

科技评论

关于地球系统科学若干基本问题的讨论

符淙斌

摘要 地球系统科学作为一门新兴的交叉学科,近40年来在地学界、生态学界乃至环境学界引起了广泛关注。指出了地球系统科学与传统地球科学的关系,强调地球系统科学不能代替现有的地球科学各分支学科的研究,地学的各个分支学科将继续其自身的发展,但应该考虑圈层间的相互作用;分析了人类活动主导世界前的地球系统运行规律、现代人类在地球系统中的作用,探讨了全球变暖的地球系统科学命题。

关键词 地球系统科学;地球科学;全球变化;人类活动;可持续发展

“地球系统科学”作为一门新的学科,诞生已经近40年^[1-2]。近年来,地学界、生态学界乃至环境学界都纷纷举起“地球系统科学”的旗帜。国内外也相继出版了不少以此命名的书籍,例如, Lee R. Kump 等 1999 年出版的《The Earth System》、毕思文等 2002 年出版的《地球系统科学》、“中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”项目组于 2024 年出版的《中国地球系统科学 2035 发展战略》等。部分大学也陆续开设了“地球系统科学”课程,以及以此命名的院系。作为一种尝试,笔者从 2017 年开始在南京大学主持开设了“地球系统科学导论”,学生的专业涉及地学和环境科学等相关学科,老师来自大气、地理、地球科学与工程以及环境

南京大学大气科学学院,南京 210023

学院。学生对于什么是“地球系统科学”提出了各种各样的问题,其中包括一个最基本的问题:地球系统科学(Earth System Science)与传统的地球科学(Earth Science)或地球科学(Geoscience)及它们的分支学科(如 Geology、Geophysics、Meteorology、Climatology 等)之间是什么关系?按照有的提法,“地球系统科学”似乎应该代替传统的地球科学;但是有人认为,地球系统科学仅仅是一种认识地球的新理念,并不是一个新的科学领域等。来自不同学科教学团队的老师们也常常为如何回答这些问题发生争议。为了促进地球系统科学的健康发展,有必要在一些基本问题上进行认真讨论。

《中国科学:地球科学》和《科学通报》等刊物上发表了多位专家就地球系统科学的发展历史、基本特征及研究进展的总结

文章^[3-4],并对未来研究方向开展了讨论。本文根据笔者从 20 世纪 80 年代开始,参与国际科学理事会为推动地球系统科学发展组织实施的一系列全球变化大科学计划的实践,就地球系统科学的一些基本问题提出一些看法。

1 地球系统科学与传统地球科学的关系

按照牛津科学词典的分类,传统的地球科学(Earth Sciences)是一组以地球研究为中心的学科,主要的地球科学是地质学、地理学、海洋学、气象学、地球物理学、地球化学等(A group of Sciences concentrated with the study of the Earth, the chief Earth sciences are geology, geography, oceanography, meteorology, geophysics, geochemistry, etc.)^[5]。我

收稿日期:2024-08-08;修回日期:2024-12-16

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,电子信箱:fcb@nju.edu.cn

引用格式: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; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.08.00980

们注意到,牛津科学词典中的地球科学用的是复数。因此,可以理解为它是一个包含地质学、地理学、海洋学、气象学、地球物理学和地球化学等的地球科学的学科群。

探讨地球系统科学定义,需先清晰地理解地球系统这一概念。

根据国际科学界最新的定义,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(The Earth System is the unified set of physical, chemical, biological and social components, processes and interactions that together determine the state and dynamics of Planet Earth, including its biota and its human occupants)。

地球系统科学,顾名思义,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(Earth System Science is the study of the Earth System, with an emphasis on observing, understanding and predicting global environmental changes involving interactions between land, atmosphere, water, ice, biosphere, societies, technologies and economies)。

