

科技评论

地球系统科学的发展过程与全球变化国际大科学计划

符淙斌

摘要 地球系统科学是当今世界最具挑战性的前沿科学领域之一。总结分析了近半个世纪以来,国际科学理事会(ICSU)主导实施的一系列全球变化国际大科学计划:世界气候研究计划、国际地圈-生物圈计划、生物多样性计划、国际全球环境变化人文因素计划、地球系统科学联盟、未来地球的可持续发展研究计划。探讨了在这些计划的推动下,地球系统科学的发展过程及其对促进人类社会可持续发展的贡献;指出了中国参与国际大科学计划具有提升国际影响力等重要意义,并提出了开辟专门经费渠道等具体建议。

关键词 地球系统科学;全球变化;国际大科学计划;全球环境问题

被称为“第二次哥白尼革命”的地球系统科学已经经历了半个多世纪的发展过程^[1]。它已经成为当今世界最富挑战的前沿科学领域之一,并成为人类社会可持续发展的最重要科技支撑之一。

基于“科学造福人类社会”的宗旨,国际科学理事会(ICSU)的主要任务是确定未来科学和社会发展中面临的最重要的问题,鼓励和促进全球科学家之间的交流与合作,并努力把最新的科学知识输送到社会,服务于人类社会的可持续发展。提出并组织实施多学科交叉的全球变化国际大科学计划,推动地球系统科学的发展,就是其中一项十分重要的工作。

南京大学大气科学学院,南京 210023

笔者从 20 世纪 80 年代以来,直接参与了 ICSU 主导的一系列与地球系统科学相关的全球变化国际大科学计划的提出与组织实施及相关科学研究工作。本文主要根据笔者经历与体会,阐明国际大科学计划在地球系统科学形成和发展中的重要作用。

1 全球环境问题催生全球变化国际大科学计划

早在古罗马时代,人们就注意到,人类活动已经毁坏了地中海地区大部分的森林。但是,那时的影响还仅仅是区域性的。20 世纪 70 年代开始,全球气候变化和环境问题日益加剧,引起了全社会的高度关注。1972 年,联合国首次

在斯德哥尔摩(Stockholm)召开了人类环境大会(Human Environment),会议聚焦于真正国际层面上的环境问题(Focused on environmental problems at a truly international level),并且强调地球气候变化对人类的重要影响。与此同时,出版了《Report of the study of man's impact on climate》报告^[2]。几乎同时,一批国际有识之士以“罗马俱乐部”(Club of Rome)的名义出版了一本专著《Limits to growth》,提醒人类社会的发展将受到地球资源与环境的约束,盲目和无计划的掠夺式开发和利用地球资源将带来严重的全球气候与环境问题。

以此为起点,ICSU 会同世界气象组织(World Meteorological

收稿日期:2024-12-16;修回日期:2025-02-07

作者简介:符淙斌,教授,中国科学院院士,研究方向为气候和全球变化,电子邮箱:fcy@nju.edu.cn

引用格式:符淙斌.地球系统科学的发展过程与全球变化国际大科学计划[J].科技导报,2025,43(10):15-22;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.12.01746

Organization, WMO)和联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)等国际组织,于1974年7月29日—8月10日在Stockholm附近的Wijk市召开了气候的物理基础及其模拟的国际研讨会。来自世界各国约70位专家出席。为时2个星期的会议完成了30多万字的总结报告《The physical basis of climate and climate modeling》。著名气候学家Kutzbach J担任了这个报告的起草人;著名气象学家Bolin B为报告撰写了序言。

这个报告最重要的意义是突破了把气候仅仅看作大气问题的传统认识,第一次提出了“气候系统”的概念:完全的气候系统是由大气、海洋、冰雪圈、陆地表面和生物群系(biome)组成的物理系统。这是地球科学发展史上具有里程碑意义的进展。

2 世界气候研究计划

世界气候研究计划是地球系统科学发展中的第1个全球变化国际大科学计划。1979年,WMO在日内瓦召开第1次“世界气候大会”(World Climate Conference),ICSU、WMO和UNEP联合提出了世界气候研究计划(World Climate Research Program, WCRP): Study on Physical Basis of Climate System^[3]。这是以地球的物理气候系统为对象的第1个全球变化国际大科学计划。“物理气候系统”包括5个物理组成部分,即大气、海洋、冰雪圈、陆地表面和生物体。很显然,物理气候系统的概念

