

新时代地理复杂性的内涵

宋长青^{1,2}, 程昌秀^{1,2,3}, 史培军^{1,2,3}

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 3. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 20世纪以来, 经地理学者不断探索和努力, 地理学已经形成了其特有的学科特征。首先从认知方法和思维角度, 阐述了新时代地理学所面临的困境; 从新技术、新秩序、新数据、新方法以及新动因等方面, 诠释了地理学的新时代特征。其次, 针对地理区域性的新内涵和地理综合性研究所需的新方法, 提出了复杂性研究是地理学成功的新路径, 并认为复杂性是地理学研究的第三特征。再次, 重点讨论了地理研究存在的空间复杂格局、时间复杂过程和时空复杂机制, 进而解释了地理复杂系统的基本概念, 并就地理复杂系统的核心问题提供了相应的研究方法。最后, 提出了新时代地理学面临的新挑战和新要求。

关键词: 地理复杂性; 空间复杂格局; 时间复杂过程; 时空复杂机制; 地理学新内涵

DOI: 10.11821/dlxb201807002

1 前言

无论是自然科学还是社会科学, 其核心任务是探索、认识、理解自然现象和社会现象的发生、发展、变化规律、动力机制及演化趋势, 并将其成果形成概念、理论、方法和技术为中心的知识体系。长期的知识积累形成了别具特色学科, 众多学科构成了人类体系不同的特定单元。学科在长期发展过程中不断完善自身, 成为认识自然和社会的重要工具, 不同的学科以其固有的特征在认识自然和社会过程中起到不可替代的作用, 并使其经久不衰而流传至今。作为认识世界的重要工具之一, 地理学有着哪些与众不同的特征?

地理学是研究陆地表层自然和人文要素时空变化规律的学科^[1]。其研究对象包括自然要素: 水文、土壤、气候和生物, 人文要素: 政治、经济、文化等。从要素的组成特征可以概括为: 单要素(如水文)、多要素(如生态—水文)和全要素(如流域系统)。地理学科研究的问题包括: 地理要素的空间分布规律—空间格局; 地理要素随时间的变化—时间过程; 地理要素变化的动力关系—驱动机制^[1]。地理学科的首要特征是区域性。而且, 区域性是地理学作为学科存在的基础^[2]。尽管有些学科也针对陆地表层自然要素和人文要素开展大量研究且取得了丰富成果, 但是与地理学有所不同, 这些学科一般更加注重要素的时间过程, 而忽略了空间距离、空间环境和空间格局对要素变化的影响。地理学以其独特的区域视角, 不可替代地从空间视角描述、解释陆地表层要素的变化规律。与地理区域性相对应, 经典地理学还具有另外一个重要特征是综合性。在任何物理空间

收稿日期: 2018-06-01; 修订日期: 2018-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771537); 北京师范大学人才启动项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41771537; Talent Start Project of Beijing Normal University]

作者简介: 宋长青(1961-), 男, 黑龙江人, 教授, 主要从事地理学研究范式、地理区域综合研究方法等方面的研究。

E-mail: songcq@bnu.edu.cn

中陆地表层特征都是由多个要素共同作用的结果,理解不同尺度地理区域要素之间的相互作用、以及在空间上表现的整体特征都是地理学综合研究的核心任务^[2]。基于综合研究对陆地表层理解的重要意义,地理综合性研究将引领地理学发展的未来。与数学、物理、化学等纯基础学科相比,地理学以陆地表层自然、人文为研究对象,并在规律性认识的基础上服务于社会,从而体现出地理学具有较强的应用性,应用基础研究的学科性质决定了其发展过程很大程度受社会需求的牵引。

如上所述,经典地理学形成了其特有的学科特征,随着社会的进步,今天的地理学发展面临着什么问题?应该选择怎样的走向?在当今社会对地理学需求如此旺盛的情势下,地理学、地理学家应该回答这些问题。

2 地理学发展面临的时代困境

以学科群整体提升为代表的科学进步对地理学提出了新要求。社会精细化、多层次的社会需求对地理学提出了新期待。新时代创造的新环境驱使地理学发生了新变化,面对这些新情势,如何认知当今地理学的学科发展能力、社会服务能力以及对相邻学科发展的带动能力是当今地理学家无法回避的新问题。