因此,地球系统科学有它特定的研究对象,即人类赖以生存的整个地球系统。其面对的重大社会需求是,对人类赖以生存的地球系统的气候和环境变化,又

称全球变化(global change),做出科学的预测和影响评估,提出适应对策,为实现人类社会的可持续发展战略目标提供科技支撑。主要研究手段包括:从地球外对整个地球系统的状态实施连续观测的空间对地观测系统;设置在地球关键区、对地球系统关键过程实施综合立体集成观测和试验研究的平台;以及能够把整个地球放进“实验室”的地球模拟器(包括描写地球系统物理、化学、生物、社会和经济过程的一系列数学方程组构成的地球系统模式,以及能够求解它们的大型高速的计算机软硬件和海量数据的储存设备等)。很明显,地球系统科学是一个崭新的前沿科学领域,它与传统的地球科学在研究对象、研究手段和研究目标等基本要素上是完全不同的。因此,它不能代替现有的地球科学各分支学科的研究,地学的各个分支学科将继续其自身的发展。但是,地球科学各分支学科问题的研究需要从地球系统的视角关注它们与相关圈层和相关过程的联系,促进交叉学科的发展。

2 人类活动主导世界前的地球系统运行规律

传统的观点是地球系统总体而言处于能量平衡状态。当外力作用处于一定范围内时,系统将自动回到原始状态;当外力超过一定强度时,系统将会在新的水平上建立新的平衡点,从而呈现出波动式的运行状态,例如,地球表面温度呈现的冰期和间冰期的

交替出现状态。但是,当代一种主导的观点认为,地球系统的行为特征不是稳态平衡,而是强烈的非线性。通过非线性过程,在强迫函数中一个较小的变化就能推动整个系统在关键功能上超过“阈值”,发生突变。例如,在地球历史上,入射太阳辐射分布很小的变化(相对地球系统运行的整体能量而言),就可以引起地球系统从冰期到间冰期的剧烈波动,而且是不对称的。因此,有人提出,地球系统可能存在“突变的潜能”。认识地球系统运行的自然规律和方式,是地球系统科学的一个重要任务。

3 现代人类在地球系统中的作用

传统观念认为,人类赖以生存的地球有它自身的运行规律,人类无论多么强大也不足以改变这些规律。例如,地球总体上处于能量平衡状态,地球系统的变化主要表现为地球表面温度冷暖交替的波动状态,人类活动对地球系统的影响只能是叠加在这种变化之上的“小扰动”,不足以改变地球系统的运行基本规律。若根据传统观念,现在出现的地球气候变暖是暂时的,不久将被更长时间尺度的冷暖波动所覆盖。到时候,全球变暖将被所谓“小冰期”所代替。古气候研究中常用的相似法就是试图从长的时间序列中寻找“相似型”,并据此来预测未来的气候变化。但是,另一种观点认为,当今地球系统的变化找不到相似型。从关键性的环

境参数来看,地球系统当今的变化远远超过了过去至少50万年来的自然变率的范围。当今正在发生的地球系统变化的性质、振幅和速率是前所未有的,不可能从地球历史上寻找相似型。

人类纪和人类圈概念的提出彻底改变了关于人类在地球系统中地位的认识。1999年,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,正在不断地改变地球的面貌,成为地球变化的另一种驱动力^[6]。把人类作为地球系统的一个单独圈层是地球系统科学另一个重要特征。紧接着,2000年,诺贝尔化学奖获得者Crutzen P提出:自全新世这个地质时期以来,人类对地球的影响愈来愈大,已经成为全球变化的主要驱动力;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;为了强调人类的核心作用,应当把现在这个地质年代称为“人类纪”(Anthropogene)^[7]。人类纪的概念从新的思路确定了现代人类在地球系统中的地位。

不难预料,人类纪和人类圈的概念至今还没有被一部分学者所认可。一个典型的例子是,最近召开的国际地层学界的“人类世”委员会会议的决议认为,现在认定地球系统已经进入“人类世”的条件还不成熟。因此,进一步

阐明现代人类在地球系统中的作用将是地球系统科学未来的一个主要命题。

4 “增强温室效应”和全球变暖,它的影响和人类适应——一个典型地球系统科学命题

以全球变暖问题为例,说明一个典型的地球系统科学问题的主要特征。早在1827年,法国科学家就发现了大气中温室气体的增暖效应^[8]。在1896年,瑞典化学家Svante Arrhenius通过计算发现,CO₂浓度加倍将使全球平均温度升高5~6℃^[9]。但是,关于实际大气中温室气体含量增加可能影响全球气候变化的论述产生于1957年。美国加利福尼亚斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institute of Oceanography)的Roger Revelle等^[10]在论文中明确预言:工业化以来,人为的化学能源燃烧所释放的CO₂在不断增长,但是其总量还比较小,大部分被海洋所吸收;未来几十年,随着工业化进程的加速,大气CO₂的含量将会呈指数增长,从而影响地球的天气和气候。他们同时建议在地球物理年中建立大气CO₂的长期持续观测。同年,他们所在的研究所就在夏威夷的Mauna Loa开始了大气CO₂的连续观测。这个研究所的科学家Keeling C.D.整理分析了观测站的长期观测资料,获取了世界上最有代表性的CO₂连续变化曲线,被称为“keeling curve”,是迄今人类对全球气候变化影响最有力的证据。2007年,