尚未形成地球系统圈层的完整概念。同时,它主要集中于地球系统的物理过程,尚未涉及物理过程、化学过程和生物过程的相互关联。

WCRP的主要目标是确定地球气候在多大程度上可以预报,以及人类对地球气候的影响程度。后者实际上已经开始考虑社会过程对地球系统的影响。围绕这个目标,WCRP确定了3项任务:(1)建立时间尺度为1~2个月的天气异常预报的物理基础;(2)预测最长为几年的全球气候变化;(3)确定未来几十年气候变化的特点,评估地球气候对自然或人类的影响,例如大气二氧化碳浓度增加的影响。WCRP的研究主题包括:气候系统中的热量和水分交换;海洋—大气耦合;辐射过程和气候模拟,以及为支撑研究需要的观测和数据处理系统。

中国很早就参与了WCRP的工作。1982年开始,叶笃正先生出任WCRP-JSC(联合科学委员会)的委员。1985年成立WCRP中国委员会,叶笃正先生为首届主任,符淙斌为秘书长。1984年,叶笃正和符淙斌约请巢纪平先生和日本知名气候学家吉野正敏(Yoshino M)共同组织召开北京气候变化国际会议(Beijing International Symposium on Climate)。来自中国、日本、法国、英国、德国、美国、比利时、瑞士和印度等国的70多名学者会聚北京。会议的主题是“中国气候与全球气候:过去、现在和未来”(Climate of China and Global Climate: Past, Present and Future)。会议围绕海洋—大气相互作用,过去气候变化和气候

模式与模拟等邻域开展了广泛的学术交流。会后由施普林格(Springer)出版了专著《The climate of China and global climate》^[4]。可以说,这次会议开创了中国气候变化研究国际合作的新局面。

WCRP这个大科学计划已经运行45年了,至今仍在继续,为地球气候的预测发挥了重要作用。该计划还不断调整任务,与随后实施的全球变化邻域的大科学计划合作,为地球系统科学的发展作出新的贡献。例如,最近WCRP增加了一个重要内容:构建气候科学与社会之间的桥梁(bridging climate science and society)。

3 国际地圈—生物圈计划

国际地圈—生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)是ICSU组织实施的第2个全球变化领域的国际大科学计划。非常幸运,笔者从一开始就参与了这个计划的可行性研究过程,并一直参与这个计划的组织实施,以及最终转轨到现在正在实施的《未来地球计划》(《Future Earth》)的起草工作。

1983年底,ICSU的3人小组访问中国科学技术协会,成员包括Tome M(大气科学家,时任ICSU执行局成员)、Mooney H(生态学家)和Roederer J(地球和空间物理学家)。叶笃正和符淙斌等一批科学家应邀参加了中国科协国际部召开的接待来访ICSU代表团的座谈会。座谈会主要介绍ICSU启动的一个新的国际大科学计划:国际地圈—生物圈计划。该计划背

景最早可追溯到 1982 年 ICSU 纪念国际地球物理年(IGY)的大会上,时任国际地质和地球物理联合会(IUGG: International Union of Geology and Geophysics)主席 George Garland 的报告。他在报告中提出:地球上尚未揭开的许多秘密与物理过程、生物过程(包括人类本身)的相互作用相关联。会议还强调生命世界和非生命世界构成了一个活的地球;行星地球的环境是生物过程与物理、化学过程相互作用下形成的。1983 年,美国国家理事会(National Science Council, NRC)组织由国家科学院、国家工程科学院和医学科学院的代表组成的指导委员会起草并经理事会批准的文件《Towards An International Geosphere-Biosphere Program, A Study of Global Change》^[5]。ICSU 代表团的这个报告让与会者有点茅塞顿开的感觉,国内虽然已经开展大量的海洋-大气相互作用的研究并进一步关注陆地表面过程与大气的相互作用,但是,还没有涉及到生物体和生物过程。代表团还特别提到,这样的大科学计划至少需要 10 年以上的时间,希望有相对年轻的人参加进来。座谈会后,叶笃正留美时的老同学 Tom Malone 教授同我们进行了比较深入的讨论。

