

文章编号 1001-8166(2006)05-0441-10

## 区域研究:全球变化研究的重要途径

李家洋<sup>1</sup>, 陈泮勤<sup>2</sup>, 马柱国<sup>3</sup>, 葛全胜<sup>4</sup>

(1. 中国科学院, 北京 100864; 2. 中国科学院资源环境科学与技术局, 北京 100864;

3. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 区域研究是全球变化研究的重要途径。国际上南部非洲、南亚、东亚、东南亚 4 个地区及若干重大区域研究项目如 LBA、AMMA、MAIRS 及 ProMed 等典型案例研究表明, 区域研究是全球变化研究的基础, 区域的实验、模拟、分析是全球环境变化研究的有效方法。区域研究应关注陆地表面过程、海岸带的陆—海相互作用过程、区域气候变化过程等关键过程对全球变化的响应及作用, 区域边缘现象、阈值与突变问题, 区域人类活动对全球变化的有序适应等。有必要制订国际区域研究计划, 实施地球系统的区域观测, 建立区域研究的集成新方法、区域实验与尺度转换方法, 建立基于数理基础的区域地球系统模型和数值模拟等新方法。

**关键词:** 区域研究; 全球变化

**中图分类号:** X90; P467 **文献标识码:** A

大量证据表明, 地球系统正在发生行星尺度上的重大变化。日益增强的人类活动以温室气体排放、土地利用变化等多种方式表现出来, 影响甚至主导着地球环境及其运行的许多方面, 其幅度、空间尺度以及速率是前所未有的, 它们带来的负面效应与战争、贫困、疾病等灾难一样威胁着人类的生存<sup>[1]</sup>。

在人们从全球尺度关注地球系统的整体行为时, 也愈来愈多的从观测事实中认识到, 全球变化总是由一系列过程和现象各异区域变化所构成<sup>[2]</sup>, 区域发生的初始变化会跨越区域扩展到更大尺度, 甚至波及到全球环境变化。同时, 很多区域正在受全球环境变化的影响, 其影响程度与范围各不相同。因此, 开展全球变化研究必须考虑区域过程。同时, 在国家层面上, 由于各个国家的地域、面积大小、人口多寡、社会经济、历史文化、风土民情、管理政策等各不一样, 这些差异决定了各个地区和国家对全球变化响应情况和适应能力的不同, 并且各国的人类活动对区域及全球变化的贡献与影响也不一样。因此, 开展区域及国家层面上的环境研究是全球变化

研究的重要方面。

要全面、深入地了解地球系统的过去、现在和未来, 就必须很好的理解区域变化过程, 预测区域与全球系统的相互关系, 因为区域特征蕴含着区域本身与全球变化之间的有机链接, 它可以提供整体与系统的研究基础, 并有助于在整体性上认识地球系统的功能。

### 1 全球变化研究中的区域研究

#### 1.1 深化全球变化研究的需要

所谓全球变化并不是全球一致的变化, 地球上的不同地区, 具有各种不同的物理、化学和生物学特征。尽管全球变化研究是针对地球环境的整体行为的科学, 但由于其复杂的时空尺度, 这种变化的整体行为是各种时空尺度变化的综合。所以, 要认识全球尺度整体行为的变化, 须首先认识地球系统次全球尺度的变化, 特别是受自然变化和人类活动共同影响的区域尺度环境变化的研究。

20 世纪 90 年代以来, 全球变化研究进入了一

收稿日期: 2006-02-11; 修回日期: 2006-03-08.

作者简介: 李家洋(1956-), 男, 安徽肥西人, 研究员, 中国科学院院士, 副院长, 主要从事遗传与生育生物学研究.

E-mail: jyli@genetics.ac.cn

个新的时期,其研究方向发生了重大调整,具体研究方向也从起初的预防、减缓到目前的适应<sup>[3]</sup>。主要体现在 3 个方面:

(1) 由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。

(2) 由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变化。

(3) 在更高层次上进行地球系统的综合集成研究<sup>[4,5]</sup>。

对这些研究方向和科学问题的实施和回答,必须在全球环境变化整体行为背景下建立区域尺度环境变化的方法和理论,才能完成 IGBP 第二阶段的科学目标。

截止目前,国际科学界已经启动了一系列与全球变化相关的科学计划,如:IGBP、IHDP、WCRP、及 DIVERSITAS 等。遗憾的是,这些科学计划的设定和实施,发达国家的科学家在其中起着主要的支配作用,大多数发展中国家缺乏有效参与<sup>[6]</sup>。为了使全球变化科学计划能解决区域需求方面的问题,从而在国家和区域的层面上使计划得到全面执行,国际科学联合会于 1992 年发起了全球变化分析、研究和培训系统计划(START),致力于建立一个特别重视发展中国家和地区作用的区域网络系统。随后 ESSP 又启动了一系列全球变化区域集成研究计划(IRS),如以南美洲亚马孙流域热带雨林破坏及其环境影响评价为核心的亚马孙大尺度生物圈大气圈实验(LBA)和以非洲干旱为核心的区域集成研究项目(AMMA)都是区域研究的成功范例,也为今后全球变化研究奠定了开展区域研究的基础。

当前全球变化研究主要局限在某些学科内开展,而不是从全球所有区域内多学科研究着手<sup>[6]</sup>。处理跨学科问题最有效的方法或许就是将所有问题在区域尺度上联系起来。近年来,ESSP 和 IGBP 特别重视与地方科学团体进行合作,开展大量完整的区域研究工作。START 也将起到越来越重要的作用。

### 1.2 区域国家战略和社会可持续发展的需要

“国家”与“区域”是两个内涵不同的概念,全球变化意义上的“国家”则注重探讨,作为行政单元的国家,制定国家战略以适应全球变化,特别是应对区域环境变化过程中的突发事件,确保人们的健康生存,满足全社会可持续发展的需要。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。世界各个区域自然、社

