

# 国际生态系统观测研究计划及启示<sup>①</sup>

傅伯杰<sup>1</sup>, 刘 宇<sup>2</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;  
2. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:**国际生态系统研究计划与全球可持续发展相结合,推动了区域和全球可持续发展相关生态系统科学知识的发现和应用。多尺度、多平台集成的生态系统观测研究网络有力地支撑了上述计划的实施,进而服务于管理决策,促进可持续发展目标的实现。本文阐述了国际生态系统相关研究计划和生态系统观测网络研究发展及其对中国生态系统观测研究网络的启示。全球生态系统相关研究计划的发展显示:面对复杂因素驱动的生态系统变化,生态系统研究需要发展多学科交叉、国际合作的研究平台,需要从单纯的生态系统过程机理的研究转向与全球可持续发展相结合。当前,国际生态系统观测研究网络的观测尺度从站点走向流域和区域,关注的对象从生态系统扩展到地表系统,逐渐将自然生态要素与社会经济相结合,深化了联网观测和联网研究;在观测手段上实现了地面观测和遥感多尺度观测的有机结合,日益注重数据共享和集成,促进了科学知识的产生。今后生态观测网络研究需要扩展观测和研究的时空尺度,深化和规范单要素联网观测和研究,有机结合地面观测和遥感观测,强化生物多样性相关监测与研究,发展耦合自然和社会经济的综合研究,拓展国内外合作研究,融入全球尺度的观测研究网络。

**关 键 词:**国际生态系统研究计划;生态系统观测网络研究;可持续发展;地球系统科学

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.07.004

中图分类号: X144; P901

文献标识码: A

## 1 引言

人类社会的可持续发展是地球科学所面临的最为严重的挑战,目前人类所面临的各种环境问题实质上是地球各圈层相互作用的结果(傅伯杰等, 2007)。把地球作为一个由各圈层或子系统相互作用的复杂系统来开展研究,是解决全球性生态环境问题的途径。由此提出的地球系统科学概念(Earth System Science Committee of the NASA Advisory Council, 1986),将地球科学研究重点向系统集成方向转变。生态系统是地球系统的重要组成部分,也是地球系统中最为活跃,与人类活动最为密切的生物圈的核心(傅伯杰等, 2007, 2014),生态系统研究也成为地球系统科学的重要组成部分(王金平等, 2010)。全球变化对陆地生态系统的影响具有区域差异,且影响到陆地生态系统的所有组分(水、土壤、植被和大气),并伴随着复杂的反馈机

制。因此,陆地生态系统的研究需要将不同领域的研究团队、研究计划联合起来。国际上先后提出并实施了一系列科学研究计划,如国际地圈生物圈计划(IGBP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、国际生物多样性科学研究规划(DIVESITAS)、世界气候研究计划(WCRP)等。这些研究计划目的在于回答大尺度的生态系统特征及其变化与人类社会之间的相互关系。然而,相关的陆地环境模型亟需长期的生态数据加以校验。作为重要的数据来源,传统的生态系统观测通常关注某个具体的组分和问题。受数据离散、高度异质等缺点制约,局地、小尺度的生态观测研究已经不能满足将研究结果推到更大尺度的需要,需要联合、集成小尺度的观测并向多学科科学家共享数据,以回答更大尺度的生态学和人与环境相互关系问题(Mace, 2013)。自20世纪80年代开始,各类生态系统观测研究网络相继建立,对全球不同类型生态系统开展联网式

收稿日期: 2014-07; 修订日期: 2014-07。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41390464)。

作者简介: 傅伯杰(1958-),男,陕西咸阳人,中国科学院院士,主要从事自然地理和景观生态学研究, E-mail: bfu@rcees.ac.cn。

① 本文系根据傅伯杰2014年4月25日在“生态大讲堂”所作报告记录整理而成。

动态观测研究,在监测和研究区域性的生态、环境和资源问题的中发挥了重要作用(傅伯杰等, 2007)。本文通过阐述主要国际生态系统研究计划及其演变和生态系统观测研究网络的发展,总结国际生态系统观测研究发展对生态系统网络观测研究的启示。

## 2 国际生态系统相关研究计划及其演变:走向全球可持续发展

地球系统的发展和演变是一个复杂的系统过程,揭示地球系统任一组分或部分发展和演变的过程机理都需要综合性的研究,需要在局地到全球尺度上了解各组分的属性、组分间相互作用及其演变。为此,需要全球性、多尺度、交叉学科的研究计划来推动这类研究。为确定气候的可预测性和人类活动对气候的影响,在国际科学理事会(ICSU)和世界气象组织(WMO)联合赞助下,世界气候研究计划(World Climate Research Programme, WCRP)于1980年启动。自1993年起,联合国教科文组织政府间海洋学委员会(IOC of UNESCO)也成为其赞助方。了解和预测气候变异与变化需要综合调查气候系统的主要组分,如大气圈、水圈、海洋、土地和冰冻圈,WCRP通过其核心研究计划研究这些组分及其相互作用。