2.1 困境1:传统地理区域认知方法无法客观表达地理区域快速变化的事实

与其他学科有所不同,地理学的核心任务之一是理解、表达地理空间的差异特征,即地域分异规律,因而形成了地理学的区域性学科特征。传统地理学通过对长时间序列的观察和推演,归纳总结陆地表层环境要素的变化幅度、变化节律,形成对区域特征的宏观认识,并基于不同的区域原则,为人类认识陆地表层自然要素、人文要素以及多要素综合特征提供基础,形成刻画陆地表层“稳态”特征的方法体系。随着人类活动的强度、范围和方式的不断扩展,陆地表层环境的“稳态”变得越来越脆弱。全球变化概念的提出,以及大量的研究成果表明,陆地表层环境变化在人类活动影响下出现了单调的演化趋势(图1)。认识变化的趋势、速度,理解陆地表层环境要素演化的驱动关系、演进模式成为地理学研究的新课题。

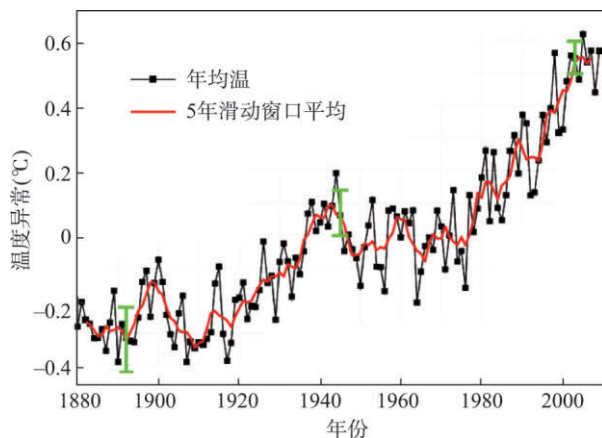


图1 人类活动影响下单调的陆地表层环境变化演化趋势^[3]
Fig. 1 Amonotonous land surface environment evolution trend under the impact of human activities^[3]

2.2 困境2:传统区域综合认知方法解释区域整体结构的内在本质受到局限

地理区域是由陆地表层环境要素和人文要素组成的复杂综合体,多年来地理学家力求从综合的角度认识和理解地理区域形成、变化的内在机制,基于这一基本任务形成了地理学综合性的特征。所谓地理综合特指在地理区域中多种环境要素相互作用下形成的区域整体特征,并在此基础上认识其变化规律。传统地理学在认识区域地理要素的基础上,进行环境要素的机械叠加,通过罗列区域多要素进行区域综合特征的表达^[4]。然而,这种对地理要素的简单罗列并不能表达地理综合的真实特征,在很大程度上忽略了要素

的内在关联和相互作用关系。因而, 现有的区域综合性研究在区域要素之间的作用关系、区域整体结构的形成演化、以及区域综合特征的整体表达等方面尚存着明显的不足。

2.3 困境3: 传统思维方式难以从系统的角度阐释结构复杂、变化多样的地理区域变化规律

作为地理学研究对象, 陆地表层是由多尺度、多结构、多过程构成的自然—社会系统^[5-7]。但是, 近代地理学沿袭了自然科学研究“还原论”经典的思维逻辑, 将陆地表层相互作用的要素逐级分解进行研究, 并形成对地理环境要素时、空格局和变化规律的总体认识, 对地理系统的认识通常局限于区域多要素的罗列和叠加, 对地理结构的层级、物质和能量关系研究尚没有找到更好的办法。当今的研究发现, 陆地表层是一个动态变化、非线性特征明显、空间相互作用显著、时间紧密连续的复杂系统。完全采用“还原论”的思维和方法体系无法准确理解地理事实。建立系统思维、从“整体论”逻辑出发、引入复杂性科学的概念是解译地理系统的最佳选择。

3 地理学面对的新时代

时代的更迭体现在思维方式、追求目标、实现路径以及周边环境的全新变化, 新时代应有明确、具体、兼具继承体现创新的新内涵。地理学的新时代是指当今地理学研究的新环境、新任务、新思维和新方法等, 与以往相比有不同的、明确的内涵。本文从以下几个方面阐述地理学的新时代特征。

3.1 “新技术”涌现地理学研究的新观念

随着科学技术水平的整体进步, 科学研究的理念发生了巨大的变化, 科学问题的提出和解决不得不考虑技术进步所提供的支撑条件。事实上, 随着技术的进步不断地改变了科学研究的观测、探测能力, 改变了时间、空间观念, 改变了研究对象的认识能力。技术进步正在很大程度上改变着地理学界的思维观念。