会、经济状况的差异决定了各个地区和国家对全球变化响应情况和适应能力的不同。各区域及各国全球变化研究都有其自身的战略思考,并与其经济、政治、安全及可持续发展等一系列问题紧密联系,作为制定国家或地区可持续发展战略的基础,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哪些变化? 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区域的影响效果以及这些影响在社会经济方面的重要性等<sup>[2]</sup>。

区域研究是了解全球环境变化的重要途径,只有通过结合自身特点的区域环境变化的集成研究,才能更好地、较为透彻地解决全球变化的实际应用问题,才能为决策者提供更直接、更具体、更有效的方案,满足国家需求,才能吸纳更多政府官员与民众参与全球变化研究,使全球变化研究受到国家和特定区域的进一步重视。

### 1.3 开展全球变化中国区域研究的紧迫性

我国处于生存环境脆弱多变的东亚地区,在全球变化和社会经济高速发展的压力下,环境问题尤为严峻。我们面临着诸多与经济发展相冲突的区域环境问题,如环境污染、城市化发展、土地荒漠化面积扩大、近年来北方干旱化加剧、水土流失、生物多样性破坏、持久性有机物污染、重大工程(如三峡库区)的环境后效、突发的传染病流行等问题。同时,长期以来地区之间社会经济不平衡造成地区差异有逐渐加大的趋势。这一系列问题与以全球变暖为标志的全球性问题相互交织,构成对我国经济社会可持续发展的严重威胁<sup>[1,7,8]</sup>。

全球变化对我国可持续发展研究领域提出了挑战,同时也带来了发展的机遇。根据全球变化研究的国际发展前沿,结合中国的相关国家战略需要,当前应综合评估东亚地区气候和环境变化对我国社会经济可持续发展的影响,需要系统全面地开展有关全球和区域气候变化对中国农业、水资源、自然生态系统和人体健康的影响,以及中国对全球气候变化的潜在响应,提出决策者应对全球变化和区域变化所应采取的对策和措施<sup>[9]</sup>。开展上述内容的研究,不仅对提升我国全球变化和可持续发展研究领域的科学研究水平和满足国家战略需求具有重要意义,而且有利于推动我国从研究大国走向研究强国,同时也为世界全球变化研究领域提供符合中国国情且具有全球意义的案例研究,在世界全球变化领域做出与中国作为发展中大国地位相称的贡献。

## 2 区域研究进展

为探讨区域研究如何能更好的促进理解整个地球系统 国际上已开展了多项区域集成研究项目 典型案例包括 南部非洲、南亚、东亚、东南亚<sup>4</sup>个地区的研究<sup>[10]</sup> 以及亚马孙大尺度生物圈—大气圈实验(LBA)、地中海项目(PrOMed)、非洲季风多学科研究项目(AMMA)、季风亚洲区域集成研究项目(MAIRS)等。

### 2.1 区域研究的现状和进展 南部非洲、南亚、东亚和东南亚

(1) 南部非洲。环境变化对南部非洲人类的生存演化有重要影响。由于气候的不断变化 影响着人们数百万年以来的生活方式和谋生手段。一直以来 人类为了适应环境 用火狩猎、砍伐森林 必然对环境产生潜在的影响。这种反馈作用并未受到人们的关注 随着南部非洲城市化和工业化的发展 人们的认识才逐渐开始改观。

资料分析表明 南部非洲的气溶胶和痕量气体运移 以及大洋环流在全球系统中占有重要作用 而南部非洲的陆地碳循环在全球尺度上的影响相对逊色 目前南部非洲的经济发展缓慢 与亚洲地区相比 其温室气体、气溶胶释放及土地利用的变化 可能是最缓慢的 未来南部非洲对全球变化不会产生重大影响 长期以来南部非洲人类与环境息息相关 与城市相比 农村地区更易受到未来环境变化的影响。不过 无论农村还是城市人类活动都是区域环境变化的主要驱动力 未来将更加明显 在南部非洲内部 北部湿润的热带自然生态系统与南部亚热带地区相比 更易适应全球变化的影响 而南部地区的变化可能会不断扩大。

当前南部非洲正在受到全球变化的影响 同时也不断影响着全球系统。南部非洲区域变化模式研究为地球系统的全球—区域链接提供了很好的视窗。

(2) 南亚。南亚地区由于人口增长导致资源高度利用 尤其为追求能源和食物保障 向大气增加了大量排放物。南亚区域大气成分变化、释放物的运移和沉降 以及其它环境变化都对区域乃至全球产生潜在的影响。

一些初步的重要研究成果包括 喜马拉雅高分辨率冰芯记录了过去几千年南亚季风的频率和强度 结果表明过去几千年南亚季风相对稳定 然而一些记录显示南亚季风曾有多次明显的减弱现象 突变性的一次发生在 1790—1796 年 在南亚海拔 7

km 以上地区 氟化物浓度和粉尘量的增加 记录了 20 世纪南亚及其周边地区人类活动的加剧 该地域的痕量气体释放变化可能对全球臭氧层分布产生影响 在未来时间里温室气体排放率有迅速增长趋势 将明显影响生物地球化学和区域辐射平衡 甚至可能影响到全球其它地区 南亚区域的大气和物质运移 可能会改变阿拉伯海和孟加拉湾地区的生物地球化学平衡 通过研究全球变化和气候变化对农作物生产的影响 表明温室气体和气溶胶的变化对南亚主要的农业生产区域 如印度—恒河平原的农业生产造成不利影响。

(3) 东亚。东亚区域是亚洲的重要组成部分 它的气候和生态系统明显受东亚季风控制。该区域在全球变化中起着重要作用 同时该区域的人类活动对区域本身及全球变化都产生重要影响。

