

人地系统复杂性思考

Thoughts on Complexity of Human- Earth System

杨国安 甘国辉

(中国科学院地理科学与资源研究所, 人地系统机理开放室 北京 100101)

一、复杂性与复杂科学概述

复杂性是世界的本质属性。复杂性是客观的,不是简单性的线性组合和现象,特别不仅仅是简单性的表现结果。描述事物复杂性,首先应该约定把描述限定在某一层次。离开层次谈事物的复杂性,复杂性就是一个无法度量的具有无限深度的虚假问题^[1]。复杂科学是国外 20 世纪 80 年代提出的,是一门研究复杂性和复杂系统的科学^[2]。目前它的研究领域虽然尚显得模糊不清,仍处于起步阶段,但被有些科学家誉为是 / 21 世纪的科学^[3] 并是现代科学的前沿之一^[3]。美国 Science 杂志于 1999 年 4 月 2 日辟专集对复杂性研究进行报道。几乎同时,中国国内也于 1999 年 3 月 18~ 20 日以 / 复杂性科学^[4] 为题召开了香山科学会议 (第 112 次会议),专门对复杂性科学进行了探讨,一致认为复杂性科学主要有以下 3 个方面的特点: (1) 研究对象是复杂系统,如植物、动物、人体、生命、生态、企业、市场、经济、社会和政治等系统; (2) 研究方法是定性判断与定量计算相结合、微观分析与宏观分析相结合、还原论与整体论相结合、科学推理与哲学思辨相结合; (3) 研究深度不限于对客观事物的描述,而是更着重于揭示客观事物构成的原因及其演化的历程,并力图尽可能准确地预测其未来的发展。中国国家自然科学基金委员会在 2000 年建议把 / 复杂系统与复杂性科学^[5] 的研究工作列为国家自然科学基金委员会 / 十五 0 优先资助领域,并尽快分阶段有重点地组织落实和开展实施^[4]。

随着科学的发展和技术的进步,20 世纪自然科学不再像以往一样偏重于在复杂性中探索简单性而忽略了在简单性中探索复杂性,科学的研究开始重视复杂性问题的探讨,如系统论、控制论和信息论就是其中的典型代表。耗散结构理论、协同学、超循环论、突变论、分形几何和混沌学等新科学理论的相继诞生^[2,5],为解决复杂性问题提供了新的方法和思路,促进了全新的自然观和方法论的发展,在

科技界、产业界、金融界、政府和社会公众都引发了广泛的兴趣和关注^[13,14,19]。从复杂系统复杂性程度看,系统的复杂性可分为 3 个层次:机械复杂性、生物复杂性和社会复杂性。毫无疑问,由人类社会系统和地理系统共同组成的人地系统是复杂系统中的复杂系统,钱学森先生称之为 / 开放的复杂巨系统^[6]。正是由于人地系统过于复杂,地理学的理论研究一直落后于地理学的实践,被认为是追随型的学科^[7]。复杂科学属于横断科学,发展了一套解决复杂系统问题的方法,如神经网络法、元胞自动机、多智能体等,在空间决策、大气研究、城市模拟、农田保护、交通运输等传统地理问题中均有尝试性的应用,并取得良好的效果^[8-12,16,17]。空间系统的复杂性特征决定了空间系统研究必须采取复杂系统的理论方法,空间系统复杂性的研究是地理学面临的迫切课题^[11],或许复杂科学的发展会为地理学理论研究带来新的生机。

二、人地系统

系统是由不同要素组成的具有一定结构和功能的整体。系统有整体性、层次性、结构性和功能性等特点。系统理论一经提出就显示出惊人的解释能力,它已经成为自然科学、社会科学和思维科学的重要工具。

地理科学的核心是研究人地关系,研究对象是有人类以来的人与地球的表层系统,简称人地系统 (目前学界对是否采用人地系统这一概念还存在争议)。本文不打算讨论用地球系统或是用人地系统哪一个更为确切,为了突出人的地位和作用,这里暂且采用人地系统的说法。人是指人群、人类聚落和人类社会 (包括农村和城市);地是指地理环境,即地球的表层人类赖以生存的环境。人地系统包括人类社会系统与地球表层的地理系统两个子系统,是一个 / 开放的复杂巨系统^[6,15],而且在时空上处于不断的动态变化之中,对它必须采取网络思维和多学科的综合研究,并作定量表述。用系统理论来

研究地球表层,涉及人类活动和自然资源、生态环境的相互关系,把人地关系上升到人地系统和它的时空分异^[15]的层次上。

把人地系统看成是复杂的巨系统而不看成简单系统,不在于组成人地系统子系统数目的众多,关键在于组成这一系统的子系统之间存在着复杂的层次结构、功能结构关系。地理系统应该包括大气、水、岩石、生物(包括人类)等组成要素,各组成要素之间/你中有我,我中有你,各种作用相互影响、相互制约,形成不可分割的整体,并且随着科学技术的进步,人类作用的空间范围将会扩大,地理系统的范围必将随之发展变化。人类社会系统包括生产力、生产关系、政权、文明、科技和教育等众多相互制约的要素。目前关于人的思维规律和人的行为特点还不清楚,由人组成的社会系统表现出极大的复杂性。科技是两大子系统之间的重要纽带。