新交通技术进步彻底改变可移动自然、人文要素的空间运送成本和运送速度, 在空间布局上突破了资源和环境条件的空间约束。例如, 20世纪中叶, 煤炭工业的布局受煤矿资源分布的约束, 而钢铁工业的布局受铁矿及煤炭资源分布的约束。另一方面, 由于交通技术的进步加速了自然、人文要素的空间流动速度和范围, 造成了自然、人文和社会要素的空间组合发生了根本性变化。

互联网、移动互联网技术彻底改变人类的沟通效率、交流方式, 丰富了科学家研究的数据资源。沟通速度的提升、信息融合与加工能力的增加, 提升了描述人类空间行为的能力和精度, 导致了地理空间格局的演化速度和结构特征发生根本性变化。由于交流方式的改变, 如: 多方隔空会面的实现, 减少了人类沟通的情感障碍, 增加了交流内容, 提升了合作机率, 为综合认识地理过程提供了情景准备。由于网络化社会产生了丰富的自然和人文要素的数据资源, 使得人类能够观察到更多的人文、自然要素变化指标, 为地理学家开展综合、系统研究提供了数据基础。

物联网技术出现在很大程度上丰富了地理学研究的方法体系, 促发从模式思维向数据思维转变。地理学面临的三大核心问题: 格局、过程和机制, 三者是连续的整体, 其中地理过程的认识是关键。格局依赖过程加以解释, 机制是对过程的动力学刻画。物联网技术的产生能快速、实时地对人文和自然地理要素进行高密度的监测, 提供多要素的、连续的时间和空间数据体系, 从而, 突破稀疏数据简单条件的、依赖模式思维的限制, 因此, 可以利用具有地理意义的、多源的数据体系开展地理时空格局和过程研究新

21世纪,人工智能技术将改变人类社会及人类认识自然和社会的各个领域。陆地表层系统是一个复杂特征明显的地理系统,在相当的一段时间里科学界尚无法彻底解译其内在的演化机制,在小数据和大数据的共同支持下,利用人工智能技术,从系统科学思维理念出发,有可能更加清晰地认识地理系统的变化规律。

3.2 “新秩序”产生地理学研究的新视野

全球治理体系和国家治理政策的变革直接影响地理学研究命题。殖民时期国家突破了边界限制,促成了生产资料和产品大规模的空间流动;经济全球化时代创建了国际共同遵守的国际经济秩序、国际金融秩序、国际贸易秩序等^[9],促进了全球产业分工;“一带一路”倡议的提出,将进一步改变地区,乃至全球的既有秩序,改变自然和人文要素的地理格局。随着中国政府对生态环境建设和绿色发展理念的建立,地理学研究在认识地理过程的同时,更强调地理学社会实践功能,相应地理学研究尺度、研究内容、研究方法都会随之发生变化。

3.3 “新数据”出现地理学研究的新思路

随着定位自动观测、对地观测和网络技术的迅速发展,使得地理学的研究数据呈指数增长,地理学研究从数据稀疏进入数据稠密时代。地理学在定性描述研究、定量动力刻画的基础上,为开展地理系统研究、地理复杂特征研究提供了丰富的数据基础,为揭示地理区域综合本质特征提供了可能。

3.4 “新方法”创造地理学研究的新途径

地理学科是一门古老的学科,从郦道元所著《水经注》就有了对地理要素的描述,其发展已有逾千年的历史。科学发展进入实验阶段,从地理学的实验特征进行考证也有逾百年的历程。自20世纪50年代系统科学概念提出以来,地理学系统思想的提出也已接近半个世纪。如今复杂性科学的产生,大数据的出现,人工智能方法的拓展,有可能为破译复杂的地理系统提供新的途径。由于地理学是侧重区域差异研究的学科,不同区域研究的深度不同,地理学正在采用不同的方法论体系,如经验、实证、系统仿真的研究范式。随学科发展的需要和社会需求对地理学提出新的要求,地理学正在不断拓展新的方法。随着地理学方法的拓展,认识地理过程、理解地理机制的水平将会有很大的提高。

3.5 “新动因”提出地理学研究的新要求

地理学是一门尺度依赖的学科,不同尺度地理格局的表现方式和表现内容不同;不同尺度的地理过程时空特征和演化序列不同;不同尺度的地理格局、地理过程的驱动因子不同。一般而言,小尺度、简单的地理要素格局与过程研究以外动力作为驱动因子加以解释;大尺度、复杂的地理要素格局与过程研究以内动力和外动力耦合、外动力和人类活动耦合作为驱动因子加以解释;多尺度、复杂地理系统格局与过程研究以内、外动力以及人类活动作为共同驱动因子加以解释。由此可以看出,地理机制的认识过程,应从要素的复杂程度、格局的尺度、过程的尺度和动力因子的耦合作用关系加以理解。