初步研究表明 采用区域模拟方法是东亚区域研究的特色 区域模拟涉及到物理、化学、生物、生态以及社会经济过程 东亚区域模拟研究为人们从地球系统的科学角度正确评价全球变化 提供了有借鉴意义的理论框架。区域模拟分析表明 东亚土地覆被变化对区域生态系统产生决定性影响 并且会改变水分和能量从陆地表层向大气的复杂交换过程 这种影响在东亚季风区表现得非常显著 而且有可能涉及到整个亚洲季风循环甚至全球。东亚气候分析表明 在过去 100 年里 温度增加了至少 1<sup>1</sup> 冬季尤为明显 不同地方的气温变化不一 在东亚的东部和东北部温度增加了 2<sup>2-4</sup> 而中国南部却减少了 1<sup>1-2</sup>。一些研究认为 由东亚人类活动产生的气溶胶带来的负面影响可以用来解释中国西南部变冷的事实。人类活动日益影响东亚河川径流量的变化 并潜在影响着东亚地区水文、水化学、边缘海的海岸动力学。随着全球持续增暖 热带和亚热带海洋物种将向北迁移。随着温度增加和人类活动导致土壤营养盐的大量流失 将使得沿海水体富营养化及海洋生物多样性趋向减少。土地利用强度的改变、人们消费模式的变化、土地利用方式由生产口粮作物向商品作物及城市用地的转化等都对东亚环境产生重大影响。研究还发现东亚地区畜牧量与草地的面积和质量存在着明显的供需不平衡。

与世界其它地区相比 东亚区域环境已经发生较为明显的变化 这些人为导致的变化不仅对区域有重要影响 而且可能会波及到整个地球的大气。东亚区域综合研究方面的初步成果已经清晰地显示了区域过程与全球变化的密切联系。

(4) 东南亚。近几十年,由于东南亚已经达到较高人口密度和经济高速增长的时期,东南亚的可持续发展及其对全球变化的影响正在成为全球关注的焦点。全球变化与区域发展的链接关系在该地区表现得非常明显,区域内外的环境变化正在明显地影响着区域的发展模式。

对东南亚区域的初步研究发现,经济全球化,尤其这种全球化对工业化、农业和林业商业化的影响,是东南亚区域变化的首要驱动力,它已经导致大气中痕量气体和气溶胶成分迅速增加。东南亚出口导向型经济的飞速发展正在加速着区域环境变化,以及区域变化对全球的贡献,除中国和印度以外,东南亚大多数国家高度依赖矿物燃料发电,主要是石油和天然气,这里能源消耗量平均每年增长 10%。矿物燃烧产生大量的越境大气污染,尽管过去 100 年里东南亚温室气体排放量对全球的影响较小,但在未来对全球的影响有可能会迅速增加,城市的空气和水污染,以及乡村地区土壤和水污染的不断增长,带来了明显的环境后果。这种现象正在演变为跨境区域问题,正在对更大尺度上区域的海洋生命和生物多样性产生重要影响,尽管区域内不同国家经济规模和效益有很大差异,但由于贸易需求,包括日用品交易、相互投资、劳动力交换和分配等使得国家间变得更加相互依赖,研究还发现区域气候极端事件,如洪水、干旱,尤其那些与 ENSO 有关的事件,随着全球变暖将可能变得更加频繁和剧烈,并影响着区域变化,为满足经济发展大量开发土地带来明显的环境影响,并对全球碳循环产生影响。海岸带和乡村地区土地利用和覆被变化正在加速发展,将会影响土壤资源、生物地球化学循环以及生物多样性。

理解大气、气候、生物地球化学、水文、地表特征以及生物多样性之间的多种相互作用是一项艰难的挑战。对东南亚区域的研究表明,人们必须深入了解和认识各种尺度下社会经济变化对全球环境变化的影响,以及它的区域表现特征。

通过 4 个区域研究,使人们共同认识到:

全球任何一个地区都容易受到全球变化的影响,区域—全球的双向关联是普遍存在的。但是,由于各个地区的经济水平差异,它们对全球变化的作用或贡献的程度不尽相同,而区域—全球链接模式及过程在不同地区也具有显著的差异。

任何地区的环境变化都在受到自然和人为驱动力的影响,而何种驱动力占有主导会因不同时期和区域有所不同,随着经济社会的发展,人为驱动力

的影响显得愈加明显。

人们在估计未来可能情景时存在着很多不确定性,而系统的复杂性增加了理解这种不确定性的困难。未来需要人们去继续探索不同时间尺度上气候变化和未来极端事件,需要深入理解生态系统如何响应全球环境变化,以及伴随着愈演愈烈的全球变化,未来区域可能出现的疾病、虫害等及其与粮食生产的关系,从而更好地解决与人类生活息息相关的问题,同时,只有更好地了解不同区域的社会系统和机制是如何作用于环境变化,以及它们又如何受到环境变化的影响,才能更好的理解和预测区域—全球链接模式及过程。

## 2.2 ESSP 中的区域集成大型国际研究项目:

LBA、AMMA、MAIRS & ProMed

(1) LBA (亚马孙大尺度生物圈—大气圈实验)。亚马孙地区是世界上最大的热带雨林区,占世界现存热带雨林的 1/3,其中 87% 在巴西境内。这里曾被公认为世界上最神秘的“生命王国”。从 16 世纪起森林遭受砍伐,到 20 世纪 70 年代,巴西的森林面积与 400 年前相比整整减少了一半。热带雨林的减少不仅影响该地区水、能源、碳和营养物质的循环过程,而且意味着全球范围内的环境恶化。

亚马孙大尺度生物圈—大气圈实验(The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, LBA)是由巴西科学团体于 20 世纪 90 年代初期提出的一项国际研究项目,由 WCRP (作为 WCRP 子计划“全球能量与水循环试验”(GEWEX)和“国际卫星地面气候计划”(ISLSCP)的一部分)和 IGBP 子计划“水循环的生物学方面研究计划”(BAHC)共同发起,得到 IGBP、WCRP、IHDP,以及南美、北美和欧洲研究团体、机构和个人的支持,约 700 多位科学家参加了这项计划。