1984 年,ICSU 将实施这个大科学计划的构想提交第 20 届大会审议。笔者作为大会筹备组成员参与了在莫斯科召开的预备会,加深了对这个科学计划以及 ICSU 在发起国际大科学计划、推动世界科学发展中作用的认识。当年 9 月 24—28 日,ICSU 第 20 届大

会在加拿大渥太华召开,全球一大批各学科的顶尖科学家出席会议。中国科协派出了由刘东生、叶笃正、马杏垣、符淙斌和吴甘美组成的代表团。会上进行了非常热烈的辩论,辩论的焦点是,已经有了 WCRP,为什么还要提出这个新的大科学计划。提出反对意见的主要是当时 WCRP 计划的 2 位主要负责人,即 WCRP 的科学委员会主席 Maison B J 和执行主任 Morel P。他们的主要观点是,WCRP 包含了全球变化研究所需的一切。会议的主流观点是:WCRP 提出了气候系统的概念,是对传统气候学和气候变化理论的重要发展,但是,该气候系统只涉及发生在地球系统中的物理过程,应该称之为物理气候系统;IGBP 首先重新确立地球系统中生命世界与非生命世界的关系,认为“把世界分为生物与非生物,非生物的地表只是为生物生存提供环境的概念是错误的”“整个地球应该是一个完整的生命系统”。IGBP 把地球系统中的生物地球化学过程与物理过程作为一个整体进行研究,重点是物理气候系统与生物地球化学过程的相互作用,同时还包括人类活动对这个基本过程的影响。辩论明确了 IGBP 提出的理论依据和必要性。

经过充分讨论,会议提出了在当时建立 IGBP 的 4 个理由:(1) 地圈和生物圈的有生命部分和无生命部分之间是难分难解的缠绕在一起的;(2) 人类的影响已经增长到接近控制全球生命支撑系统的自然过程;(3) 日益增长的发展中国家对控制食物、衣着、能源和

居住条件的研究需求;(4) 迅速发展的技术为实施这样的计划提供了基础。可以说,这次大会在地球系统科学发展中是一次十分重要的里程碑式的事件。

在这次大会上,叶笃正和笔者提出,全球变化研究优先考虑的时间尺度应该是几十年到百年。这是因为:(1) 这个时间长度是直接关系到当今人类社会可持续发展,也是人们最关心、最容易得到支持的;(2) 时间长度不能太短,要允许地球系统各圈层之间有足够的时间实现物理、化学和生物过程之间的相互作用,以及人类社会与它们之间的相互作用。这个意见受到会议的高度关注,被写进 IGBP^[6]。在大会讨论中,还提出了关于气候-生态系统的过渡带在全球变化中的敏感性:在过渡带各种环境要素有最大的梯度。因此,过渡带可能是环境对人为和自然扰动的响应最激烈的地方,也是获取全球变化的早期信号和最强信号的地方。全球变化研究应特别关注过渡带。这个观点受到与会科学家,特别是生态学家的支持。其后也被后续的许多研究所证实^[4]。

1986 年 9 月,在瑞士 Bern 召开 ICSU 的 21 届大会上,通过了立即实施 IGBP 的决定,明确提出:IGBP 的目标和任务是:描述和理解调节整个地球系统的物理、化学和生物交互过程,它为生命提供独特环境,该系统中发生的变化,以及这些变化受人类行为影响的方式。可以看到 IGBP 从一开始就明确提出了地球系统的新概念。1988 年,美国航空航天局建立的地球系统科学委员会发布了

《Earth system science: A closer review》^[7],成为迄今最早关于地球系统科学的比较系统的论著。值得注意的是,该专著第16页明确提出,The challenge: Global change, decades to centuries,支持1984年加拿大渥太华召开的全球变化大会上我们的观点。这次会议还决定成立一个IGBP的特别委员会,叶笃正应聘为委员。1986—1990年,笔者继续参与IGBP可行性研究活动。1990年IGBP正式开始实施,成立了科学委员会,笔者被聘任为首届IGBP-SC成员,直接参与该计划的组织实施工作,并连任到1996年。