为在地球系统变化的背景下制定区域和国际政策、讨论关于全球变化及其所产生的影响,ICSU于1987年在IBP、MAB基础上发起了国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP),为地球的可持续性提供科学知识(IGBP, 2006)。IGBP包括8个核心研究计划和3个支撑计划,具有高度综合和学科交叉的研究特点,标志着地球科学和宏观生物学的研究跨入了一个新的深度和广度。2010年,IGBP将其战略目标调整为“为指导社会在快速全球变化下走向可持续发展的轨道提供关键的科学引领和有关地球系统的知识”(IGBP, 2010),进一步将生态环境科学研究中获得的知识与人类社会的可持续发展结合起来。

在不断变化的自然和人文因素驱动下,对生态系统结构和功能具有基础性作用的生物多样性丧失问题逐渐突出,迫切需关注全球生物多样性丧失和变化的复杂科学问题。国际生物多样性科学

研究规划(DIVERSITATS)近期将2012-2020战略定位为“可持续地球的生物多样性和生态系统服务”,以响应日益加速的生物多样性组分丧失,以及与生物多样性科学相关的全球生物多样性观测网络(GEO-BON)和未来地球计划(Future Earth)的建立(Larigauderie et al, 2012)。

随着人口的不断增加和科技水平的迅速提升,人类对全球环境的影响能力不断加大,人类活动成为全球环境变化的重要因素。探索人与环境的可持续发展需要阐明人类—自然耦合系统,揭示个体与社会群体如何驱动局地、区域和全球尺度的环境变化及其影响,寻找减缓和响应这些变化的途径。“国际全球环境变化人文因素计划”(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP)通过描述、分析和理解全球环境变化的人文因素(Human Dimensions on Global Environmental Change, HDGEC),试图阐明全球环境变化背景下的土地利用/土地覆盖变化、全球环境变化的制度因素、人类安全、可持续性生产—消费系统,以及食物和水、全球碳循环等重大问题。

地球是一个复杂和敏感、自组织的系统,受物理、化学和生物过程的调节,正受到空前的人类活动因素的影响,处于快速的人文因素转换背景下。因此,需要建立一个新的全球环境科学系统作为全球变化的核心知识库,并为制定可持续策略服务。为响应《全球变化阿姆斯特丹宣言》,DIVERSITAS、IGBP、IHDP和WCRP联合形成了对地球系统进行集成研究的联合体—地球系统科学联盟(Earth System Science Partnership, ESSP),将全球多学科领域的研究者聚集在一起,开展地球系统的集成研究。ESSP研究的内容包括地球系统的结构与功能,地球系统正在发生的变化,以及这些变化对全球和区域可持续发展的意义,开辟了全球变化研究的大跨度交叉、多尺度纵深发展的研究方向(曲建升等, 2005)。

人类活动正从局地、区域到全球尺度强烈地改变着地球系统(Future Earth, 2013)。未来全球可持续发展研究面临预测、观测、限制、响应、创新五大挑战,即改善未来环境条件及其人类影响预测的有用性,发展、促进和集成全球和区域环境变化管理所需的观测系统,确定预期、识别、避免和管理突发全球环境变化的对策,指明能促进向全球可持续发展迈进的组织、经济和行为的改变,鼓励发展科技、

政策和社会响应以达到全球可持续(Ignaciuk et al, 2012)。地球系统科学是可持续发展的基础(黄秉维, 1996; 毕思文, 2003), 需要整合 ESSP 的联合项目和其他全球环境变化研究来应对全球可持续发展面临的环境问题。2011年12月14日, 通过集成已有的几个全球环境变化研究计划(DIVERSITAS, IGBP, IHDP, WCRP 和 ESSP), 成立了“未来地球”(Future Earth)计划(图1), 其目的是作为全球性的知识传播平台, 进一步推进过去几十年的全球变化研究计划(IGBP、IHDP、WCRP、ESSP)所取得的成果, 提高科学预警能力, 逐渐发展成为由一个知识节点构成的全球分布式的网络, 以满足区域和国家尺度决策者的需要。Future Earth鼓励用户在研究中的广泛参与, 协同全球环境变化研究议程和活动, 为全球可持续发展传播知识并提升科学能力。通过理解多尺度环境变化、自然和人文驱动与人类福祉的相互作用, Future Earth致力于寻求地球系统可持续途径(图2)。

Future Earth将成为传递下列内容的全球性平台: ①以解决方案为导向, 根据环境变化与发展挑战提出满足人类食物、水、能源和健康需求的可持续性研究; ②为寻求多方面问题的最佳科学解决方案而开展的自然和社会科学、人类学、经济学和技术发展等多学科有效交叉合作; ③通过形成支持全球和区域综合评估的知识, 为决策者提供及时有效

的信息; ④决策者、赞助者、科学家、企业和其他社会部门共同参与制定设计研究方案和创造知识; ⑤增强科学、技术和创新能力建设, 尤其是在发展中国家和新一代科学家的参与方面。

