

地球系统科学进展

林 海

【摘要】 本文着重指出:通过对大气、海洋、冰盖、生物圈、地壳和地球内部各自独立的研究,地球科学已取得传统的进展,近代研究正在阐明连接这些组成部分的动力相互作用,并将它们看作为整个地球系统的不可分割的各部分。现在,全球观测、新的空间技术和定量模式给了我们探测复杂的地球演变的相互作用过程和全球变化的能力。作为全球变化计划,本文论述了地球系统科学的形成背景、目的、内容和建议性计划。最后概要介绍了美国国家科学基金会正在执行的全球地学计划,十分显明,这个全球地学计划是全球变化计划(又称作国际地圈生物圈计划)的一部分。

目前地球科学正处在明显的转变时期,开始进入一个地球科学发展的新阶段——地球系统科学阶段。地球系统科学是一门地球科学各分支学科彼此有机结合的综合性学科,同时又处在地球科学和生物科学二大学科的交界点,所以又是一门新兴的交叉科学。

迄今为止,地球科学各专门领域都取得了重大进展。在上一个世纪人类已认识到地球各部分之间存在着全球联系。然而,直到最近我们才对这种联系获得足够的了解,开始从整体的观点去研究地球。为了更深入地了解地球各个部分之间的相互作用及其形成过程,我们必须利用全球观测技术和建立物理模式和数值模式对地球科学进行系统性研究。

地球系统科学仍以传统的学科为基础,对地球各部分之间的相互作用作更深入的了解,以便将地球各部分组合成一个统一的动力学系统。这个新方法的基本点是把地球看作一个时空尺度极宽的各种相互作用过程的联合体,而不是各个部分的简单集合。特别强调岩石圈、物理气候系统(大气、海洋和陆地表面)和生物圈之间的相互作用的整体观点。各种现象和过程的空间尺度可以从几毫米到地球周长,时间尺度从几秒到几十亿年。这些系统各自并集合地参与各种时空尺度的全球变化,一旦发生变化,便可波及整个地球系统。由于地球各个部分之间的耦合性,一个部分发生变化可能从空间和时间上影响到其它各个部分。由于系统是非线性的,某一时间尺度发生的变化可传播到其它时间尺度。

因此,研究地球系统科学的主要方法是按时间尺度而不是按学科的各种地球过程分别地进行研究。通过这种方法,希望能做到描述、了解、模拟和预测地球过去和未来的演变情况。

一、地球系统科学产生背景

地球系统科学是地球科学发展的必然产物,为人类文明、经济发展以及涉及人类生存所必需。

1. 科学发展的必然

科学研究使人们对地球有了新的认识。过去 30 年对大陆、海洋、天气、生物圈和冰覆盖的研究已表明,地球各个部分之间存在着复杂的相互作用,并对地球的过去和未来演变起着显著的作用。

过去 30 年内科学上最重大的突破之一是,我们对固体地球的认识全然一新。早期有关平静、安谧的观点已被抛弃,取而代之的是地壳板块构造学说。造山运动、火山爆发和地震活动等现象都可以用这个学说统一起来。板块构造第一次统一而又清晰地描绘出地壳的演化特征。

在过去几十年中,人们对流体地球的认识也有了重大进展。已认识到地球上的海洋、大气和冰覆盖区与全球天气气候的形成密切相关;已绘画出世界各大洋流的位置,揭示出海洋内部热量、盐度和养分的分部情况;利用全球温度、水分和云覆盖的卫星观测资料,建立了全球大气环流模式,已开始发布可靠的大气环流形势预报;海气相互作用的研究已判断出厄尔尼诺现象与南方涛动之间的联系。这些研究对我们初步了解全球范围的流体地球的运动有所贡献。

目前人们已认识到地球生物对全球过程的重要作用。例如,海洋生物群产生海洋沉积物减少大气中的二氧化碳,对气候有重要影响;海洋生物群和大陆上的生态系统都参与地球化学物质的循环过程;大陆生物群还通过影响地球反照率、水循环和各种微量气体的排放对气流产生影响。

因此,所有这些新的发现使我们更深刻地认识到地球是一个整体系统,必须采用更全面和统一的地球系统科学的研究方法探索地球。

2. 巨大的实际效益

当代科学技术发展的事实表明,基础研究的许多成果转化为技术,应用到人类需求的周期日益缩短,每一重大突破都给人类带来巨大的经济效益或社会效益。地球科学的研究也不例外。