围绕地球系统中物理过程与生物地球化学过程的相互作用这一核心科学问题,IGBP设计了8个核心计划:国际全球大气化学研究计划(IGAC)、全球海洋通量联合计划(JGOFS)、过去全球变化研究计划(PAGES)、全球变化与陆地生态系统(GCTE)、水分循环的生物学问题(BAHC)、海岸带的海陆相互作用(LOICZ)、全球海洋生态系统动力学(GLOBEC)和土地利用与土地覆盖变化(LUCC)。同时,设计了3个支撑计划,包括:全球分析、解释与模拟(GAIM)、全球变化分析、研究和培训系统(START)和IGBP数据和信息系统(IGBP-DIS)。这8个计划的特点是学科交叉,最重要的是,地球系统各圈层之间的相互关联,圈层内和圈层间物理过程与生物地球化学循环过程之间的相互作用以及人类活动在其中的作用。IGBP-SC任职结束后,笔者又被聘任为核心计划GAIM科学委员会成

员。这个核心计划后来更名为AIMES(Analysis, Integration and Modeling of the Earth System),直到2007年。这个核心计划承担着地球系统科学问题集成研究的任务,同WCRP之间建立了很好的合作关系。笔者在IGBP-SC任期结束后,先后有胡敦欣、安芷生和秦大河等继续在IGBP-SC和其下属的核心计划科学委员会任职,参与IGBP计划的国际组织工作。

作为IGBP计划启动的主要参加国家,在参与IGBP计划的国际组织和推动工作的同时,我们也积极推动国内的工作。在叶笃正领导下,组建了IGBP中国委员会,开展国内与全球变化相关研究的调研分析,发起国家科技计划全球变化研究领域的立项工作。先后在国家攀登计划、国家重点研发计划以及国家基金委基础研究重大项目等框架内组织实施了一批全球变化领域的研究项目和国际合作计划,取得了许多重要成果。1994年,中国科学院建立了国际START系统的第1个全球变化区域研究中心——东亚中心。中国科学院外籍院士Hoskins J为组长的国际专家组对中国科学院大气物理所“十三五”的成果评估时指出,“东亚实验室是一个具有重要国际成就,并得到国际公认的突出范例”。

4 生物多样性计划和国际全球环境变化人文因素计划

生物多样性计划(Biological Diversity Program, DIVERSITAS)

是在1991年由ICSU的环境问题科学委员会(SCOPE)、国际生物科学联合会(IUBS)、国际微生物学会联合会(IUMS),以及联合国教育、科学及文化组织(UNESCO)的人和生物圈项目(UNESCO-MAB)共同发起的,其目的是联合生物学、生态系和社会科学,开展与人类社会相关的研究,推动生物多样性科学集成化发展,为更好认识全球环境变化影响下,生物多样性减少问题提供科学基础,并为制定生物多样性保护的政策提供建议。其核心计划包括生物多样性发现及其变化预测(bio-DISCOVERAY)、生物多样性变化的影响评估(eco-SERVICES)、生物多样性保护与可持续发展(bioSUSTAINABILITY)及交互网络计划等。

为了进一步推动、协调与全球环境变化和人类作用相关的自然科学和社会科学的交叉研究活动,1996年,ICSU与国际社会科学理事会(ISSC)共同发起实施国际全球环境变化人文因素计划(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP),其主要任务是描述、分析和认识人类在全球环境变化中的作用,更好地规划人类在地球系统中的活动,实现人和环境协调发展。它设有6个核心科学计划:全球环境变化与人类安全(GECHS)、全球环境变化的制度因素(IDGCEC)、产业转型(IT)、海陆带-陆海相互作用(LOICZ,与IGBP联合)、城市化与全球环境变化(UGEC),以及全球陆地计划(GLP,与IGBP联合)。

IHDP进一步加强了全球变化

中人类作用的研究,是 ICSU 在地球系统科学发展中另一个重要部署。其中,“人类圈”和“人类纪”概念的提出,有力地推动了 IHDP 计划的实施。1999 年,德国科学家 Schellnhuber J 提出,随着人类社会的不断发展,人类在地球系统中的作用愈来愈大,应该把人类从生物圈中分离出来,称为“人类圈”(Anthroposphere)。一方面,人是生物圈的一个组成部分,受到地球自然过程的影响;另一方面,人类不同于其他生物,有能动的一面,正在不断改变地球的面貌,成为地球变化的另一种驱动力^[8]。