总而言之,“地理学的新时代”是有特定内涵的概念,是新技术环境、新数据支持、新方法探索、新动因分析的共同组合。

4 新时代地理学的新特征

区域性、综合性是传统地理学的两个核心特征,同时,也是地理学区别于其他学科的本质特征。随着地球环境的变化,表现在陆地表层的状态也随之发生了新的演化规律,更加凸显出其复杂性的本质。与其他学科相比,地理“复杂性”已成为新时代地理学的核心特征之一。

4.1 多要素的地理格局快速变化增添了区域性的新内涵

地理学研究核心任务之一是研究自然、人文地理要素在时间、空间的分异规律。针对区域研究的地理要素可以分为单要素、多要素和全要素。传统的地理区域格局研究的基本思路是利用多年观测数据的均值,刻画区域自然和人文要素的“稳态”特征,其理论假设是环境变化围绕中值波动。如:气候区划、植被区划、水文区划、土壤区划、灾害区划^[9]以及大量的人文要素区划等形成了对区域格局的整体认识。然而,大量研究事实表明,自然环境变化在特定的时间尺度上呈单调变化趋势;人类活动强迫自然环境变化同样呈单调变化趋势(图1);人类的生产、生活造成空间过程在一定时间尺度内也呈单调变化趋势。这一事实对传统区域差异划分的理论假设提出质疑,客观事实对地理区域研究提出了新的要求,即如何从变化的角度开展区域研究,这方面已有一些研究成果^[10]。另一方面,已往的研究更多注重单一要素的区域格局研究,无法刻画区域内多种环境要素相互作用、相互依存的事实。因而,往往造成环境要素空间特征表达的本质冲突。更重要的是传统的地理区域研究忽视了环境要素相互作用的内在机制。

新时代的地理区域研究应从多尺度、多要素角度开展研究,且考虑到区域环境的动态过程和演化机制的分异规律。

4.2 多要素相互作用的地理综合研究需要新方法

综合性是地理学的学科未来。如果说区域性是地理学的本质特征,综合性则是地理学的存在与发展的重要标志。相对综合性而言,区域性的研究原则和认识方法相对容易,而综合性的研究直接影响着区域研究水平的提升和进步。纵观已有研究,可将综合性研究分为如下几个演化阶段:

阶段1:针对特定自然和人文区域,对自然和人文要素进行区域内罗列,如:中国东北地区农业物产特征,包括大豆、玉米、水稻等。

阶段2:基于GIS技术,将特定地理区域内环境要素进行空间叠加,对区域内环境要素进行空间定位,在一定程度上表达多要素在空间的叠加关系和综合特征。如:中国作物分布与气候的分区叠加关系。由于缺乏要素相互作用关系的定量研究,机械叠加往往造成要素间存在空间错位,从而不能准确表达其空间分布的本质特征。

阶段3:考虑特定区域多个核心要素之间的相互作用,建立具有表达要素之间动力学联系的、反应区域要素特征内在本质联系的综合,如:生态—水文相互作用、土壤—水文相互作用。在国家自然科学基金项目的支持下,地理学者开展了黑河流域的生态—水文多要素间的集成研究,取得了大量成果^[11]。

阶段4:基于复杂性的系统区域综合研究。基于系统思维、复杂性方法,对特定区域进行整体认识。时至今日,在地理系统的结构认识和复杂性方法探索方面还处于尝试阶段,然而,这是地理学最重要的努力方向。

地理学是一门研究时空分异与多尺度综合的学科,分异是基于地理异质性的客观事实,综合是表达特定时空尺度的地理要素和结构的有机联系。在处理相对异质与相对均质的地理现象时应顾及尺度的效应,在特定尺度条件下,通过尺度扩展理解异质与均质地理现象^[12]。

4.3 系统“复杂性”研究将成为地理学发展的新路径

复杂性是新时代地理学的新特征,它将深刻影响地理学的发展与走向。地理学复杂性集中体现在陆地表层系统的多个方面:① 巨系统:从点到区域,到国家,最后到全球。② 复杂系统:天、地、生、人都是陆地系统的范畴。③ 多尺度系统:研究尺度有城市、区域、全球。④ 组织结构复杂,有城市、城市边缘区、省区。⑤ 驱动的关系复