政府间气候变化委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在第4次评估报告中进一步提出了“增强温室效应”的概念:由于对流层大气的红外辐射主要与高层大气的温度相关联,而那里的平均温度低至-19℃,与地面的14℃相比,需要更多的红外辐射来平衡,这就要求大气的温度变得更高。

我们再进一步分析当前社会最关注的人类活动导致的全球变暖问题,来说明一个典型的地球系统科学问题的属性。它的认识深化过程可以表述为:(1)人为的温室气体排放(主要包括化学燃料燃烧和土地利用产生的):涉及的过程包括社会经济结构和能源结构、生产方式和科技水平以及人类的生活方式等,这里主要是社会科学问题。(2)增强温室效应:纯粹的物理问题。(3)全球气候变化(气候变暖和极端天气事件的发生频率增加和强度增强):物理过程-生物地球化学过程相互作用。(4)气候变化对自然生态系统和人类社会的影响:社会过程-物理过程-生物地球化学过程相互作用。(5)人类对气候变化的应对与适应:经济和社会发展模式与人类生活方式的转变,实现人为排放温室气体的零增长(可持续发展战略)。

很显然,人类社会的发展导致的全球气候变暖是地球系统的各个圈层以及圈层间多过程相互作用的结果,它对人类社会可持续发展的影响和人类的应对与适应,是一个典型的地球系统科学命题。它的研究对象、研究方法

远远超过传统的地球科学和它的各分支学科的研究范围和能力。

可以预见,随着人类对地球系统研究的深化,一系列地球系统科学新命题的研究将会取得迅速发展。例如,海洋碳泵、地球水循环和地球微生物等^[4]。

参考文献(References)

- [1] National Research Council. Earth System Science. Overview: A program for global change[R]. Washington DC: National Academies Press, 1986.
- [2] Earth System Sciences Committee, NASA Advisory Council. Earth System Science: A closer view[M]. Washington, DC: National Academies Press, 1988.
- [3] 汪品先, 郭正堂, 焦念志, 等. 中国地球系统科学的十年展望[J]. 科学通报, 2024, 69(32): 4691-4695.
- [4] 郑永飞, 郭正堂, 焦念志, 等. 地球系统科学研究态势[J]. 中国科学: 地球科学, 2024, 54(10): 3065-3090.
- [5] Allaby M. Dictionary of earth sciences[M]. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- [6] Schellnhuber H J. 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution[J]. Nature, 1999, 402(6761): C19-C23.
- [7] Crutzen P J, Stoermer E F. The "Anthropocene"[J]. Global Change Newsletter, 2000, 41: 17-18.
- [8] Fourier J-B. On the temperature of terrestrial sphere and interplanetary space[J]. Memoires de l'Academie, Royal des Sciences, 1827, 7: 569-604.
- [9] Arrhenius S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground[J]. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1896, 41(251): 237-276.
- [10] Revelle R, Suess H E. Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of increase of Atmospheric CO₂ during past decades[J]. Tellus, 1957, 9: 18-27.

Some basic issues on earth system science

FU Congbin

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

Abstract Earth system science (ESS) as a new branche of science has widely received attention from communities of earth science, ecosystem science and even environmental science in last 40 years. The paper discusses the nature of ESS and its relationship with traditional earth science(ES), and emphasizes that the studies of ES and all its branches should be developed continuously by themselves while taking into account the interactions among the spheres of earth system. The paper also discusses the earth system in the pre-human dominated state, and the role of human being in the anthropocene era. Finally, the issue of global warming is taken as a typical example to explore earth system sciences.

Keywords earth system science; earth science; global change; human activities; sustainable development ●



(责任编辑 王丽娜)