2000 年,诺贝尔化学奖得主 Crutzen P 提出:人类文明的发展已经改变传统的根据地层和古生物划分地质年代的格局。自全新世这个地质时期以来,人类对地球的影响愈来愈大。为了强调人类的核心作用,应该把现在这个地质年代称为“人类纪”^[9]。

这 2 个计划进一步加强了地球系统中人类圈和生物圈作用的研究。至此,完整的地球系统的图像基本构成。在此基础上建立的最简化的地球系统方程,给出了地球系统机构和功能的精确描述。

$$E=(N,H) \quad (1)$$

式中, N 为自然分量; H 为人类分量。

$$N=N(a,b,c,d,\cdots) \quad (2)$$

式中, N 为生态圈,由 a (大气圈)、 b (生物圈)、 c (冰冻圈)、 d (水圈)等组成。

$$H=H(A, S) \quad (3)$$

式中, A 为人类社会的实体; S 为意识形态。

这个方程首次把人类社会分

成 2 部分: 实体, 即与人类的衣食住行相关联的客观存在; 意识形态, 如制度、法律和宗教信仰等。

5 地球系统科学联盟(2001—2010 年)

2001 年 7 月, 为了总结全球变化国际大科学计划实施以来近 19 年的研究成果, ICSU 在阿姆斯特丹召开了第 1 次全球变化科学大会, 名称为“变化地球的挑战”(Challenges of Changing Earth)。来自全球 105 个国家的 1400 多名科学家参加了会议。会议的主要目的是总结正在实施的 4 大计划的主要研究成果, 特别是科学界关于自然和人为引起的行星地球变化的最新认识, 评估这些变化对人类社会和生活的影响, 探索未来的发展前景, 并且提出了涉及政策层面的一系列重大命题。

作为 IGBP-SC 和下属核心计划 GAIM-SC, 笔者参与了会议的规划和设计工作, 并做了题目为《Can human-induced land-cover changes modify the monsoon system?》的大会报告, 首次给出了人类活动引起的大范围土地覆盖状况的变化对东亚季风气候的影响, 提出人类活动有可能导致亚洲季风系统发生变化的观点^[10]。这个全新的观点引起了与会者激烈讨论, 支持和质疑者各半。大会最后发布了具有重大影响的“全球变化阿姆斯特丹宣言”: 要求各国政府、公立和私立的研究机构及全世界人民共同努力, 建立地球系统管理体系和战略及相应的全球环境科学的新系统。

作为实施宣言的一个主要部署是, 在正在执行的 4 大科学计划的基础上组建地球系统科学联盟(Earth System Partnership, ESSP)。ESSP 的主要目标是在继续执行原有 4 大计划对地球系统运行的基本规律和机制研究外, 实施为全球可持续发展服务的由 4 大计划支持的联合计划: 全球碳计划(GCP)、全球水系统计划(GWSP)、全球环境变化与食物系统计划(GECAFS)和全球环境变化与人类健康(GECHH)。

同时, ESSP 还联合 START 共同提出了全球变化区域集成研究(Integrated Regional Study, IRS)计划。在关注地球系统整体行为的同时, 人们也愈来愈认识到, 全球环境变化并非是全球一致的变化, 往往不同区域有不同的表现, 甚至相反的变化。区域变化既可以认为是全球变化的区域表现, 或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形成一个相互作用的整体。任何一个地区的变化既是地球系统整体行为的一部分, 也对其他地区以及整个地球系统产生影响。同时, 全球环境变化的问题将主要通过区域研究来寻找解决的途径。因为区域范围内具有明显不同但相互联系的地球系统动力学问题和广泛共同的社会经济与地理政治特征, 因此, 区域研究往往是全球变化研究的重要切入点。这是 START 的继续和发展。

因此, IRS 不同于通常所谓全球变化的区域问题研究, 具有 6 个

特点: (1) 把区域作为一个整体 (holistic entity) 来研究, 必须是跨学科边界的研究, 包括自然科学与社会科学的边界; (2) IRS 要为定量认识区域与全球的关系, 以及预测这些联系的变化后果作贡献; (3) 要运用观测试验, 遥感监测和数值模拟等研究手段进行集成研究; (4) IRS 要把过去、现在和未来变化结合起来; (5) 要为区域可持续发展提供科学支撑; (6) IRS 主要由本区域的科学家来推动, 并开展全球合作, 包括同 ESSP 各科学计划的密切合作。