杂：地理要素之间的驱动关系极其复杂，例如，在陆地表层系统的有些区域尚不清楚水分、土壤和生态之间的驱动关系。⑥ 演化趋势具有强烈的不确定性：陆地表层系统中一个微小的变化可能改变系统的整体演化趋势，例如：滑坡的发生等现象。诸如上述问题不胜枚举，传统地理学方法在解决类似问题时显得力不从心，系统“复杂性”研究方法的引入和创新，将从系统的角度解决地理学长期无法完美解决的地理区域综合问题。因而，我们期待着在认识地理“复杂性”的同时，通过复杂性科学方法的探索，拓展地理学发展的新路径。

4.3.1 新时代空间格局的“复杂性”

空间格局的复杂性体现在从传统的静态格局向动态格局转变，从要素格局向系统格局的转变（图2）。传统地理学善于刻画区域的稳定状态格局，一般采用30~50年的观测数据通过平均值刻画区域的状态特征，所表达的格局特征基于平均的、静态的。事实上无论是自然界还是人类社会均处在千变万化的动态中，尤其是工业化以来引发的全球环境变化加剧了这种动态的变化趋势，因此新时代地理学将从传统的静态格局进入动态格局的研究，更主要是通过“新技术+新方法=综合”，实现思维的转变。令人遗憾的是真正的综合集成研究尚面临着巨大的困境。

4.3.2 新时代时间过程的“复杂性”

地理现象的外在表现是多种内在因素相互作用的结果，随着时间和空间变化的格局构成了地理区域过程，同时，过程本身又是多种动因共同作用的结果，因而，从现象—过程—动因隐藏着众多的复杂性特征（图3）。早期地理过程通过时间窗口表达时间过程。随着模型模拟技术的进步，科学家找到了动力学表达过程的方法，从而实现了用动力学方程表达连续的时空地理过程。然而，客观的地理世界并非完全是线性、可解析的，存在着大量动力学方法无法表达的不确定性变化、不连续突变、混沌的非线性过程。解译这些复杂地理过程，除了采用动力学方法、模拟仿真方法以外，还应该引进、吸收和创造复杂性科学方法表达复杂地理过程。

4.3.3 新时代时、空变化机制的“复杂性” 地理学复杂性不仅体现在地理格局和过程变化方面，同样体现在影响变化的机制方面。推动地理过程变化的驱动力有3类：① 自然驱动：由于地球本身内外变化，以及宇宙空间环境变化造成的对陆地表层系统的驱动。如：地壳运动导致的造山运动、火山喷发等地球内动力，日地环境变化导致的风、温、湿、压等变化的地球外动力。内、外动力共同构成了影响地理过程变化自然动力源，驱动着陆地表层环境变化周期、幅度和范围。② 人类活动驱动：由于人类生产、生活活动直接和间接地影响导致对陆地表层系统的变化。如：由于人类对土地利用方式、强度、

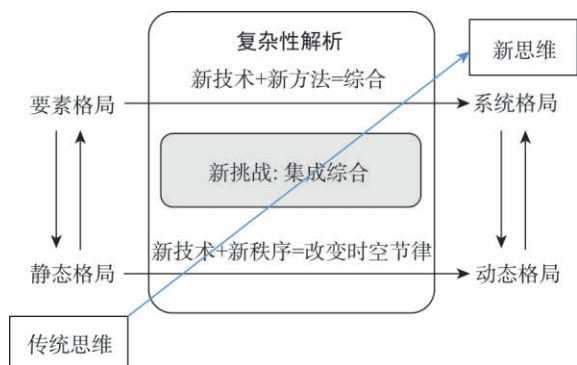


图2 新时代空间格局“复杂性”思维的转变

Fig. 2 A thinking change about complex spatial pattern in new era

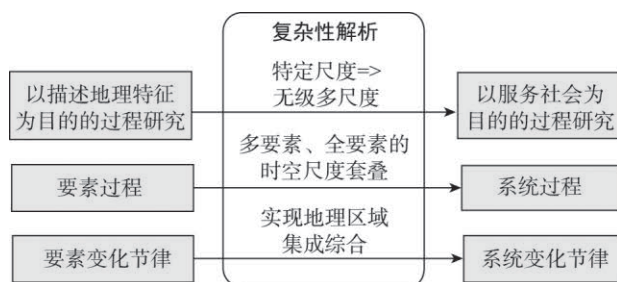


图3 新时代时间过程“复杂性”思维的转变

Fig. 3 A thinking change about complex time process in new era

范围的改变等直接影响。另外，由于人类对化石能源的开采和使用，造成大气成分改变，从而导致了地表热量的固有状态和分布格局的变化，间接影响着陆地表层变化系统各要素间的驱动关系。③ 人地叠加驱动：大量研究事实表明，陆地表层过程是由自然和人文驱动力共同作用的结果。工业革命以来，人类活动的强度日益增加，表现在陆地表层系统变化过程中，长尺度变化以自然驱动为主，而短尺度变化则以人类活动驱动为主。两种驱动力共同作用使地理过程变化的机制更加复杂，因而引发了陆地表层系统变化归因研究这一热点领域。