在实施的首个10年, Future Earth将以集成和合作的方式传递前沿研究。这些研究包括: ①监测和预测地球系统变化, 包括气候、碳、生物多样性、生态系统服务和人类活动, 建立高质量的研究合作机制和具体行动; ②在地球生命承载能力极限和临界点, 全球环境变化如何影响满足人类对食物、水、健康和能源的需求等领域填补知识空白并进行早期预警; ③通过政策、行为和技术选择的潜在影响等研究, 有效连接科学知识和政策实践; ④为现有和新出现的全球变化科学评估(如气候变化专门委员会 IPCC、生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台 IPBES 等)作出贡献; ⑤支持并对通过可持续发展目标获得的进步进行评估; ⑥培育集成知识系统的创新; ⑦支持新一代研究者的发展, 培育跨学科研究以提高面向可持续性的综合方法。

纵观国际主要生态系统相关研究计划及其演变, 将地球系统作为一个整体, 在多学科交叉的基础上, 将包括人文因素在内的地球系统各个组分多方面的变化及其相互作用联系起来开展集成研究, 系统总结和挖掘全球环境及其变化研究的知识积淀, 以促进科学知识服务全球环境可持续发展, 已

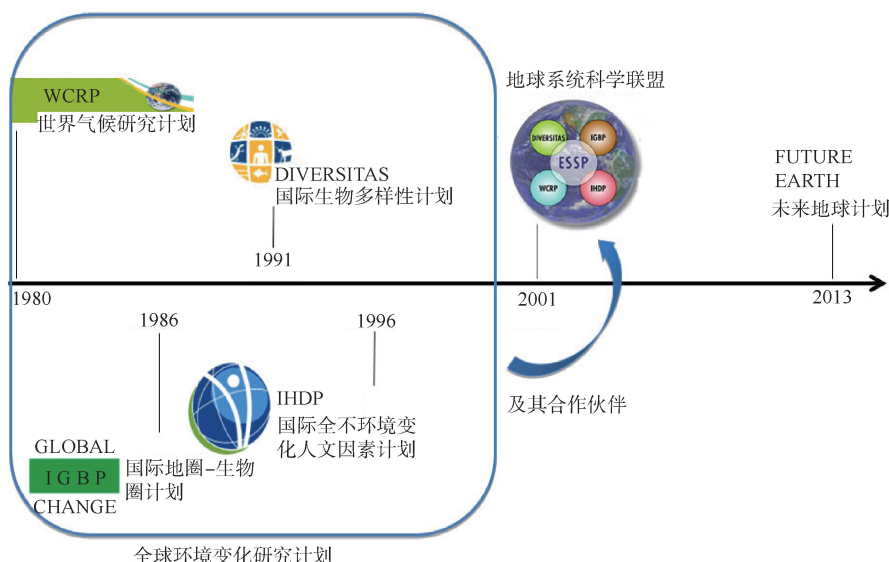


图1 主要国际生态系统相关全球研究计划及其演变

Fig.1 Major ecosystem related global research programs and evolution



地球系统边界内的全球可持续

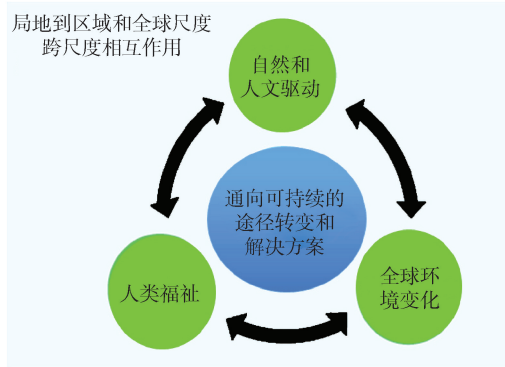


图2 Future Earth 概念框架(来源:Future Earth, 2013)  
Fig.2 Conceptual framework of the Future Earth international research initiative (from Future Earth, 2013)

成为当前国际生态系统相关研究计划的主要内容和目标。这些研究计划的开展和目标的实现需要坚实的科学数据支撑。建立多尺度、覆盖全球的生态系统观测研究网络将为此作出巨大的贡献。

3 国家尺度观测研究网络

监测和研究区域性的生态、环境和资源问题,系统了解生态系统结构、功能、过程及其对自然和人文驱动因素的响应,推动了生态系统观测研究网络的建立。生态系统观测研究网络在大尺度生态系统研究中提供基础支撑。由于生态系统观测网络在全球和区域生态环境研究中的基础性作用,一些国家和区域纷纷建立生态系统观测研究网络,并不断利用现代化技术和方法加以扩展完善。

德国的 TERENO(Terrestrial Environmental Observatories)由 Helmholtz 国家研究中心联合会于 2008 年发起创建。TERN0 的总体目标是长期观测气候变化和全球变化对德国陆地系统的影响。德国学者将陆地系统定义为地下和包括生物圈、大气圈底层和人文圈的陆地表面。相应地,TERN0 观测系统是一个从局地到区域的多尺度等级系统(Zacharias et al, 2011)。TERN0 以及在其基础上扩展而来的 TERENO-MED(Terrestrial Environmental Observatories in the Mediterranean region)都以研究全球变化对区域生态、社会和经济的影响以及人类的最佳相应为核心科学问题,水是其主要关注点。TERENO 的重要科学问题包括:一是全球变化对陆