二战以后,科技的发达使人们对自然取得一个又一个辉煌的胜利,也是自然资源耗竭、环境污染加剧、生态系统失去平衡的时期,于是人类不得不开始对人与自然的关系进行反思,不得不越来越重视人地系统中人地关系的研究,用传统的人地关系论作为地理学的理论基础已经愈来愈不适应^[18],以人地和谐论为基调的可持续发展理论应运而生。

三、人地系统的复杂性特征

人地系统是一个复杂巨系统,除了具有系统所具有的一般特征以外,还具有以下几个方面的特点。

1. 多层次性特征 复杂系统是由大量的子系统或单元组成的,形成许多层次,人地系统也不例外。人地系统作为最高级别涵盖了人类社会系统和地理系统两个子系统,兼有自然和社会双重特性。如前所述两个子系统都具有圈层结构,每个圈层本身又是由多个要素组成的,甚至每个要素都有明显的层次结构,例如生物圈是最大的生态系统,生态系统又有群落、种群、个体、细胞、分子等层次;人类社会系统也有个人、家庭、企业、社区、地域、国家、世界等十分复杂的层次结构。

2. 很强的区域性特征 人地系统具有全球性。全球性决非是抽象的概念,而是区域的组合,离开区域来谈全球问题是不可想象的。由于不同利益主体的存在,使得区域最优不等于全球最优,如果区域最优化是在全球最优的指导下,那么区域最优才能称得上真正的最优。区域的划分因自然、经济和行政不同而不同,三者之间有交叉重叠,也有不同,人地系统的区域复杂性特征明显。

3. 开放性、动态性与耗散性 人地系统不断地

与外界进行物质、能量和信息的交换和传递,是一个远离平衡状态的非线性开放系统,不断从外界吸收负熵流,当吸取的负熵流达到一定的阈值时系统就向前进化。人地系统的有序性和目的性是经历了从无序到有序、从简单结构到复杂结构的过程演变而来的,并且还在继续发展和演变。

3. 人地相互作用过程的多样性 在人地系统中存在着各种各样的过程:从人的层面上看有人口过程、经济过程、文化教育过程等;从地的层面上看包括地貌过程、流水过程、气候过程、生物过程等。这些过程纷繁复杂,还存在着复杂的相互关系,人参与、干预着地质大循环和生物物质小循环,共同构建了人地系统的复杂性。

4. 多类别、多要素、非线性和多维数特征 根据马蔼乃研究,人地系统涵盖人口、资源、环境、居住地、从事的产业、科教文化等多个方面的要素。由于众多的圈层结构以及人类社会所处的不同发展阶段,使现实的人地系统具有纷繁复杂的种类,是一个全方位、多层次的系统,表现出一定的非线性特征,当计算物流、能流、信息流时,可能是分形的,也可能是多维的^[15]。

5. 具有一定的学习能力 人类社会、地理系统在本质上是自组织系统,具有其发展的内在逻辑性。人地系统在发展过程中能够不断地学习,并对其层次结构和功能进行重组和完善。人与自然界中的复杂问题是难以预测的。

总之,人地系统是自然界和人类社会长期发展的产物,有一个发展的过程,其时限、空域也在不断发展变化;是一个开放的复杂巨系统,其系统复杂性表现为多层次、多区域、网络化、动态化、多过程、多类别、非线性等特征。

四、人地系统复杂性研究的一些思考

1. 人地系统的层次结构解析 系统的层次结构有时间、空间分布上的层次结构,也有系统功能上的层次结构,人地系统尤为如此。地球本身的圈层结构早已为人类所认识,从外层空间到大气圈,从地球表层的岩石圈、水圈和包括人类在内的生物圈到地幔,再到地球深处的地核,充分体现了地理空间的圈层结构特征。人类活动的地球表层是气(液)固3相物质交界处,也是来自宇宙空间的太阳能与来自地球内部辐射能、重力能的汇聚处,剧烈的相互作用激发了生命的火花,也孕育了人类的文明,造就了愈来愈复杂的人地系统。人地系统的地理系统脱胎于地球本身的自然系统,因此也禀承了地球系统的圈层空间结构特征;其人类社会子系统目前的一切活动都是围绕人类生存和发展而展开的,因此也形成了以人为中心的社会体系,包括生

产、生活、政治、教育、科技等各个方面。结构是功能的载体,人地系统的层次结构必然表现出不同层次的功能结构。

从对系统结构的了解程度的不同,可以把系统分为内部结构完全未知的黑色系统、完全清楚的白色系统以及部分已知的灰色系统。从目前人们对人地系统结构的了解来看,人地系统还是一个灰色系统,其层次结构、功能结构仍然是有待于进一步探索的课题。对系统结构层次的科学解析是进一步对系统进行定量研究的基础。

