资源需求的人类活动。有序人类活动以可持续发展为目标和判据, 并作为可持续发展的手段和措施。

有序人类活动的研究内容是生存环境变化规律与机理、人类活动对生存环境变化影响的适应以及可能达到的由经济、社会和环境构成的总体效益。

有序人类活动具有目标合理性、系统性、规模化、层次性、强制性和非强制性并存等特征, 并且, 有序人类活动不等同于有计划的人类活动。

有序人类活动的研究为有序人类活动的实施奠定了科学基础。立法机构、政府部门、科学家以及越

来越多的社会机构和百姓投入到有序人类活动的行动中来,构成有序人类活动的主体。

#### 4.2 有序人类活动的虚拟试验研究

虚拟试验,或称数值模拟,是有序人类活动研究的一项重要内容。以计算机作为实验室,利用数值模式进行各种可能条件下的虚拟试验,评估人类大型活动可能带来的影响和效益,可以为决策提供必要的科学认识,并大大降低适应行动所需要的成本。

中国科学院的科学家在—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集成系统模式,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对东亚季风区域气候和环境的<sup>[13]</sup>影响。研究结果虽然是初步的,但表明了开展虚拟试验进行有序人类活动研究的潜力。

以虚拟试验开展全球变化的区域适应研究并不局限于应用研究范围,而是同基础科学研究紧密结合。例如,虚拟试验中存在—个的问题是,在模式的现有网格精度下,对适应涉及的物理过程、化学过程和生物过程如何进行合理描述。这是针对模式发展提出的—个基础科学问题。

#### 4.3 有序人类活动的示范区建设和长期监测研究

建立有序人类活动示范区建设,开展长期监测研究,是有序人类活动研究的另—个主要方向。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。

示范区建设可以同地方生态建设紧密结合起来。吉林省为此提供了—个典型的例子。该省的决策者已把生态建设作为该省社会经济建设的—个核心<sup>①</sup>,并在政策和投资方面予以保证,期望通过以生态建设为代表的有序人类活动带动该省社会经济建设的全面发展,树立“生态省”形象。“国家重点基础研究发展规划”项目“我国生存环境变化和北方干旱化趋势预测研究”已经把有序人类活动的研究同有序人类活动的实践结合起来,在半干旱的吉林省西

部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,对吉林省在该地区的示范区进行有序人类活动和自然恢复监测,在开展基础研究的同时,为吉林省的“生态省”建设提供科学依据和咨询。

### 5 以全球变化的区域响应和适应为目标的集成研究

集成研究是针对全球或区域气候与环境系统的整体行为开展多学科交叉和综合研究的一种研究途径。

开展区域集成研究,需要根据区域特点提取针对性的科学问题,建立科学框架,发展区域集成研究工具,开展不同时空尺度变化现象、过程及其机制的分析和模拟,发现与全球变化之间的联系,为区域环境系统的发展趋势提供预测和影响评估,为适应提供科学基础。

以正在开展的东亚区域环境系统和北方干旱化的集成研究为例。研究人员针对东亚区域受到季风活动控制、环境脆弱多变和社会经济快速发展的特点,提出了“广义季风系统”的科学思想,把东亚区域同季风活动相关的物理、化学、生物和人类活动过程有机地联系在一起<sup>[14]</sup>,为东亚区域环境系统的集成研究提供了—个科学框架,并在这一框架内发展了—个包含气候、水文、生态等过程的区域环境系统集成模式(RIEMS),为区域集成的分析、预测和评估研究提供了—个有力的研究工具。在本区域的北方干旱化研究中,通过历史重建、诊断分析、数值模拟、试验观测等方式,建立对北方干旱化的规律及其机理的认识;在此基础上,对全球增暖背景下北方干旱化的可能趋势进行预测,对其影响进行评估,并应政府的要求提供咨询意见。

在国际上,多项以全球变化的区域响应和适应为目标的集成研究通过大型科学研究计划的方式得到开展,例如,以南美洲亚马逊河流域热带雨林破坏及其环境影响评价为核心的和以非洲西部干旱为核心的区域集成研究。

① 《吉林省生态环境现状调查、评价与生态省建设总体规划纲要方案的研究》课题组,2000:吉林省生态环境现状调查、评价与生态省建设总体规划纲要方案的研究(总报告)

## 参考文献

- 1 International Geosphere- Biosphere Programme: A Study of Global Change. IGBP Report No. 12. IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Science, Box 50005, S- 104, Stockholm, Sweden, 1990
- 2 IPCC. Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Houghton J H, Ding Y, Griggs D J, et al. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001, 769 pp
- 3 IGBP II - Special Edition. Global Change Newsletter, No. 50, IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Science, Box 50005, S- 104, Stockholm, Sweden
- 4 Fu Congbin. An aridity trend in China in association with global warming. In: Richard Zepp G, John Wiley, Sons eds, Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change, 1994, 1~ 17
- 5 IPCC. Climate Change 2001, Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. McCarthy J J, Canziani O F, Leary N A, et al. eds Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001, 1032 pp
- 6 Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 1997, 386 (6626): 698~ 702
- 7 符淙斌, 温刚. 北方干旱化的几个问题. 气候和环境研究, 2002, 7(1): 22~ 29
- 8 叶笃正, 吕建华. 全球变化适应和可持续发展. 中国科学院院刊, 2000, 3: 183~ 187
- 9 叶笃正, 符淙斌, 季劲钧等. 有序人类活动与生存环境. 自然科学进展, 2001, 16(4): 453~ 460
- 10 Schellnhuber H J. Earth system analysis and the second copernican revolution. Nature, 1999, 402(6761): C19~ C23
- 11 Crutzen, P J, Stoermer E F. The "Anthropocene". Global Change Newsletter, IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Science, Box 50005, S- 104, Stockholm, Sweden, 2000, 41: 17~ 18
- 12 Kates, R, Clark W, Corell R, et al. Sustainability science. Science, 2001, 292(5517): 641~ 642
- 13 Fu C, Yuan H. 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): 1199~ 1203
- 14 Fu C, Wen G. Variation of ecosystems over East Asia in association with seasonal, interannual and decadal monsoon climate variability. Climatic Change, 1999, 43(2): 477~ 494

## REGIONAL RESPONSE AND ADAPTATION TO GLOBAL CHANGE

FU Congbin DONG Wenjie WEN Gang Ye Duzheng

(*START Global Change Research Center for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100029*)

### Abstract

Since 1990s, the global change studies began its new phase. The orientations of the global change studies significantly changed (1) from the pure basic studies for understanding the fundamental rules regulating the earth system to the ones for the more practical issues about the life support environment in association with sustainable development; (2) from the impacts of human activities on environmental change to the adaptation of human society to global and regional change; (3) for the integrated study on the earth system at a higher level.

This paper analyses the background of the study on the regional response and adaptation to global change, which received increasing attention, and introduces some concepts and new research progresses that highlight:

(1) The relationship between the adaptation to global and regional change and sustainable development. The two should be closely linked and coordinated as integrated one. At the same time, adaptation should be achieved by treating the activities of the regional or global environment as whole, not by only treating local activities.

(2) The framework for “orderly human activities” studies. Introduced are the basic understandings (i. e. the definition, major characteristics, participators, and the studies contents) about “orderly human activities”, and the improvements in virtual numerical experiment studies, demonstration site construction and long-term monitoring.

(3) The integrated studies. With a study example on the East Asia regional environment system and aridification in northern China, the methodology and aspects of the integrated studies are introduced.

**Key words:** Global change, Regional response, Adaptation, Orderly human activity, Sustainable development, And integrated study.