2002 年, 基于阿姆斯特丹会议的精神, 在叶笃正的支持下, 作为 ESSP 联合科学委员会的成员和 START-SC 成员和 START 东亚中心的主任, 笔者向中国科学院提出了由中国发起组织季风亚洲区域集成研究(MAIRS)计划的建议。后经时任院长路甬祥的批准, 向 ESSP 提出申请, 并承诺在中国成立该计划的国际项目办公室, 提供为期 10 年的运行经费, 2003 年 6 月, 获 ESSP 正式批准。这是地球系统科学领域第 1 个由中国科学家提出并组织实施的国际大科学计划。此后, 又经历了相当长时间的可行性研究。2002 年 10 月, START-SC 在越南首都河内就计划的具体内容进行了认真研讨, 提出了 4 点具体建议: (1) 必须由亚洲地区的科学家来领衔整个计划的实施; (2) 必须横跨社会科学和自然科学边界的交叉科学研究, 必须涉及地球系统的各个分量; (3) 从筹建开始到各个阶段必须把整个季风亚洲作为集成的地球系统来研究; (4) 研究的目的是

为区域的可持续发展提供坚实科学基础。2003 年 3 月, 在泰国曼谷召开了第一次规划会议, 并成立由区域内科学家和国际大科学计划的代表组成的科学委员会, 具体领导组织计划的实施, 并建议符淙斌担任第一任主席。2004 年, 在 START、SCOPE、ICSU、UNESCO、APN(亚洲太平洋地区全球变化研究网络)和中国科学院共同支持下, 启动了 MAIRS-SCOPE 项目, 组建了评估科学家队伍, 确定了评估报告大纲。2006 年, 由澳大利亚的国家科学和工业研究组织(CSIRO)的 Freney J R 和加拿大哥伦比亚大学的 Stewart B 教授和笔者担任主编的专著《Changes in the human-monsoon system of East Asia in the context of global change, monsoon Asian integrated regional study on global change -vol.1》出版^[11]。START 的南亚和东南亚区域也相继完成了评估工作, 成为实施 MAIRS 的科学基础。

2006 年 11 月, 第 2 次 ESSP 全球大会上, 笔者代表 MAIRS 介绍了计划的筹建情况和科学计划的核心内容, 并召开了科学计划发布会。最后, ESSP 大会宣言称: 基于区域问题特殊性的认识, 北京会议正式启动 MAIRS, 以查明全球变化对该区域社会经济和生态系统的威胁。除了 MAIRS 外, 亚马孙河流域大尺度生物圈-大气圈试验(LBA)、地中海计划(ProMed)和非洲季风多学科研究计划(AMMA)也可以归属于这一类计划。MAIRS 作为真正意义上的区域集成研究计划, 针对亚洲地区最突出的环境问题——水资源、空

气质量、食物安全和能源等, 组建了 4 个工作组, 集中对 4 个脆弱带——高山带、城市带、半干旱带和海岸带, 开展强化观测试验, 卫星遥感监测和数值模拟相结合的集成研究, 取得了一批重要研究成果。以半干旱区为例, 2007 年和 2009 年召开了 2 次研究成果的集成研讨国际会议, 来自中国、美国、加拿大、日本、蒙古、芬兰和印度等国的科学家, 以及有关国际计划的代表在一起围绕核心科学问题开展综合集成分析, 取得一批重要研究成果, 出版了专著《Aridity trend of Northern China, world scientific》^[12]。2004 年, MAIRS 在北京召开科学大会, 总结了 10 余年来科学计划取得的进展。2006 年, 经未来地球计划的评估, MAIRS 正式成为该计划的一个子计划, 简称 MAIRS-FE。