当代获得最大实际效益之一的是日益精确的全球天气预报。60 年代由于高速电子计算机的问世,使得大气过程的数值模拟成为现实。与此同时,1960 年第一颗实验卫星的发射成功,从空间对地球表面和大气进行全球观测方面取得了崭新的发展。1966 年开始第一批极轨气象卫星投入使用,1974 年一系列的地球静止环境卫星投入业务。这些空间飞行器能够连续地获得全球温度、云覆盖和其它大气变量,以补充原有的地面和高空观测。目前区域天气预报的数值预报几乎是完全依据这些资料作出的。

陆地和海洋的研究也已给人类带来很多实际效益。研究地壳运动和板块构造,可发现潜在的火山爆发和地震活动区,并作出预报。特别是由于研究了环境特定过程(例如金属硫矿在沿着海洋延伸中心水热出口处的沉积过程),我们已经知道地球上大量的石油、天然气和矿床的分布情况。从卫星观测到的海洋颜色中可以识别浮游生物的密集区和捕捉时间,这样我们就可以更有效地开发渔业资源。

所有这些均说明了:为了发展世界经济,提高人类生活水平,使科学研究带给人类更巨大的社会效益和经济效益,必须对地球本身的科学问题作更深入的探索,以进一步开发地球的丰富宝藏。

3. 人类的新需求——研究全球变化

人类活动正在引起全球范围的重大变化。例如矿物燃料的燃烧正以前所未有的速度把二氧化碳注入大气。自从产业革命以来,大气中二氧化碳的浓度已增加 25%。据南极地区的观测表明,大气中二氧化碳的含量成线性增加,预计到 21 世纪中叶二氧化碳含量要增加一倍,达到 680PPm。根据气候模式预报,由于二氧化碳对于地球表面起着温室效应,到 21 世纪中叶

全球平均地面温度至少增高 2°C , 除水分布也将有明显改变。另外甲烷、氟氯化碳和对流层中的臭氧等微量气体的温度效应也在不断增长。由于全球性温度增加, 尤其是极区温度的上升, 将引起极冰融化, 海平面升高, 这将造成全球范围内的气候效应, 进一步影响到人类生存的各个方面。

人类活动所引起的第二个后果是, 随着对燃料和食物的日益增长, 地球植被和可耕地逐渐减少, 大量森林被砍伐。另外, 很多伐木区改种了其它植物, 北半球中纬度地区又大量造林。这种地物的改变对二氧化碳平衡的净化效应有多大尚不清楚, 但毕竟以不同的方式人为地改变着陆地上的生态平衡。事实上不良后果早已明显暴露出来, 日益严重的世界性的干旱和沙漠化问题就是例证。

所有这些人类活动带来的变化是难以估计的, 也难以进行准确的测量, 但是它们在形成现在和未来全球状态中所起的作用是确定无疑的。因此探索地球上各种过程、找出其间的关系, 研究与这些变化相联系的陆圈、大气圈和生物圈之间的相互作用, 研究地球上物理、化学和生物过程之间的相互作用等等, 因为它关系到人类未来生存环境战略的制定。

二、地球系统科学的目的和任务

我们现在需要对地球系统的各个部分本身和它们之间的相互作用两个方面得到进一步认识。显然, 我们目前对这个系统各部分的认识还是不平衡的。例如对大气动力学的了解远远超过对大尺度陆地生态系统的认识; 对大气海洋之间的耦合要比对地球板块和下地幔的耦合了解得多。虽然它们都是地球系统的重要组成部分, 但是我们已有的认识还远不能对它们在全球系统中的作用作全面的评价。所以我们应该广泛地开展地球系统的研究, 在促进地球系统科学各主要部分研究的同时, 还应探索它们之间的相互作用。

作为地球系统科学近期目的的研究, 是要通过对地球系统各个部分及其相互作用的研究, 了解其演变和相互作用机制, 预测它们在各个时间尺度上的演变趋势, 达到从全球尺度范围内对整个地球系统有一个科学的认识。

地球系统科学当前的研究任务应该是: 发展和增强人类对预测未来 10 年到一个世纪内自然因素和人类活动所引起的各种变化的能力。这是地球系统科学所面临的严峻挑战, 因为人类活动所引起的全球变化很难从几十年以致长达几十世纪的相同时间尺度上发生的自然变化过程中分离出来。现在是探索地球上各种过程, 找出其间的因果关系的时候了, 当然要作出有效的回答还尚需时间。