陆地表层系统中多个独立元素在相互作用过程中会产生叠加效应，即整体大于部分之和。从系统科学思路的研究出发，可以揭示叠加效应的多元特征，理解地理区域格局与过程变化规律的本质，从而丰富地理学解译格局和过程的方法体系。为此，针对不同尺度的地理现象研究增加认识过程的新方法，如：对微观过程可采用线性的动力研究方法，对宏观过程可采用非线性的复杂性科学的研究方法。

由此可见，地理复杂性在陆地表层系统变化过程中比比皆是，激发了我们从复杂、复杂性和复杂系统角度思考、理解和认识未来的地理学研究。

5 复杂地理系统

5.1 复杂地理系统的认识论

如前所述，陆地表层是一个客观存在的复杂地理系统，具体表现在地理要素的时空复杂性、要素相互作用的复杂性和驱动机制的复杂性。一方面，在科学理念上整体论的思维方式为开展复杂问题研究奠定了思想基础；另一方面，学科方法论体系的不断完善为开展系统研究和复杂系统研究提供了可能，如：系统论、信息论、控制论、耗散结构理论、突变论、协同论等。地理学发展至今面临着综合研究难以突破的困境，如逆水行舟不进则退，因而，无论从学科发展角度，还是从社会服务角度，都需要地理学建立“复杂性”研究的认识论体系。地理复杂性研究将成为引领地理学发展的重要路径之一。

5.2 理解复杂系统

系统可以分为简单系统、复杂系统和随机系统（表1）。简单系统的特点是：要素比较少，要素组织层次比较清晰，可以用较少的变量加以描述。要素关系相对独立、可预见、可组织，通常可以用牛顿力学进行解析。复杂系统的要素间具有强烈耦合作用特征，但可理解、可调控、可用非线性的方法进行表达。对于随机系统而言，尚无法准确描述其时间、空间过程及动力作用关系，对地理学而言，尽管暂时无法解析随机系统的内部规律，但是，在一定程度上能够判定系统随机行为的存在。

复杂系统是具有非线性演化特征的系统。针对地理学研究的非线性对象可以是独立

表1 简单系统、复杂系统与随机系统的对比
Tab. 1 Comparison of simple systems, complex systems and random systems

	简单系统	复杂系统	随机系统
组织结构	简单，要素特别少，用少数的变量描述	复杂，要素数目很多	元素和变量数很多
组织次序	次序清晰	次序不清晰	无次序
要素关系	要素独立运行，可预见，可组织	要素间强烈耦合作用可理解、可调控	要素间的耦合作用微弱，呈随机状态
研究方法	可以用牛顿力学解析	复杂性非线性方法表达	统计的方法认识

的地理要素，也可以是多个地理要素共同作用表现的非线性。① 基于复杂性研究的非线性主要是指不能用简单线性方程表达的变化，即存在着突变；② 复杂系统旨在刻画对象的整体变化行为，一般认为系统内部存在着独立运动的基本单元；③ 系统通过学习、进化过程产生自适应行为，构成系统演化过程。

看似杂乱的复杂系统通过自组织行为，产生从无序变成有序、从有序变为无序的进化能力。相对于系统的自组织过程，同样存在着系统的他组织过程，当然也存在着无组织过程。如：自由恋爱是自组织过程，父母包办是他组织，通过中间人介绍的自由恋爱，则是他组织转变为自组织过程。所以，自组织可以概括为无需外界特定指令而能自行组织、自行创生、自行演化，能够自主地从无序走向有序，形成具有结构系统的行为。他组织是不能自行组织、自行创生、自行演化，不能自主地从无序走向有序，必须通过外界推动力实现无序到有序的行为。一般而言，复杂系统研究以自组织思路开展，在很多地理现象中，地理系统是接受强迫之后发生变化，整体过程似乎是他组织，而内部结构变化似乎是自组织过程。

6 复杂地理系统的核心问题与研究方法

借鉴复杂系统研究的特点和方法，从复杂地理系统的视角，应明确如下核心问题：① 通过自组织能力识别，判断具备复杂系统的条件；② 明确复杂系统演化的动力；③ 明确系统状态演化过程及其驱动机制；④ 复杂系统内部结构的演化过程。