LBA 力图解决的基本科学问题包括:亚马孙流域环境是如何变化的?土地利用和气候变化如何影响亚马孙地区生物、化学和物理变化过程?亚马孙流域环境变化过程与全球变化的相互影响是什么?LBA 开展以下方面的工作:量化、认识和模拟亚马孙流域中控制能源、水、碳、痕量气体和营养物质循环的物理、化学和生物过程,确定其与全球大气层的联系,量化、认识和模拟亚马孙流域能源、水、碳、痕量气体和营养物质循环对森林砍伐、农业耕种及其它土地利用变化的响应,以及气候变化如何影响这些响应过程,在未来土地利用变化和气候变化情景下,预测亚马孙区域及其周边地区对环境变化的反

馈结果 确定主要温室气体和调节氧化能力的元素在亚马孙河流域和大气圈之间的交换过程,了解控制这些过程各类作用,为亚马孙流域的可持续发展和生态系统保护提供决策信息<sup>[11]</sup>。

(2) AMMA (非洲季风多学科研究项目)。西非地区的季风系统是一个典型的陆地—海洋—大气耦合系统,该系统具有显著的季节、年际和十年际变化特征。20世纪50、60年代西非地区为潮湿环境,70年代变干,90年代变得更加干旱,这一变化是20世纪地球上最为强烈的十年际变化现象之一。近几十年来,显著的年际变化已经导致极端干旱事件。另外,非洲又是生物燃烧和沙尘气溶胶的主要源地之一。气候变化已经使环境和社会不断恶化,并影响到区域的可持续发展,如土地退化、粮食和水安全等问题<sup>[12]</sup>。

非洲季风多学科研究项目 (African Monsoon Multidisciplinary Analysis, AMMA) 是由 WCRP 发起的区域集成研究项目,其目的是为了有更好的理解西非季风在季节到年际尺度上的变化规律,及其对物理、化学和生态环境的影响,提高对西非季风的预测能力,从而为决策者解决人类健康、水资源和粮食安全等可持续发展问题提供相关的科学支撑。AMMA 项目的开展以非洲科学家为主导,来自20多个国家的科学家和40多个国家/跨国项目参加了 AMMA 项目<sup>[13]</sup>。

通过多学科综合分析,AMMA 项目从广泛的时空尺度上将观测、数据分析和模型相结合,着力解决以下科学问题:季风动力学及其各种尺度间的相互关系,西非季风区陆面水循环过程,气溶胶对西非季风的影响,西非季风区的大气化学过程,非洲地区粮食安全、水资源和健康问题。

(3) MAIRS (季风亚洲区域集成研究项目)。亚洲区域处于典型的季风气候影响区。另外,该区域人口密度大,近年来经济发展迅速,土地利用/土地覆盖变化大,同时由于工业发展带来的气溶胶排放迅速增加,使得该地区受自然气候与人类活动的共同作用和影响均十分显著,是开展全球变化区域集成研究的良好区域选择对象。2003年3月在泰国曼谷召开的 ES SP 会议上,正式批准了“季风亚洲区域集成研究项目”(Monsoon Asia Integrated Regional Study, MAIRS)的立项,并决定设立 MAIRS 的国际项目办公室,任命中国符淙斌院士为 MAIRS 科学委员会主席。MAIRS 科学委员会由四大国际计划的代表和亚洲地区中国、日本、印度、泰国和印尼等国代表共19人组成,具体负责该计划的组织实施。

MAIRS 的核心科学问题是“人类活动与季风气候的相互作用及其与全球变化的联系”,通过对亚洲区域集成研究可以更清楚地了解人类活动对区域和全球变化的影响,并为亚洲区域可持续性发展提供科学依据。MAIRS 项目将重点研究以下3方面的问题:

(1) 土地利用/土地覆盖对季风气候的影响过程与物理机制。

(2) 气溶胶排放对短期及长期气候的影响及其机制。

(3) 人类活动影响的区域气候变化对全球气候变化的影响。

为了配合 MAIRS 的3方面研究重点,MAIRS 科学委员会建议在亚洲季风区实施加强观测。加强观测区将选在:中国长江三角洲地区;越南湄公河三角洲地区;印度恒河三角洲地区。通过对以上3个区域的加强观测,不仅能更细致地分析人类活动对气候—环境变化的影响过程,而且可以为区域地球系统模式提供详细可靠的原始数据。

(4) ProMed (地中海计划)。地中海及周边地区是一个相对独立的小尺度大气—海洋耦合系统,该地区的生态环境、水资源对区域及全球气候变化和人类活动的响应极为脆弱和敏感,空气污染主要源自欧洲的工业排放和撒哈拉地区的沙尘,由此引起该地区的水质问题。地中海计划(ProMed)旨在了解该地区大气化学成分、能量收支和水循环的相互作用与反馈机制,确定自然变化和人类活动对该地区气候、生态及水循环的影响,以及区域变化对水管理利用和社会经济发展的影响,从而为区域的可持续发展提供科学依据。ProMed 主要围绕陆面过程、大气—海洋相互作用、气候和水循环的关系等问题开展研究<sup>[12]</sup>。

上述 IGBP 的4个区域研究及 ES SP 中的 LBA、AMMA、MAIRS 和 ProMed 4个区域集成研究项目表明,区域研究能够促进人们更好的探讨全球—区域链接的特征和机制,以及人类世 (Anthropocene) 以来地球系统的所有行为。综合区域的实验、模拟、分析是全球环境变化研究的一个有效方法,将来应更多地得到采纳,而上述研究只是一个良好的开端。

### 3 区域研究应关注的主要科学问题

#### 3.1 区域变化中的关键过程对全球变化的响应及作用

全球变化的研究对象包括地球系统的岩石圈、

大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈和人类圈和发生在地球系统各部分之间的各种现象、过程以及各部分之间的相互作用。全球变化的过程研究涉及 3 个基本方面：物理过程、化学过程和生物过程，在这 3 个过程之间也存在着相互作用，这也是当前全球变化研究的关键过程。这 3 个过程在区域尺度上主要体现在以下几个方面：