地地下水、土壤、植被和地表水以及人类栖息地的影响;二是陆地生态系统间交换过程中的反馈机制对陆地水和物质通量的作用;三是土壤和土地利用变化对水平衡、土壤肥力、生物多样性和区域气候的直接影响;四是大型人类活动(如露天采矿、森林砍伐)对陆地生态系统的影响。TERN0 以流域为观测的基本空间单元,包括从德国东北部低平原流域到南部山地流域共设 4 个流域观测站点。每个站点综合集成了多个定位观测设施系统,同时辅以覆盖从局地到区域尺度的移动观测平台。整体上,TERN0 的观测设备系统包括:①多尺度区域降水场观测系统;②水气、能量和示踪气体通量以及气象参数观测系统;③高时空分辨率的环境参数传感器网络;④地表、地下水和溶质迁移定量观测系统;⑤地基、空基遥感观测平台;⑥地球物理和光谱传感器系统。通过综合集成这些设备系统,TERN0 采集系统的科学数据用于回答设计的科学问题(图 3)。

美国国家科学基金委员会(NSF)于 2000 年提出建立美国国家生态观测网络(The National Ecological Observatory Network, NEON)。2012 年春,NEON 成功完成规划和设计,进入建设阶段。目前正在建设站点,有望在 2017 年前后完成整个网络的建设,开始为期 30 年的运行,收集有关生态响应变化及地圈、水圈和大气圈之间反馈的数据。NEON 是大陆尺度针对关键生态问题的生态观测系统,覆盖整个美国大陆(包括阿拉斯加),以及夏威夷和波多黎各。其目的是为发现、理解和预测气候变化、土地利用变化和生物入侵对大陆尺度生态的影响提供观测平台,采集和集成有关气候变化、土地利用变化和入侵生物对自然资源和生物多样性影响的数据(图 4)。NEON 共有 106 个站点,其中 60 个陆地生态站,36 个水域生态站,10 个水域实验,分布于 20 个生态气候区。NEON 所有站点都经过战略性的筛选以保证代表不同区域的植被、地形、气候和生态系统过程。NEON 将多方面的地面观测数据与高分辨率遥感观测数据集成,以满足国家尺度生态系统时空变化的监测需要(Kampe et al, 2010)。NEON 实验、观测平台提供的数据面向研究人类活动的生态效应、关键生态学问题的科学家、教育工作者、规划从业者、决策者和公众开放(图 5)。总体上,NEON 采取的是系统设计、统一规划的途径,实现观测指标可比和监测设施统一规范,以保证数据质量的可靠性和在回答关键科学问题中

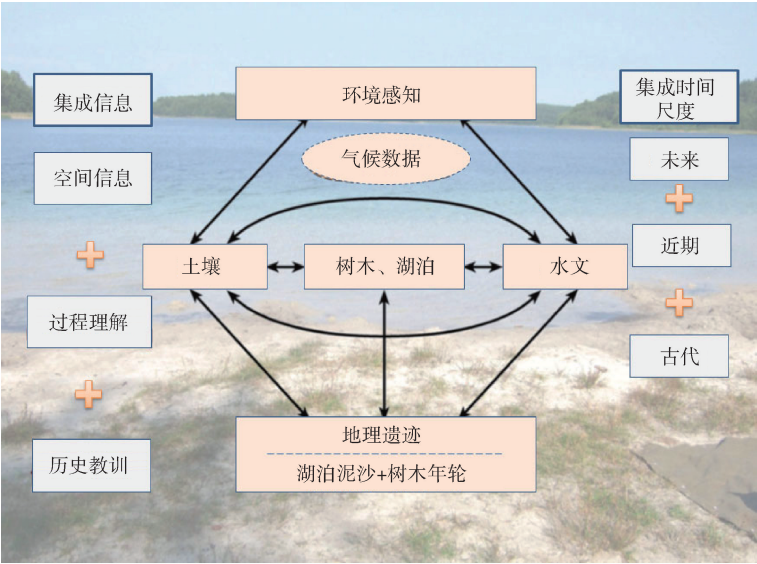


图3 TERNO 概念框架(引自 Zacharias et al, 2011)

Fig.3 Conceptual framework of TERN (from Zacharias et al, 2011)



图4 NEON 系统框架(引自 NEON, 2011)

Fig.4 Framework of NEON system (from NEON, 2011)

的有效性。

澳大利亚陆地生态系统研究网络(Terrestrial Ecosystem Research Network, TERN), 由 DIISR (Department of Innovation, Industry, Science and Research) 于 2009 年在国家合作研究设施战略(NCRIS)和昆士兰州政府的支持下创建。2011 年, 澳大利亚政府通过教育投资基金“超级科学计划”给予支持。TERN 将生态系统科学家联系起来, 增强他们在数据采集、贡献、存储、共享和集成中的学

科交叉, 以增强澳大利亚生态系统科学自身的发展, 从而为生态系统的有效管理和可持续利用作出贡献。TERN 为澳大利亚生态系统科学界提供基础设施和网络, 以实现跨时空尺度采集和集成生态系统数据, 安全地存储、获取、共享和管理数据; 针对关键的生态系统科学问题建立合作的工作关系, 对澳大利亚生态系统科学和环境管理领域的关键问题做出多学科、国家尺度的贡献。目前, 共有 17 所大学合作伙伴、政府机构、澳大利亚联邦科工组织