随着复杂性科学研究的不断深入，科学家针对复杂系统研究开发了一系列的研究方法（图4）。耗散结构理论提供复杂系统通过自组织行为从无序到有序发生的判定条件的重要方法。耗散结构理论强调远离平衡态的非线性开放系统，通过不断地与外界交换物质能量，在系统演变内部混合参量达到一定的阈值时，系统发生突变即非平衡相变的行为，由初始的混沌无序状态转变为一种在时间上、空间上或功能上的有序状态。

协同理论是刻画复杂系统演化动力过程的重要方法，探讨系统要素、单元和结构从无序到有序的动力过程。协同论强调通过系统要素竞争，协同实现从无序、无主控要素和规则的过程，到有序、出现主控要素和规则的演化过程。

这种主控要素和规则称为序参量，一个系统演化到一定阶段可以是一个序参量或多个序参量。微观研究用常规动力学的方法进行解释，但是宏观研究则是用复杂系统的方法进行解释。序参量的出现能破解子系统和系统要素的结构关系，同时，能够解释从无序到

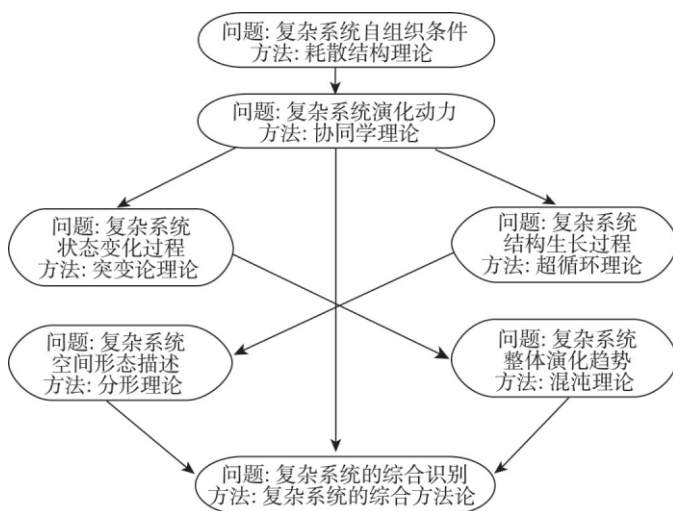


图4 复杂地理系统的核心问题与研究方法

Fig. 4 The core problems and corresponding research tools of complex geographic systems

突变理论是用形象而精确的数学模型刻画复杂系统连续性中断的质变过程的重要方法。突变也是系统非线性特征的一种体现,无论是简单系统还是复杂系统都可能产生突变。突变理论通常研究系统发生的突变条件、突变位置、突变路径及其出现的可能性即突变概率。同时,可以根据条件逼近探讨可能的突变路径。因此,突变理论具有研究复杂系统演化的功能。

超循环理论是探讨复杂系统多层次、多要素、多过程循环行为而造成系统的结构生长过程的重要方法。地貌隆升—侵蚀循环过程是典型的超循环过程。超循环具有结构的自我复制功能,系统自我复制功能,系统自适应功能,系统自进化功能。超循环使系统远离处于中值的平衡态,非线性特征也越来越强。当系统在临界点发生突变,系统又会进入一种新的平衡态。所以有序和无序是指现有状态本身要素之间的关系衡量,不是一个状态和前一个状态来衡量。

分形理论是描述复杂系统空间形态的重要方法。分形是指系统某个层次的组织结构以某种方式与整体相似,例如:水系、海岸线。分形通过分维数度量空间对象的不规则程度和整体特征,例如,根据海岸线的分维数,可推算出不同测量尺度下海岸线的长度。

混沌理论是探索复杂系统整体演化趋势的重要方法。混沌现象产生于对初值敏感的复杂系统中,如果系统的初值稍有偏差,可能导致系统演化趋势发生很大的偏移。尽管系统演化趋势偏移会让系统显很混乱,但混沌理论可以从中认识系统演化规律。混沌是非线性的、独立的、内在的过程,且具备固有的性质。混沌系统貌似随机,但是可被预测。大气科学中应用混沌理论通过不断修正既有状态对天气现象进行长期预测,尽管还不是很精确。地理系统中存在诸多类似的现象,但是我们尚未学会应用这一理论解决复杂的地理学问题。

7 地理学面临的新挑战

新时代,地理复杂性研究面临诸多挑战:

挑战1:如何界定地理系统的复杂性?如何标定复杂的地理系统?在许多传统地理学理论问题尚未解决的今天,研究复杂地理系统是一个巨大的挑战。

挑战2:如何划分复杂地理系统的独立单元及单元的行为方式?复杂系统研究一般被认为是独立单元的相互作用过程。地理学应该选择网格化方法,还是将地理实体抽象为均质颗粒进行研究,这些方法究竟能表达怎样的地理事实?