(1) 陆地表面过程。在 IGBP 第一阶段，对陆地表面的物理过程进行了深入的研究，也取得了令人瞩目的成果，但是对发生在陆地表面的化学及生物物理过程的认识还远达不到深刻理解区域环境变化的需要。人类对陆地资源的利用极大的改变了生物地球化学循环、产品和服务的供应及生态系统的结构和功能，这些由人为活动所引起的变化将进一步促使人们更加合理有效的利用陆地资源。当前所面对的最关键科学问题就是如何去耦合人类活动和陆地表面过程，包括区域水循环过程、植被过程等。对这个问题的研究首先要建立在对人类活动影响生态系统正确理解的基础上，人类系统影响生态系统的最终结果就是不断使为我们提供产品和供应的生态系统的的功能发生改变，为了减小生态系统的脆弱性，实现区域社会的可持续发展，需要建立新的科学方法，这要求社会、农业、生物和物理等方面的专家来共同完成，从综合集成的科学思路上来提高对陆地表面过程的深刻认识，这将为陆地表面过程对全球变化的响应、作用和适应提供证据、理论和方法<sup>[14, 15]</sup>。

(2) 海岸带上的陆地—海洋相互作用过程。海岸带是一个狭长的陆地—海洋的界面，它受人类活动和自然过程的影响而处于一种动态变化的状态。据预测，在 2025 年以后，世界人口的 3/4 居住在沿海一带，这就造成区域人口分布的极其不均匀，引起了海岸带上各种环境压力，各种灾害及其造成的损失也随之增加。为了保护沿海岸带的生命和财产的安全，我们将直接面对几个方面科学问题的挑战：一是全球尺度的变化，包括自然变化和由于贸易和政策等人为因素所引起的变化；二是区域交界面上海岸带的变化，包括大于国家尺度的因素和压力；第三在小于国家尺度的变化，比如流域尺度海岸带的变化。正确面对这些挑战和适应其变化，我们必须进行 5 个方面科学问题的研究：海岸带和灾害的风险；全球变化对区域海岸带生态系统及可持续发展的影响；人类活动对河湾和海岸带相互作用的影响；海岸带及海湾的生物地球化学循环；通

过控制海岸带上的陆—海相互作用来保证区域海岸带的可持续发展<sup>[16]</sup>。我国拥有 18 000 km 的海岸线，是我国经济发展最快的地区，面临着区域环境问题，直接影响着区域经济和可持续发展的可持续性，我们同样面临海岸带上地质灾害、气象灾害、生态破坏和环境污染等一系列问题，这些都是区域变化研究所要面对的科学问题。

(3) 区域气候变化过程。区域气候变化过程是影响全球环境变化的关键过程之一，它的变化受到地球系统各个圈层的作用，过去 20 多年全球变化研究结果充分说明了人类活动对区域乃至全球变化有重要的影响。现代气候学有别于传统气候学的最重要标志就是把气候变化与大气以外的强迫过程联系起来，不再认为气候只是本身的非线性过程作用，而是大气圈、冰冻圈、岩石圈、生物圈、水圈和人类圈共同作用的结果。除海—陆—气相互作用过程、区域水分过程变化与气候变化的作用外，进一步研究的焦点更应集中区域尺度上的大气化学过程、区域地球生物化学过程等与气候变化的作用，从多学科交叉研究的途径来认识和理解区域气候变化这个关键过程。更加客观的诠释如我国北方半干旱区干旱化加剧、西北西部近 20 年降水的增加等一系列与国家重大需求有关的环境突变现象。

### 3.2 区域边缘现象、阈值与突变问题

边缘现象是普遍存在于自然界和人类社会发展的各个领域，在自然界这些边缘现象发生的地区往往是对全球环境变化响应的敏感地区，也是全球环境变化的关键区域。在区域尺度上，这些边缘地区同样是最脆弱、最敏感的地区。如区域过渡带、边缘海地区等关键区域边缘海及陆海相互作用等方面的研究既是国际前沿，又是关乎我国沿海、海洋经济可持续发展的重大资源环境问题。在 IGBP 的框架下，海岸带陆海相互作用(LOICZ)主要关注陆源物质的输入对河口邻近海区的影响，以及海岸带未来变化将如何影响人类对它们的使用，这些问题与人类活动密切相关，而海洋生物地球化学循环、生态系统和人类系统的相互关系则是海洋生物地球化学与生态系统整合研究(IMBER)所关注的科学主题之一<sup>[9]</sup>。

气候与环境突变也是影响区域社会可持续发展的重要科学问题。我们应当努力对(未来百年内)重大的气候和环境事件、气候和环境突变的出现获得比较深入的看法，发现某些突变的阈值和一些突变前期信号，并且针对全球变暖背景下的一系列区

域重大气候与环境问题进行深入的研究,减小相关预测的不确定性。气候突变的一个突出例子就是在全球增暖背景下,类似于仙女木的冷事件在未来百年内是否会再现,这是人们极为关注的问题,因为它的出现将会给人类的生存环境带来灾难性的影响,对这些事件的考虑曾经出现在美国国防部的机密报告中<sup>[17]</sup>。另外,过去还出现过多次全球或者区域性的突变,虽然不像仙女木事件那么严重,如20世纪60年代中期亚非区域也出现了降水型的突变,我国西北部降水量近20年的突然增加<sup>[18]</sup>、西北东部和华北持续20年的干旱化趋势<sup>[19]</sup>、全球干旱面积在20世纪80年代以后的急剧扩大<sup>[20]</sup>都是全球或者区域气候与环境突变的体现。然而,我们对这种全球和区域尺度上的气候及环境突变形成的机理还不甚清楚,对突变及其阈值的确定仍然存在很大的不确定性,因此,这也将是区域研究所面临的关键科学问题,同时也是区域尺度上的国家重大需求。

### 3.3 区域人类活动对全球变化的有序适应

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。初步预测,21世纪全球增暖的速率将超过过去1万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,生物多样性减少、土地退化、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。面对这样的形势,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将来可能发生的变化,以达到趋利避害的目的,这就是人类对全球及区域变化的适应问题。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<sup>[2-4, 7, 21-23]</sup>。