三、地球系统的基本过程

地球系统由固体地球、流体地球和生物地球所构成, 其内部存在着地圈、气圈、水圈和生物圈基本循环过程及其相互作用。

1. 固体地球过程

固体地球的各种过程主要由地球内部能源所驱动, 其时间尺度长达几百万年到数十亿年, 其过程主要为地心动力过程、地幔环流和板块运动。这些缓慢过程通过地心—地幔耦合、地球物理化学循环和生物地球化学循环彼此发生作用, 并与较短时间尺度的各种过程发生关系。为了解固体地球过程的起源、性质及其相互作用, 必须开展对固体地球的观测、分析和实验研究。

例如地球板块运动是由下地幔对流运动所引起的,所以近年来加强了对下地幔的研究,大地水准面的卫星观测能为地幔数值模拟和建立地幔环流及板块创造活动之间的定量关系提供资料;地球磁场的研究对解释地心结构和校准地质年代能起到重要作用;由于地表地质学是一个拥有长时间地球内部对流过程记录和其他现象,如气候变化、海洋变迁和生物影响等的资料库,因此不间断地开展大陆地质学的研究能期待获得全球演变的崭新图象。

2. 流体和生物地球过程

与固体地球相反,流体和生物地球的变化具有两个显著的特征:(1)几乎完全由太阳辐射能所驱动的流体和生物地球对地球外界环境极为敏感。例如,由于日射强度的日变化和年变化的主导作用,使地球轨道参数既含有微小变化,也反映重要的长期的气候效应。(2)人类活动作为全球变化的主要引发者而存在,且人类又必须生活在自然和人类本身双重影响的环境之中。这样,就增加了全球变化的复杂性。描述流体和生物地球过程全球变化的时间尺度为几十年到几个世纪,它可分为两个基本类型:物理气候系统和生物地球化学循环,并通过无处不在的以水汽、液态水和冰雪形态存在的全球水分相联系在一起。而目前我们仍缺乏长期观测全球水分的基本观测原理和方法,因此在未来几年内应将全球水分观测作为流体和生物地球研究的首要目的。对于物理气候过程我们已经研究了几十年,取得了重大进展,可对全球尺度的气候变化的认识还是不完全的。生物化学循环对地球生命的存在起着决定性作用,碳、氮、硫、氧通过大气层、水圈和岩石圈,且与其他成分相互作用,并以各种形式循环着。每一个循环都具有特定的途径和时间尺度,彼此交叉重叠,并和各种生物过程相联系。目前对这种全球循环的研究还很薄弱,因此发展大气、海洋、生物圈的卫星观测是研究气候系统和生物化学循环的主要手段,同时也需要进行陆地和海洋生物区、大气化学和成分、海洋沉积物的实地观测。

四、建议性计划

为了对地球系统科学进行广泛深入的研究,就地球系统科学委员会对地球整体的研究设想、计划作一简略介绍,以虑参借鉴。

地球系统科学委员会强调新技术的重要性,制定了从空间研究地球的整体规划,建议地球系统科学研究计划分为两个阶段进行。

1. 近期阶段(1985—1995)

这个阶段主要是利用现有卫星观测能力,建立先进的信息系统和加强地球系统的基础研究。

(1) 业务空间观测计划。即继续进行目前已有的业务卫星观测系统,并根据需要加以提高和扩展。

(2) 专门的空间研究计划。专为研究特殊的地球系统过程服务,它包括地球辐射平衡实验,激光地球动力学卫星、高层大气研究卫星,美国海军海洋遥感系统,海洋高度实验以及位势研究计划,其中大部分已经实施。

(3) 其他观测计划。在 NOAA 卫星、航天飞机和其他空间飞行器上,增添适当的设备,以获得重要的地球系统资料。

(4) 地球系统交叉学科基础研究计划和就地测量。它主要由 NASA、NOAA、NSF 和其

他联邦机构来实施。目的是加强生态学研究、地球系统科学中的多学科研究、以及地球科学自身的基础研究。

(5) 先进的信息系统。用于处理全球资料,改进资料分析、资料外推、以及地球系统过程的定量模拟。

(6) 仪器研制计划。为 90 年代中开始执行的各种卫星试验作准备。

2. 空间站时代(1995—下一个世纪)

从 90 年代中期开始的空间站阶段,主要是发展业务的对地观测系统,它将装备上一阶段完成的用于专门空间计划的改进设备和新一代的先进观测平台。

(1) 地球观测系统。利用已有的极轨平台作为美国空间站计划的一部分,并实施 NASA 研究设备和 NOAA 业务平台的联合空间飞行计划。

(2) 先进的地球静止空间平台。这是用于研究和业务观测的新一代系统。

(3) 专门空间研究计划,主要包括降水空间测量,磁场探测器、中间层和热层探测器,以及重力梯度计空间测量。

五、国际合作的重要性

国际合作对于全球性的地球研究和地球系统科学的创建是否成功都是至关重要的。因为:(1) 从空间和从地面不同地区进行详细的全球观测是必要的,所涉及的国家必须参与观测计划的制定和实施;(2) 有些国家也在计划遥感地球的空间系统,这将为地球系统研究提供重要的资料。