挑战3:如何界定复杂地理系统结构?从陆地表层自然和人文要素划分?还是从空间结构划分?抑或从地理功能单元划分?

挑战4:在表征复杂系统的众多指标中,针对复杂的地理系统如何选取?选取的依据是什么?在科学上和社会实践中具有什么作用?

新时代,为地理学提供新环境,对地理学提出新要求,学界同仁理当拥戴伟大的地理学,充满信心,发挥地理学的时代光彩。

参考文献(References)

- [1] Song Changqing. On paradigms of geographical research. *Progress in Geography*, 2016, 35(1): 1-3. [宋长青. 地理学研究范式的思考. *地理科学进展*, 2016, 35(1): 1-3.]
- [2] Fu Bojie, Leng Shuying, Song Changqing. The characteristics and tasks of geography in the new era. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(8): 939-945. [傅伯杰, 冷疏影, 宋长青. 新时期地理学的特征与任务. *地理科学*, 2015, 35(8): 939-

- [3] Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 2010, 48: 1-29.
- [4] Song Changqing, Leng Shuying. Some important scientific problems of integrative study of Chinese geography in 5 to 10 years. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 4-6. [宋长青, 冷疏影. 21世纪中国地理学综合研究的主要领域. *地理学报*, 2005, 60(4): 4-6.]
- [5] Qian Xuesen, Yu Jingyuan, Dai Ruwei. A new discipline of science: The study of open complex giant system and its methodology. *Chinese Journal of Nature*, 1990, 13(1): 3-10. [钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域: 开放的复杂系统及其方法论. *自然杂志*, 1990, 13(1): 3-10.]
- [6] Huang Bingwei. On earth system science and sustainable development strategy (I). *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(4): 350-354. [黄秉维. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础(I). *地理学报*, 1996, 51(4): 350-354.]
- [7] Wu Chuanjun. On the core of research in geography: The geographical system of human-earth relationship. *Economic Geography*, 1991, 11(3): 1-5. [吴传均. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统. *经济地理*, 1991, 11(3): 1-5.]
- [8] Song Changqing, Ge Yuejing, Liu Yungang, et al. Under taking research on belt and road initiative from the geo-relation perspective. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 3-19. [宋长青, 葛岳静, 刘云刚, 等. 从地缘关系视角解析“一带一路”的行动路径. *地理研究*, 2018, 37(1): 3-19.]
- [9] Shen Shi, Cheng Changxiu, Song Changqing, et al. Spatial distribution patterns of global natural disasters based on biclustering. *Natural Hazards*, 2018, 92(3): 1-12.
- [10] Shi Peijun, Sun Bo, Wang Ming, et al. Climate change regionalization in China (1961-2010). *Science China: Earth Sciences*, 2014, 44(10): 2294-2306. [史培军, 孙勃, 汪明, 等. 中国气候变化区划(1961-2010年). *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(10): 2294-2306.]
- [11] Song Changqing, Yuan Lihua, Yang Xiaofan, et al. Ecological-hydrological processes in arid environment: Past, present and future. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(12): 1577-1594.
- [12] Wang Jinfeng, Zhang Tonglin, Fu Bojie. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 250-256.

Geography complexity: New connotations of geography in the new era

SONG Changqing^{1,2}, CHENG Changxiu^{1,2,3}, SHI Peijun^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Since the 20th century, geography came into being with distinctive disciplinary characteristics by sustained effort of geographers. This paper puts forward predicament from cognitive and thought in the new era, and depicts new geographic characteristics from five aspects: new technology, new orders, new data, new approaches and new driving factors. According to new content of geo-regionality and new approaches of geo-comprehensiveness, the paper proposes that complexity research would be a successful new path in geography, and the complexity would be the third characteristic of geography. Then, the paper details some complex spatial patterns, complex time processes and complex spatio-temporal mechanisms in geography research. Based on the concept of a geographic complex system, this paper presents core issues and corresponding complex research tools. Finally, the paper puts forward new challenges and new requirements for geography in the new era.

Keywords: geography complexity; complex spatial pattern; complex time process; complex spatio-temporal mechanism; new connotations of geography