需要特别指出, 由全球变化各大计划的主席和执行主任组成的 ESSP 科学委员会, 经过反复认真的讨论给出了关于地球系统和地球系统科学的新的定义^[13]。

地球系统是由物理、化学、生物和社会分量、过程和相互作用构成的统一体。这些分量、过程和相互作用决定了行星地球(包括生物和人类)的状态和动力学。

地球系统科学就是研究地球系统的科学, 重点是观测、认识和预测由陆地、大气、水、冰、生物圈、社会、技术和经济的一系列相互作用过程导致的全球环境的变化。

笔者认为, 这是迄今为止对地球系统和地球系统科学最确切的定义。

6 未来地球的可持续发展研究计划(2013—)

2008年, ICSU 开始研制 2012—2017 年的发展战略规划。为此在 ICSU 执行主任陈德良主持下成立了一个名为“Belmont Challenge”的工作小组, 由德国马普气象研究所所长 Guy Brasseur 为组长, 来自世界各国的科学家代表共 15 人组成, 笔者为成员之一参与了报告的撰写工作。报告在评估 ESSP 科学联盟的成果的基础上, 集中分析了区域环境变化的核心问题: 脆弱性和风险。

2010 年, ICSU 明确提出: 地球系统的研究已经到达了一个转折点。过去 20 多年, 我们的重点是认识地球系统是如何运行的, 以及人类对这个系统的影响。未来 10 年, 全球科学界必须评估人类社会面对全球变化的挑战, 并且有效地应对危险的变化和适应那些不可避免的变化。

正是基于这样的共识, ICSU 组织 ESSP 及下属各全球变化科学计划, 以及国际社会科学联盟 (ISCSSU) 科学家起草了“未来地球的可持续发展研究”(Future Earth: Science for Sustainability), 简称“未来地球研究计划”(图 1、图 2)。2011 年, 在罗马召开的 ICSU 第 30 届大会的主要任务之一就是讨论并通过这个计划的科学报告。2012 年, 在里约举行的联合国可持续发展大会上, 该计划被正式批准实施。迄今这个计划已经执行 10 多年了。这是一个十分庞大的科学计划, 如何承接过去近 30 年一系列全球变化大科学计

划取得的成果, 是它面临的挑战, 并正在经受历史的检验。



图 1 未来地球计划与可持续发展综合信息图

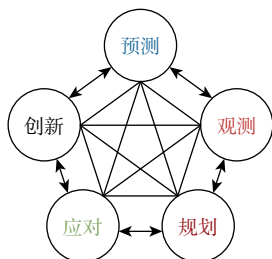


图 2 未来地球计划实施的基本要素构成

7 中国参与国际大科学计划重要意义及建议

从 20 世纪 70 年代末开始, ICSU 联合多个国际科学团体, 组织实施一系列全球变化国际大科学计划, 已经有半个世纪。回顾这段历史, 可以看到, ICSU 通过组织国际大科学计划, 推动地球系统科学的形成与发展的全过程。由此, 也可领悟人类对地球系统和地球系统科学的认识不断深化的过程。这也是 ICSU 在推动科学发展所发挥的独特的作用。这反映了 ICSU“科学造福人类社会”的宗旨。同时, 在国际大科学计划的实施中, 也充分体现了 ICSU 提倡的“促进所有科学家, 不分种族、语言、政治立场或性别, 参与国际科学活动”。

当今世界, 制定和实施交叉科学的重大国际计划已经成为推动

科学技术发展的一项重要举措, 这些计划以其科学上的先进性和权威性吸引世界各国科学家参与, 并通过各种途径获取经费支持和开展合作研究, 从而推动相应科学领域的飞跃。但是, 由科学发展水平和国力所决定, 这些重大科学计划往往都由发达国家的科学家提出并主持, 并通过设在这些国家的国际项目处(IPO)具体组织实施。迄今为止, 发展中国家的科学家参与这些计划的程度还比较低, 在这些计划中缺少实质性发言权。20 年前, 笔者和叶笃正就向国家主管部门提出了《建议开辟专门渠道支持我国主持若干国际重大科学计划》的建议^[14]。建议得到时任国务院领导和中国科学院领导的批示和支持。应该说, 近年来, 中国科学家在提出并主持实施国际大科学计划方面得到明显的改善。但是, 仍然不能适应当今中国科学技术事业的发展和国际形势的需要。