2. 人地系统的区域层次分析 人地系统区别于其他一般系统的重要特征是它的区域性。从所包含的空间范围看,有世界、国家、地区、城市、乡村等不同区域层次的人地系统,不同区域层次有各自的特征。区域发展必然要研究不同区域层次的人地系统,对这些系统进行剖析、诊断,摸清其脉络,才能因地制宜地制定出区域发展的对策。

3. 人地系统的网络结构分析 人地系统要素众多。随着要素的增加,要素之间的关系呈指数增多。线性结构、拓扑网络结构和神经网络结构是简化、模拟人地系统结构的有效数学工具。在模拟复杂巨系统的研究中,神经网络结构尤其有效。这种模拟的特点是可以进行非线性的分层并行计算,而且不局限于二维、三维,可以进行 n 维计算。

4. 人地系统及其运动过程的模拟 人地系统的复杂性及其运动过程的多样性使以人地关系为核心的地理研究的效果不尽如人意,至今还没有完整的令人信服的科学理论体系。传统科学对人地系统研究的最大障碍是定量化的研究难以进行。怎样从复杂的要素中选取影响因子,怎样对影响因子予以量化、建立与检验指标体系和模型、进行动态预测,至今都还缺乏坚实的理论基础;而复杂科学的兴起为以上工作提供了新的思路和方法。

5. 人地系统行为分析与人地关系协调发展 复杂系统及系统中复杂行为研究包括人地系统及其复杂行为是当前十分引人注目的领域,具有很大的挑战性。1998年的亚洲金融风波以及最近在美国发生的/9.11撞击事件0无疑是人地系统复杂行为中的典型例证。灾害、臭氧空洞、金融危机、黑风暴等事件的不断涌现,使人地系统的行为难以捉摸。在人地系统中,一方面人是自然界的一部分,不能凌驾于自然界之上,或超越自然界之外;另一方面,人又是人地系统的调控者,是人地系统中最积极的因素,通过生产和生活模式影响自然地理过程,进而影响人地系统的行为特征,使人地系统的不稳定性特征更明显。对人地系统行为的研究可以根据社会发展需要,首先选定典型区域的人地系统,通过对地观测、实地调查、模拟实验等手段,获得大量的地球信息,建立关于人地系统的大型数据库、知识

库;然后通过计算机进行数据处理、数据挖掘,建立动态决策支持系统;最后选择不同方案与模式对区域人地系统的行为进行适当的调控,探讨人地系统的动态演变过程与规律,探索人地系统中人地关系协调发展的新途径。

人地系统是复杂的开放系统,是复杂科学研究的重要研究对象之一。从复杂科学的整体论视角出发,运用复杂性研究工具来对人地系统进行研究有助于人们了解其发展规律及动因,有利于更好地进行适应和调控管理,进而促进人地协调发展;同时也将丰富和完善复杂科学的研究内容和方法。

参考文献

- [1] 吴彤. /复杂性0研究的若干哲学问题. 自然辩证法研究, 2000(1)
- [2] 成思危. 复杂科学与组织管理. 新华文摘, 2001(5)
- [3] 陈禹. 现代科学的前沿))) 从5复杂6和SFI谈起. <http://chaos.com.cn/fxts/fxts.htm>
- [4] 国家自然科学基金委员会政策局. 复杂系统与复杂性科学. 科学时报, 200007221
- [5] 王鸿生. 世界科学技术史. 北京: 中国人民大学出版社, 1996
- [6] 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)
- [7] 牛文元. 理论地理学. 北京: 商务印书馆, 1992
- [8] 黎夏, 叶嘉安. 主成分分析与Cellular Automata在空间决策与城市模拟中的应用. 中国科学(D辑), 2001, 31(8)
- [9] 黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化CA模型及可持续城市发展形态的模拟. 地理学报, 1999, 54(4)
- [10] 黎夏, 叶嘉安. 单元自动演化模型自动生成农田保护区的研究. 中国环境科学, 2000, 20(4)
- [11] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999
- [12] Julie Wakefield. 复杂性商业模型. 科学(中文版), 2001(4)
- [13] Nigel Goldenfeld and Leo P. Kadanoff. Simple Lessons from Complexity. Science 1999 April 2; 284: 87- 89
- [14] W. Brian Arthur. Complexity and Economy. Science 1999 April 2; 284: 107- 109
- [15] 马蔼乃. 论地理科学的发展. 载于马蔼乃编, 地理科学与地理信息科学论. 武汉出版社, 2000
- [16] 刘妙龙, 李乔, 罗敏. 地理计算))) 数量地理学的新进展. 地理科学进展, 2000, 19(6)
- [17] 李昕. 混沌理论与大气边界层湍流研究. 地球科学进展, 2000, 15(2)
- [18] 余之祥, 董雅文, 沈道齐. 地球表层的人地系统及其调控. 中国科学院5复杂性研究6编委会. 复杂性研究. 北京: 科学出版社, 1993
- [19] Mitchell Waldrop 著. 陈玲译. 复杂. 北京: 三联书店, 1997

(责任编辑 肖庆山)