我国处于生存环境脆弱多变的东亚地区,环境问题尤为严峻。当前,应综合评估东亚地区气候和环境变化对我国社会经济可持续发展的影响。加强人类有序适应的研究及科学实验活动,开展全球变化适应的区域实证研究,提出科学的适应对策。

## 4 区域研究的途径和方法

### 4.1 区域研究的途径

区域研究应选择那些兼具全球意义和区域特色

的核心问题开展研究,并通过制订国际区域研究计划、实施地球系统区域观测等途径来获得全球及区域环境变化的数据资料。

#### 4.1.1 国际区域研究相关计划的制定

在全球变化的第一阶段,一系列大型的国际研究计划取得了丰硕的成果,同时也发现了新的科学问题。科学家们已经认识到:全球环境变化问题需要通过区域研究来解决,而当前则需要选择那些既具有重要的全球意义又兼具区域特色,同时符合国家重大需求的核心区域开展研究,并制定相应的区域集成研究国际计划。

当前,国际上的一些研究计划更加关注全球和区域的链接,集成多学科、多手段,旨在推动区域内社会和环境可持续能力的研究项目,从而使国际区域集成研究工作逐步形成规模。在IGBP、WCRP、IHDP的共同支持下,国际科学联合会于1992年发起了全球变化分析、研究和培训系统计划(START),致力于加强全球变化研究的能力建设,现已建立东亚、东南亚、南亚、非洲、地中海等区域网络系统。随后,BSSP又启动了一系列全球变化区域集成研究项目(IRS),其中具有代表性的大型区域集成研究项目包括:LBA、AMMA、ProMed和MAIRS。这些区域计划都具有明显的特点:区域研究必须同区域内政府和民众的利益直接联系起来;不同区域的生物地球物理、生物地球化学和人文过程等方面都会有不同的表现,从而对地球系统产生不同的影响。这些知识是认识和理解地球系统整体行为的基础,同时这些区域研究具有重要的全球意义<sup>[12]</sup>。

近年来,政府间的全球变化研究网络也有迅速发展,如美洲间全球变化研究所(IAD)、亚太全球变化研究网络(APN)、欧洲全球变化研究网络(ENRICH)等也为区域研究提供了重要途径。

#### 4.1.2 实施地球系统的区域观测

目前,国际上有关全球变化观测的重大举措是在世界气象组织(WMO)、政府间海洋委员会(IOC)、联合国环境署(UNEP)和国际科学联盟(ICSU)支持下的全球气候观测系统(GCOS)的建立。GCOS包括3个子系统,其一是大气观测系统,它除了监测各种气象要素(包括云和大气辐射特征)、大气成分(温室气体、臭氧、气溶胶等)外,还监测各种气象极端事件;第二个是全球海洋观测系统,ARGO就是其中的海洋漂浮探测器(类似大气中探空),将有3000多个浮标漂浮在海洋上,除观测上层海洋

温盐结构、海面高度、海洋环流外还有海气相互作用的观测 其三是陆地观测系统(GTOS)观测水圈、冰圈和生态系统的状况等<sup>[17]</sup>。

除了上述大范围的全面观测计划外,不同区域针对特殊需要设计了许多观测实验计划。如碳循环观测计划,主要包括区域尺度的碳源、碳汇分布、各种状态的碳的转化及其时空输送,国际协同加强观测(CEOP)计划,主要观测和了解大陆水文、气候过程对大气环流可预报性与水资源变化的影响,重点放在研究影响气候系统及其异常的热源和热汇区;国际长期生态研究网络(ILTER)进行长期、大尺度的生态过程的观测等;RAPID 观测计划,目的是监测可能出现的气候突变,还有 El Niño 和 La Niña 的监测等<sup>[17]</sup>。

同时,结合国际各种观测计划和各国的自身的需要,不同国家也组织了相应的观测计划。如美国 NASA(国家航空与航天局)、NOAA(国家海洋和大气管理局)和能源部都各自组织和支了不同目的观测计划,包括系列的卫星探测计划。在欧洲同样开展了许多观测,如波罗的海、撒哈拉等地的观测。中国近年来也在区域观测方面取得很大进展,如中国气象局组织的中国气候系统观测计划,中国科学院主持建立的中国生态系统研究网络(CERN),中国科学院配合国际 CEOP(国际协同强化观测计划)建立的半干旱区的观测网络等,这一系列全球、区域和国家尺度上的观测实验计划为全球环境变化及区域变化研究提供了大量丰富的数据<sup>[17]</sup>。然而,这些数据还远远不能满足我们认识复杂多样的区域环境变化的需要,区域观测实验的数据还缺乏时空上的连续性,在加强地面观测实验、提高空间观测分辨率的同时,利用空间探测器(包括卫星遥感探测、航天器等)的三维立体观测是未来的发展趋势。

#### 4.2 建立区域研究新方法

通过全球和区域观测系统可获得海量的观测数据,还需要建立新的研究方法,对这些资料进行分析以获取全球及区域环境变化的关键信息。

##### 4.2.1 区域集成新方法

地球系统是复杂的、非线性的,它是一个包含多种成分、多种过程的集成系统,其运行并不受人类为了提高智力资源的效率而进行的主观学科划分的约束。因此,对地球系统的全面研究必然由一个集成的科学系统来完成。建议加强集成方法的研究,通过各学科之间成果的集成及学科间的集成来揭示由全球和区域尺度环境变化的关键事实和过程,并开

展不同手段和方法的对比综合研究,加强研究结论的相互对比和印证,避免重复研究。新的集成方法的研制是完成相关资料分析的关键<sup>[2,9,24]</sup>。

##### 4.2.2 区域实验与尺度转换(scaling)

在全球变化的区域研究中,一个重要的方法是区域实验研究。从研究需要出发,选择和建立典型地区,根据实验理论和运用一套实验原则,选择单项和综合因素,安排实验项目,探求某区域的生物地球化学过程。在区域选择上,由小尺度样区出发,到中尺度样区(小流域)、大尺度(大流域)样区、国家尺度样区、亚全球尺度。其中,在由小尺度区域的实验结果向大一区域推广时,会遇到尺度的转换问题,因为区域愈小,其结构、功能、物质组成、能量的输入输出、作用与过程等愈简单,而区域愈大,这些要素、作用与过程愈复杂,因此在综合集成的研究过程中,将区域的案例研究结论扩展至全球尺度上的研究结果时,必然会遇到尺度转换的问题。除了关注空间尺度的转换,还应关注研究结果在不同时间尺度上的转换。目前,还没有被普遍应用的成熟的空间和时间尺度转换理论和方法,应重视这方面的理论和实证研究。