(CSIRO)等25个机构参与。TERN形成了硬、软两方面的基础设施。硬件方面包括规范的数据采集、存储和共享基础设施,如设备塔、支持植物区系和动物区系调查的样带和样地网络、各类实时环境传感器及相应的数据流。在软件设施方面,制定国家标准方法、数据采集、管理和挖掘的新方法,加强新的多学科合作、综合分析和知识向政策的转化等。在网络观测研究设施的整体架构方面,TERN包括土地覆被/利用(AusCover)、国家尺度样地网(Aus-Plots)、海岸带生态系统观测设施(ACEF)、长期生态学研究网络(LTERN)、通量观测网(OzFlux)、土壤和景观网格(Soil and Landscape Grid of Australia)、澳大利亚样带网(Australian Transect Network, ATN)、大样地网络(Australian Supersite Network, ASN)、生态系统模拟和尺度推绎设施(Ecosystem modelling and Scaling Infrastructure- MAST)、数据发现端口(TERN Data Discovery Portal)、生态信息平台(Eco-Informatics)和澳大利亚生态分析与综合中心(Australian Centre For Ecological Analysis and Synthesis, ACEAS)(TERN, 2014)。TERN建立了将生态系统点、样地等微观尺度的观测与样带、大陆尺度的观测集成起来的观测体系架构,实现了多尺度、多平台和多学科领域观测的集成(图6、图7)。

在观测方法上,TERN将定点、多指标、高频率地面监测与周期性大范围清查和大尺度遥感监测相结合。为支持观测数据向科学知识及其应用转化,TERN为一致的数据、存储、发现、发表、许可和引用提供综合的解决方案。这些数据面向澳大利亚科学家和管理者开放。通过生态系统数据生命

周期的管理,减少重复数据采集、增强合作,使环境科学和管理的投资得到更好的回报(TERN, 2013)。

生态观测研究网络建立的最终目的是为人类社会和生态系统的协调发展寻求解决方案。法国的 Zones Atelier(ZA)网络直接以此为命题构建。ZA以区域为基本空间单元、以区域人类发展和生态系统功能相互关系为对象。ZA所涉及的研究内容包括:①为政策评价服务的长期评估;②人类活动压力下的生态系统过程;③人类系统运作及其与

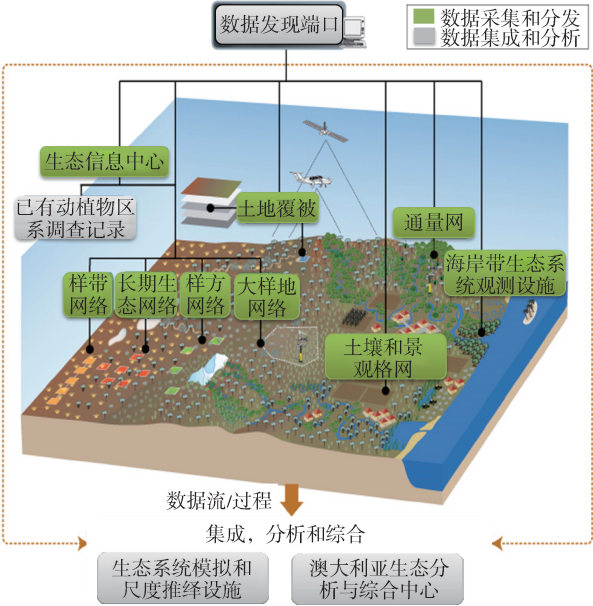


图6 TERN整体架构(引自 TERN, 2014)

Fig.6 Constitutional framework of TERN (from TERN, 2014)

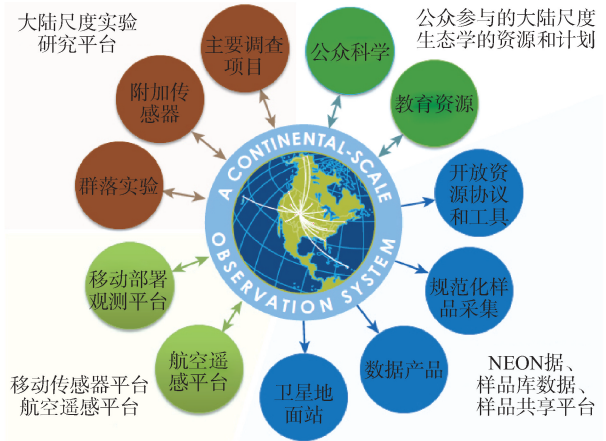


图5 NEON平台设施结构(来源:NEON, 2012)

Fig.5 Schematic of NEON facilities (from NEON, 2012)

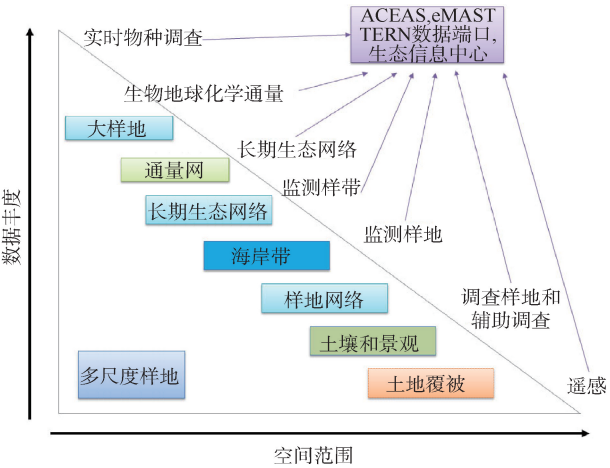


图7 TERN生态系统观测技术及其数据采集设施的时空尺度(引自 TERN, 2013)