有关地球系统科学的许多重要的国际研究计划目前正在实施或已计划实施,由国际科联和世界气象组织共同发起的世界气候研究计划中有相当一部分与地球系统科学有关。例如热带海洋全球大气计划(TOGA)、国际卫星云气候学计划(ISCCP)、国际卫星地表气候学计划(TSLSCP)和世界海洋环流实验(WOCE)。此外,还有一些计划对于研究地球系统科学的目的是十分重要的。例如:目前国际科联组织和提倡的国际地圈生物圈计划(IGBP);由 NASA 和 23 个国家签订双边协议的地壳动力学计划(Crustal Dynamic Project);以及最近成立的国际磁场卫星工作组,确定和统一测量地球磁场的长期变化,以及全体海洋通量研究(GOFS)等等。

在地球系统的研究中,美国国家科学基金会(NSF)起着相当重要的作用,从 1987 年开始,NSF 实行了一个叫“全球地球科学计划”(Global Geosciences Program)资助一些国际地球科学的合作研究,以促进地球系统科学的发展。

可以说,地球系统科学的研究已经起步,全面展开大致要到 90 年代中叶,因此近 10 年内是各国准备,酝酿、制定计划,开展预试验的阶段。在这期间必要的宣传十分重要,目的是使大家认识这个问题的重要性。

EARTH SYSTEM SCIENCE

Lin Hai

Abstract

In this paper we emphasize that earth science has traditionally advanced through studies of individual components: atmosphere, oceans and ice cover, biosphere, crust and interior, but modern research is clarifying the dynamic interactions that connect these components and bind them into an integrated earth system, and global observations, new space technology and quantitative models have now given us the capability to probe the complex, interactive processes of earth evolution and global change. The formation background, goal and substance of earth system science, and the recommended scheme are given as a Program for Global Change. Finally, the Global Geoscience Program which has been implementing by the National Science Foundation of the United States is introduced briefly. It is evident that the Program has been a part of the Program for Global Change which is also called the International Geosphere Biosphere Programme (IGBP).

美国提高国家科学基金预算

据报道,为振兴科学技术,加强基础研究,提高国际竞争能力,保持美国在科技上的优势,美国政府最近提出,从 1988 年度起,实施一项为期五年的国家科学基金会预算计划。

从 60 年代到 80 年代,美国用于军事研究方面的经费约占整个政府研究预算的 50%,最近几年又增加到约 60%。相反,用于基础研究方面的费用仅占研究经费总数的 10% 左右。由于美国轻视对研究开发的投资,导致大学研究设施严重不足,研究实力不断下降。美国国家科学基金会出于上述目的,提出了从 1988 年度开始增加研究预算。1988 年度要求的预算总额为 18.93 亿美元,比上一年度约增加 17%。以后每年以 14% 的比例递增,到 1992 年度将达到 32 亿美元以上。

这个计划的目的是首先是确保培养人才。1988 年度国家科学基金会在确保培养人才方面,将投入经费 2.73 亿美元,比前一年增加 5%,用于振兴数学,理科和计算机教育,开发新教材,扩大大学教师参加研究的机会。预计 1988 年度,通过参加研究工作成为国家科学基金资助对象的大学学生和博士研究生,分别为 1.4 万人和 3700 人。

其次,有效利用产业界提供的资金,促进先进技术向产业的转让,推动大学的基础与应用研究。1988 年度,国家科学基金会将对大学原有的 11 个研究中心及新建的 10 个研究中心提供资助;在材料科学,计算机和情报科学等方面,资助建立 10 余个新的研究中心;在地球科学和生物技术方面,将积极推进团体研究,跨学科领域的综合研究以及地区间和国际间合作研究。上述所需经费约 5.29 亿美元,比前一年增加 18%。

第三,继续加强对传统学术领域的基础研究以及对特别研究设施的资助。1988 年度这方面的投资约 10.9 亿美元,比上一年内增加 18%。这些经费一部分用于购置研究设施,增加每项研究计划的资助额以及在大规模系统工程学和低温化学等领域,实施一些新的研究资助计划;另一部分预计用于建设超长基线射电望远镜以及建造用于南极观测的新型破冰船等。

(翟漪)