##### 4.2.3 建立基于数理基础的区域地球系统模型和数值模拟

在分析的基础上,为了认识地球系统内部过程相互作用的机理,需要用数学和物理方法对各种变化过程进行描述,刻画地球系统内部各圈层相互作用的关键过程及其它们之间的相互作用,建立用数学和物理理论描述的全球及区域地球系统模式,通过数值模拟的方法来研究全球和区域地球系统各圈层之间相互作用的机理。模拟研究一直是地球系统研究的一个不可或缺的部分。由于计算机技术的飞速发展,对于地球系统的模拟也朝着更微观和更复杂的方向发展,建立和发展包含有各种时间尺度地球环境变化过程的全球和区域地球系统模式已经成为可能,日本近年来发展起来的地球系统模拟器已经取得了相当的进展。毫无疑问,发展全球和区域地球系统模式是我们深刻认识各圈层相互作用、建立全球和区域变化理论的重要方法<sup>[25]</sup>。

## 5 中国在区域研究中所面临的机遇和挑战

我国位于全球环境变化最为剧烈的东亚季风区,对区域及全球气候变化的响应极为敏感。面临着巨大的人口压力,相对贫乏的人均资源和生存空



间决定了我国的环境具有更强的脆弱性。我国正处于工业化快速发展时期,随着经济持续增长和城市化水平的不断上升,我国面临着巨大的物质和能源需求、土地利用格局的极大变化以及日益严重的环境污染,由此带来的社会压力有可能影响到我国的国家安全,甚至可能演化成地区性乃至全球性的问题<sup>[26, 27]</sup>。

我国具有多姿多彩的自然环境和悠久的历史,为全球变化区域研究的开展提供了得天独厚的条件。漫长的演化历史与复杂的动力学过程,造就了我国多元的地貌格局。青藏高原是影响全球变化的关键地区之一,独一无二的黄土高原保存着数百万年的丰富环境信息,长江、黄河贯穿大陆东西,奔腾入海,为研究全球背景下陆海相互作用提供了良好的舞台,宽浅的大陆架和广阔的近海海域,为陆—海—气相互作用研究提供了优越的条件。深厚的文化底蕴、丰富的历史文献和各种自然记录,可以提供多方面的古环境变化信息,为我国全球变化区域研究提供了良好的机遇<sup>[26]</sup>。

在全球变化背景下,面对上述问题与机遇,我国科学家应紧密结合中国的特点,发挥自身优势,选择那些兼具全球意义与中国特色的全球变化研究议题,提出由中国引领的国际合作研究计划。MAIRS的实施已为我们在这方面的研究树立了良好的开端。近期,我国科学家正在积极推进大三角区(西太平洋、东印度洋与青藏高原交汇区)多时间尺度的海洋和气候研究。该项目不仅可以在ENSO和全球热盐环流传输带研究方面做出重要贡献,而且也提高我国气候预测能力和海岸带开发与综合管理水平,提供理论基础和科学依据。相信在不远的将来,我国的全球变化研究必将在国际前沿发挥更强的引领作用,并且为和谐社会的构建、为国家的可持续发展做出重要的贡献。

致谢:在本文的撰写过程中,黄鼎成先生、周广胜研究员、翟金良博士提供了宝贵意见,金德生研究员、王芳女士为本文的具体撰写付出了辛勤劳动,特此致谢。

#### 参考文献(References):

- [1] IGBP. Global Change and Earth System: A Planet under Pressure [R]. IGBP Science Series 4, 2001.
- [2] Fu Congbin, Dong Wenjie, Wen Gang et al. Regional response and adaptation to global change[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(2): 245-250. [符淙斌,董文杰,温刚,等.全球变化的区域响应和适应[J].气象学报,2003,61(2):245-250.]
- [3] Ge Quansheng, Chen Panqin, Fang Xiuqi, et al. Adaptation to global change: Challenge and research strategy[J]. Advances in Earth Science, 2004, 19(4): 516-524. [葛全胜,陈泮勤,方修琦,等.全球变化的区域适应研究:挑战与研究对策[J].地球科学进展,2004,19(4):516-524.]
- [4] Ye Duzheng, Fu Congbin, Dong Wenjie. Progresses and future trends of global change sciences[J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(4): 467-469. [叶笃正,符淙斌,董文杰.全球变化科学进展与未来趋势[J].地球科学进展,2002,17(4):467-469.]
- [5] An Zhisheng, Fu Congbin. The progress in global change science [J]. Advances in Earth Science, 2001, 16(5): 671-680. [安芷生,符淙斌.全球变化科学的进展[J].地球科学进展,2001,16(5):671-680.]
- [6] Sun Chengquan, Lin Hai, Qu Jiansheng. Core Research Projects and an Integrated Research on International Global Change[M]. Beijing: China Meteorology Press, 2003. [孙成权,林海,曲建升.国际全球变化研究核心计划与集成研究[M].北京:气象出版社,2003.]
- [7] Chen Yiyu. Ideas on the research of global change adaptation[J]. Advances in Earth Science, 2004, 19(4): 495-499. [陈宜瑜.对开展全球变化区域适应研究的几点看法[J].地球科学进展,2004,19(4):495-499.]
- [8] Qin Dahe. Climate change sciences into the 21st Century: Facts, impact and strategies addressing climate change[J]. Science & Technology Review, 2004, (7): 4-7. [秦大河.进入21世纪的气候变化科学——气候变化的事实、影响与对策[J].科技导报,2004,(7):4-7.]
- [9] Li Jiayang, Chen Panqin, Ge Quansheng. Global change and human activities: Priorities of the global change research in next phase in China[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(4): 371-377. [李家洋,陈泮勤,葛全胜,等.全球变化与人类活动的相互作用——我国下阶段全球变化研究工作的重点[J].地球科学进展,2005,20(4):371-377.]
- [10] Tyson P R, Fuchs, Fu C B, et al. Global-Regional Linkages in the Earth System[R]. The IGBP Series, 2002.
- [11] IBA. [http://iba.cptec.inpe.br/iba/\[EB/OL\]](http://iba.cptec.inpe.br/iba/[EB/OL].). 2005.
- [12] Fu Congbin, Qu Jiansheng, Ai Likun. Overview on the integrated regional research on Earth Science[C]. Strategy of Earth Science Development. Beijing: China Meteorology Press, 2005: 171-177. [符淙斌,曲建升,艾丽坤.地球系统科学区域集成研究:概况与特点[C].地球系统科学发展战略研究.北京:气象出版社,2005:171-177.]
- [13] <http://amma.mediastance.org/index>
- [14] Moran E F. News on the land project[J]. Global Change Newsletter, 2003, (54): 18-20.
- [15] Ojima D, Lavorel S, Graumlich L, et al. Terrestrial human-environment systems: The future of land research in IGBP [J]. Global Change Newsletter, 2002, (50): 31-35.
- [16] LOICA. LOICZ Science Plan and implementation strategy[J]. Global Change Newsletter, 2005, (61): 16-17.