Fig.7 Spatial and temporal scales of ecosystem observation techniques and data collection facilities of(from TERN, 2013)

生态系统和可获资源的关系。主要的科学领域涉及全球变化、水循环、生物地球化学循环、生物结构和生物多样性变化、土地利用/覆盖变化、土地管理及生态系统功能和生态系统服务。其所关注的问题还包括环境历史、社会对环境的感知和今后社会对环境的压力。为此,ZA综合了多学科方法,并与水、土地等管理者和社会团体紧密合作。在组织结构上,ZA目前共有12个区域,其中3个国外区域。每个区域虽然都以人类发展和生态系统过程之间的关系为研究对象,但所关注的生态系统过程不同。如ZABR(Zone Atelier Bassin du Rhône)区域采用多学科途径研究大流域景观和社会之间的关系,ZAM(Zone Atelier Bassin de la Moselle)区域侧重于获取更好控制人类活动影响水资源质量的知识,而位于津巴布韦的Zone Atelier Hwange(ZA Hwange)区域则以协调生物多样性保护和农村发展为主要研究内容。目前,ZA正在与Baltimore城市长期生态站联合建立以城市为单元的生态观测研究网络。相对于其它生态系统观测研究网络,ZA将生态系统过程与人类发展结合得更紧密,实质上是以人与生态系统关系为核心科学问题而构建的长期研究区域单元组成的网络。

在中国,1988年开始建立的中国生态系统研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, CERN)是世界上最大的生态系统观测研究网络之一,集观测、研究和科学示范为一体(Fu et al, 2010)。CERN的目标包括3个方面:获取生态系统变化的科学数据;研究全球变化和人类活动驱动的生态系统结构、功能和过程变化;为国家生态系统管理、农业生产和生态修复决策提供建议(Fu et al, 2010)。CERN是基于站点的生态观测研究网络,采用台站—分中心—综合中心三级结构,目前共有42个观测台站,5个分中心。在CERN的支持下,初步构建了中国区域长期生态观测—水、碳通量观测—生物多样性观测—陆地样带观测研究一体化的野外综合平台体系(傅伯杰等, 2007)。在观测研究的尺度上,CERN包括台站观测点、台站组成的观测样带和国家3个尺度,在台站尺度建立了一致的观测规范。近年来,CERN尝试推出地下生态系统联网观测研究等研究计划,推动森林、草地、农田等生态系统研究台站联盟的建设,以强化针对科学问题的联网观测研究。

在区域、大陆尺度观测网络中,NEON和TERN

是综合性、集成程度最高的观测网络,在多平台、多尺度集成观测、数据集成与共享、基于数据多学科交叉的知识挖掘的顶层设计方面提供了绝佳的典型。NEON、TERN具有许多共同之处,两者都是在统一的科学目标和规范下整合集成现有观测站点、观测设施及其所采集的数据形成一个完整的多尺度观测网络,有利于最大限度的发挥观测设施的效能,以促进科学知识的产出,满足多领域用户的需求。

## 4 全球尺度生态系统观测研究网络

地球是一个相互联系的整体,局地、区域生态系统的变化和环境问题的形成、演变往往具有全球环境变化的背景。对局地、区域生态系统和环境问题的深入研究需要对全球尺度驱动因子及其变化有充分的了解。随着对生态系统结构、功能及其演变的全球尺度影响因素的深入认识和人类面临环境问题的全球化,需要在全球尺度获取生态系统特征及其演变的信息,以揭示、预测生态系统变化及其与人类活动的相互关系,评估生态系统变化对人类福祉的影响。为此需要建立全球尺度的网络化的监测和研究体系。在此背景下,全球环境监测系统(Global Environmental Monitoring System, GEMS)、全球陆地观测系统(Global Terrestrial Observation System, GTOS)、全球综合地球观测系统(Global Earth Observation System of Systems, GEOSS)、国际长期生态学研究网络(International Long-term Ecology Research, ILTERN)、国际通量网(FLUXNET)为代表的全球生态系统相关的观测研究网络应运而生。联合、集成地面生态观测站点实现全球尺度联网观测(如国际长期生态研究网络ILTERN)和采用统一技术体系建立生态系统观测网络是全球尺度生态系统观测网络建立的两种途径。前者主要依托全球各地建立的各类生态观测站点、通过制定统一的观测规范协议和知识共享机制构建。后者主要依靠建立现代化的观测技术的观测平台(如全球综合地球观测系统GEOSS),高度依赖现代通讯、信息技术、遥感探测技术和自动化的数据处理技术,能以较高频率同步、按同一标准获取大尺度生态系统的特征参数。