领衔提出并组织实施国际大科学计划将大幅提升中国在国际科学舞台上的地位, 也是对中国科学家驾驭国际重大科学领域发展方向能力的检验。同时, 以我为主的国际重大科学计划的实施, 将有可能扭转人才流向, 吸引广大的海外学子和外国科学家为这些计划作贡献。总之, 有选择地在某些优势领域提出并组织实施一批国际重大科学计划, 是促进中国科学技术事业发展的一项重大战略措施。

最后, 就中国领衔实施国际大科学计划的工作提出 5 点具体建议。(1) 进一步发挥中国科学院和中国工程院作为国家科学技术方面最高咨询机构的作用, 鼓励和

支持两院院士中的战略科学家,认真分析国际科学发展的动向和人类社会面临的重大需求,凝练相关的重大科学问题,联合相关领域国内外科学家,共同提出具有战略意义的大科学计划的框架设想,并组织可行性研究。(2) 国家科技发展的主管部门,如科技部和国家自然科学基金委员会等,开辟专门经费渠道,支持国际大科学计划的预研究。(3) 中国科协要通过国际科学理事会及相关的学术团体,为中国科学家领衔提出和实施国际大科学计划提供畅通的国际合作渠道。(4) 一旦计划被国际科学理事会批准,国家要为项目实施提供符合国际标准的服务,例如,在中国设立国际项目办公室,聘用外籍科学家参与项目的管理工作,并提供相应的运行经费等。(5) 同国际科学理事会一起,争取国际财团和各类基金组织及各国政府对项目研究经费的支持。

参考文献(References)

- [1] 符淙斌. 加速发展地球系统科学, 为人类社会可持续发展提供科学支撑[J]. 科技导报, 2024, 42(9): 1.
- [2] Matthews W H, William W. Report of the study of man's impact on climate[M]. Cambridge, Mass: MIT Press, 1971.
- [3] ICSU, WMO. Scientific plan for the World Climate Research Programme[R]. Geneva: WMO/TO, 1984(4):95.
- [4] Beijing International Symposium on Climate. The Climate of China and Global Climate[M]. Beijing: China Ocean Press; New York: Springer: 1987, 441.
- [5] National Research Council. Toward an International Geosphere-Biosphere Program: A study of global change [C]//Workshop Held at Woods Hole. Washington, D. C. : National Academy Press, 1983: 25-29.
- [6] Malone T F, Roderer J G. 1985: Global Change, The Proceedings of a Symposium sponsored by ICSU[M]. Ottawa, Canada: Cambridge University Press, 1984: 512.
- [7] Earth System Science Committee, NASA. Earth system science, a closer view[M]. Washington, D. C. : NASA, 1988: 208.
- [8] Schellnhuber H J. 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution[J]. Nature, 1999, 402(S6761): C19-C23.
- [9] Crutzen P J. Geology of mankind[J]. Nature, 2002, 415(6867): 23.
- [10] Fu C B. Can human-induced land-cover change modify the monsoon system?[J]. Global Planet Change, 2003, 31: 219-229.
- [11] Fu C B, Freney J R, Stewart J W B. Changes in the human-monsoon system of East Asia in the context of global change, monsoon Asian integrated regional study on global change[M]. Hackensack, NJ: World Scientific, 2008.
- [12] Fu C B, Mao H T. Aridity trend of Northern China[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2017: 307.
- [13] 符淙斌. 关于地球系统科学若干基本问题的讨论[J]. 科技导报, 2025, 43(1): 16-19.
- [14] 符淙斌, 叶笃正. 建议开辟专门渠道支持我国主持若干国际重大科学计划[J]. 中国科学院院刊, 2004, 19(4): 252-253.

Development of Earth System Science in association with the International Global Change Research Programs

FU Congbin

School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract Earth system science represents one of the most challenging frontier scientific fields in today's world. This paper reviewed and analyzed a series of international large-scale scientific programs on global change led by the International Council for Science (ICSU) over the past half-century, including the World Climate Research Programme (WCRP), the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), DIVERSITAS, the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP), the Earth System Science Partnership (ESSP), and the Future Earth research initiative for sustainable development. It explored the development process of earth system science driven by these programs and their contributions to promoting sustainable development of human society. The paper also highlighted the significance of China's participation in international large-scale scientific programs and puts forward specific recommendations.

Keywords earth system science; global change; international large-scale scientific program; global environmental issues ●



(责任编辑 王丽娜)