- [ 17 ] Ye Duzheng, Ji Jinjun. Prospect the overlying development of atmospheric science [ J ]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20 ( 10 ) : 1 047-1 052. [ 叶笃正, 季劲钧. 迎接大气科学发展即将到来新飞跃 [ J ]. *地球科学进展*, 2005, 20 ( 10 ) : 1 047-1 052. ]
- [ 18 ] Shi Yafeng, Shen Yongping. Signal, impact and outlook of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [ J ]. *Science and Technology Review*, 2003, ( 2 ) : 54-57. [ 施雅风, 沈永平. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初探 [ J ]. *科技导报*, 2003, ( 2 ) : 54-57. ]
- [ 19 ] Fu Congbin, An Zhisheng. Study of aridification in Northern China—A global change issue facing directly the demand of nation [ J ]. *Earth Science Frontiers*, 2002, ( 2 ) : 271-275. [ 符淙斌, 安芷生. 我国北方干旱化研究—面向国家需求的全球变化科学问题 [ J ]. *地学前缘*, 2002, ( 2 ) : 271-275. ]
- [ 20 ] Dai Aiguo, Kevin E Trenberth, Tao Tao Qian. A global dataset of Palmer drought severity index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming [ J ]. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, 5 ( 6 ) : 117-130.
- [ 21 ] Ye Duzheng, Fu Congbin. Major issues of global change sciences [ J ]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1994, 18 ( 4 ) : 498-512. [ 叶笃正, 符淙斌. 全球变化的主要科学问题 [ J ]. *大气科学*, 1994, 18 ( 4 ) : 498-512. ]
- [ 22 ] Ye Duzheng, Fu Congbin, Ji Jinjun, et al. Orderly human activities and subsistence environment [ J ]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16 ( 4 ) : 453-460. [ 叶笃正, 符淙斌, 季劲钧, 等. 有序人类活动与生存环境 [ J ]. *地球科学进展*, 2001, 16 ( 4 ) : 453-460. ]
- [ 23 ] Ye Duzheng, Fu Congbin, Dong Wenjie, et al. Some advance in global change science study [ J ]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27 ( 4 ) : 435-450. [ 叶笃正, 符淙斌, 董文杰, 等. 全球变化科学领域的若干研究进展 [ J ]. *大气科学*, 2003, 27 ( 4 ) : 435-450. ]
- [ 24 ] Brasseur G, Bernier Moore. The new and evolving IGBP [ J ]. *Global Change Newsletter*, 2002, ( 50 ) : 1-3.
- [ 25 ] Costanza R, Boumans R, Sahagian D. A new approach to global, dynamic modeling of integrated human in natural system [ J ]. *Global Change Newsletter*, 2003, ( 54 ) : 9-12.
- [ 26 ] Fu Congbin. Monsoon Asia: Climate, humans and the environment [ J ]. *Global Change Newsletter*, 2005, ( 62 ) : 1-4.
- [ 27 ] Li Jiayang. China and the challenge of global environmental change [ J ]. *Global Change Newsletter*, 2005, ( 62 ) : 3-4.

## Regional Research : A Main Approach to Understanding the Global Environmental Change

LI Jiayang<sup>1</sup>, CHEN Pan-qin<sup>2</sup>, MA Zhu-guo<sup>3</sup>, GE Quan-sheng<sup>4</sup>

( 1. The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China ; 2. The Bureau of Science and Technology for Resources and Environment, CAS, Beijing 100864, China ; 3. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China ; 4. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China )

**Abstract :** Regional research is a powerful approach to understanding the Earth System, which is necessary for deepening global change research. Some integrated regional cases study from Southern Africa, South Asia, East Asia, Southeast Asia, etc. and some great regional projects such as LBA, AMMA, MAIR Sand ProMed indicate that the outcomes of regional change research are the great contribution to a better understanding of the Earth System as a whole, and the integrated experiment, modelling and analysis are the powerful tools for enhancing understanding of the Earth System. Some key scientific issues in regional environmental change should be focused on : ( i ) the response and adaptation of integrated regional key process to global change, such as land surface process, land-ocean interactions in the coastal zone and regional climate change ; ( ii ) regional marginal phenomena, threshold and catastrophe ; ( iii ) regional orderly adaptation of human activity to global change. It is necessary for regional studies to make regional programs related to global change, Earth observation at the regional scale, new integrated method, regional experiment and scaling, Earth modeling and simulation, etc.

**Key words :** Regional study ; Global change.