国际长期生态研究网络(ILTERN)于1993年在美



国长期生态学研究网络主办的国际长期生态学研究会议上发起成立,目前共有40余个成员网络。ILTER是由基于站点从事长期生态学和社会经济研究的科学家组成的网络,使命是提升和促进对国家和区域范围长期生态现象的理解,为局地、区域和全球尺度的生态系统管理提供科学基础,促进综合、基于站点的和长期生态研究计划之间的国际合作,推动当前没有的此类计划的站点开展(Hobbie et al, 2003)。ILTER将分布于各成员网络的生态站点的观测研究联系起来,增强站点观测研究尺度的扩展,进而提升解释、预测生态和环境问题的能力。

GEOSS(Global Earth Observation System of Systems)由GEO(Group on Earth Observations)建立。它得益于现代信息技术和航空航天技术的快速发展,以多平台遥感技术和自动化的数据处理技术为支撑,通过将全球现有和规划的观测系统联系起来,并支持发展新的系统以填补当前的空白,是一个集地面、航空和航天观测平台于一体的全球对地观测系统(冯筠等, 2005)。GEOSS利用GEOportal通过唯一的因特网接入点向全球用户提供数据、影像搜寻和分析工具。GEOSS服务于灾害、健康、能源、气候、水、天气、生态系统、农业和生物多样性等9个“社会受益领域”,即:减少因自然或人为灾害带来的生命财产损失,了解影响人类健康和福祉的环境因子,提升能源资源管理,了解、评估、预测、缓解和适应气候变异和变化,通过更好地理解水循环提升水资源管理,增强天气信息获取、天气预报和预警,促进陆地、海岸带和海洋生态系统的管理和保护,支持可持续的农业和抵御沙漠化,理解、监测和保护生物多样性。

除ILTER和GOESS等涉及众多生态和环境问题的综合性观测研究网络外,以单一生态系统变量的全球时空变化为对象的全球观测网络也不断涌现,如国际通量网(FLUXNET)。FLUXNET由多个区域通量网络组成,利用装备涡度相关设备的通量塔连续观测碳循环动态及相关的水和能量通量。FLUXNET建立了区域网络的合作机制,以实现全球尺度的信息共享、保证站点的相互可比性、协调当前网络的规划(Running et al, 1999)。近年来,FLUXNET站点的观测逐渐与遥感观测结合,以实现点向面的尺度扩展。

## 5 结语

全球生态系统相关研究计划的发展历程显示:面对复杂的生态系统变化,生态系统研究需要发展多学科交叉、国际合作的研究平台,对生态系统过程的研究需要从单纯的过程机理、机制的研究转向与全球发展的可持续性结合,为区域和全球可持续性发展提供科学知识。

实现区域和全球可持续发展,需要深入揭示生态系统变化及其与人类社会的相互作用,生态系统观测研究网络是有效的基础科技支撑设施。国家到全球尺度的生态系统观测研究网络发展在观测尺度上从站点扩展到流域和区域,关注的对象从生态系统扩展到地表系统,逐渐将自然生态要素与社会经济相结合,深化了联网观测和联网研究,在观测手段上实现地面观测和遥感多尺度观测的有机结合。

CERN是中国生态系统监测和研究的重要基础设施,有效发挥CERN的优势需要注重扩展观测和研究的时空尺度,深化和规范单要素的联网观测和研究,加强地面观测和遥感观测的有机结合,从站点研究发展到流域和区域研究,强化生物多样性相关的监测与研究,发展耦合自然和社会经济的综合研究,拓展国内外合作研究,融入全球尺度的观测研究网络,以增强服务区域和全球可持续发展的能力,在全球变化背景下促进人类福祉的维持和增长。

## 参考文献(References)

- 毕思文, 2003. 地球系统科学: 21世纪地球科学前沿与可持续发展战略科学基础. 地质通报, 22(8): 601-612. [Bi S W. 2003. Earth system science: the frontier of earth science and scientific basis of the sustainable development strategy in the 21st century. Geological Bulletin of China, 22(8): 601-612.]
- 冯筠, 高峰, 黄新宇. 2005. 构建天地一体化的全球对地观测系统: 三次国际地球观测峰会与GEOSS. 地球科学进展, 20(12): 1327-1333. [Feng Y, Gao F, Huang X Y. 2005. Construction of an integrated global earth observation system: three summits on earth observation and GEOSS. Advances in Earth Science, 20(12): 1327-1333.]
- 傅伯杰, 牛栋, 于贵瑞. 2007. 生态系统观测研究网络在地球系统科学中的作用. 地理科学进展, 26(1): 1-16. [Fu B J, Niu D, Yu G R. 2007. The roles of ecosystem observation and research network in earth system science. Prog-



- ress in Geography, 26(1): 1-16.]
- 傅伯杰, 张立伟. 2014. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 33(4): 441-446. [Fu B J, Zhang L W. 2014. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress. Progress in Geography, 33(4): 441-446.]
- 黄秉维. 1996. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础(I). 地理学报, 51(4): 350-354. [Huang B W. 1996. On earth system science and sustainable development strategy (I). Acta Geographica Sinica, 51(4): 350-354.]
- 曲建升, 张志强, 林海. 2005. 地球系统科学联盟(ESSP): 框架与任务//黄鼎成, 林海, 张志强. 地球系统科学发展战略研究. 北京: 气象出版社: 161-170. [Qu J S, Zhang Z Q, Lin H. 2005. Earth system Science Partnership: framework and tasks//Huang D C, Lin H, Zhang Z Q. 2005. Research on the development strategy of earth system science. Beijing, China: Meteorology Press: 161-170.]
- 王金平, 高峰, 张志强, 等. 2010. 国际生态系统研究发展态势文献计量分析. 地球科学进展, 25(10): 1101-1111. [Wang J P, Gao F, Zhang Z Q, et al. 2010. Bibliometrical analysis of competitive situation of international ecosystem research. Advance in Earth Science, 25(10): 1101-1111.]
- Earth System Science Committee of the NASA Advisory council. 1986. Earth system science: overview. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.
- Fu B J, Li S G, Yu X B, et al. 2010. Chinese ecosystem research network: progress and perspective. Ecological Complexity, 7: 225-233.
- Future Earth. 2013. Future Earth initial design: report of the transition team. Paris, FRA: International Council for Science (ICSU)[R/OL]. [http://www.icsu.org/future-earth/media-centre/relevant\\_publications](http://www.icsu.org/future-earth/media-centre/relevant_publications).
- Hobbie J E, Carpenter S R, Grimm N B, et al. 2003. The US long term ecological research program. BioScience, 53(1): 21-32.
- IGBP. 2006. Science plan and implementation strategy. IGBP report No. 55. IGBP Secretariat, Stockholm: 76.
- IGBP. 2010. A vision for integrative global-change research for a sustainable future[EB/OL]. 2010-9-27[2014-05-16]. <http://www.igbp.net/bout.4.6285fa5a12be4b403968000417.html>.
- Ignaciuk A, Rice M, Bogardi J, et al. 2012. Responding to complex societal challenges: a decade of Earth System Science Partnership (ESSP) interdisciplinary research. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4: 147-158.
- Kampe, T U, Johnson B R, Kuester M, et al. 2010. NEON: the first continental-scale ecological observatory with airborne remote sensing of vegetation canopy biochemistry and structure. Journal of Applied Remote Sensing, 4: 043510.
- Larigauderiel A, Prieur-Richard A, Mace G M, et al. 2012. Biodiversity and ecosystem services science for a sustainable planet: the DIVERSITAS vision for 2012- 20. Current Opinion in Environmental Sustainability, 4: 101-105.
- Mace G. 2013. Ecology must evolve. Nature, 503: 191-192.
- NEON. 2011. Science strategy: enabling continental-scale ecological forecasting[EB/OL]. 2012- 08- 01[2014- 05- 16]. <http://www.neoninc.org/science/sciencestrategy>.
- NEON. 2012. Scientific overview (8- page brief) [EB/OL]. 2012-07-05[2014-05-16]. <http://www.neoninc.org/about/overview>
- Running S W, Baldocchi D D, Turner D P, et al. 1999. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. Remote Sensing of Environment, 70: 108-127.
- TERN. 2014. TERN delivers, Version 3.3[EB/OL]. 2014- 02 [2014-05- 16]. <http://www.tern.org.au/TERN-Brochures-Teports-and-Publications-pg27411.html>.
- TERN. 2013. TERN Science enabling plan 2013-2025: transforming Australian ecosystem science[EB/OL]. 2013-08-14[2014- 05- 16]. <http://www.tern.org.au/TERN-Brochures-Teports-and-Publications-pg27411.html>.
- Zacharias S, Bogena H, Samaniego L, et al. 2011. A network of terrestrial environmental observatories in Germany. Vadose Zone Journal, 10: 955-973.

## Global ecosystem observation and research programs: evolution and insights for future development

FU Bojie<sup>1</sup>, LIU Yu<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The international ecosystem related research programs are evolving toward global sustainability. They promote the discovery of ecosystem relevant scientific knowledge and corresponding applications. Ecosystem observation and research networks (EORNs) oriented toward multi-scale and multi-platform integration play a fundamental role in scientific knowledge discovery, serving decision making and achieving the sustainability goal. In this paper, the development of ecosystem related international research programs and ecosystem observation and research networks was elaborated, and some insights for the future development of EORNs are further presented. The evolution of international ecosystem related research programs shows that ecosystem research needs platforms founded on interdisciplinary international cooperation. Moreover, it is necessary to couple the understanding of mechanism of ecological processes with global sustainability. International ecosystem observation and research networks are expanding from site to basin and/or regional scales in scope. Their research focuses are broadening from ecosystem to the earth system. Natural ecological factors are gradually coupled with societal and economic aspects. Technologically, EORNs tend to enhance network-based monitoring and research, interrelate ground observation to remote sensing, and emphasize data sharing and integration to stimulate discovery in scientific knowledge. For the future, EORNs should expand the temporal and spatial scale of monitoring, strengthen and standardize network-based observation on individual factors, effectively couple ground observation with remote sensing, pay more attention to monitoring and research on biodiversity, and integrate natural science research with societal and economic studies. More importantly, EORNs must strengthen international cooperation and participate in the global scale observation and research networks.

**Key words:** global ecosystem research programme; ecosystem observation network; sustainable development; earth system science