

从简单到复杂 ——非线性是系统复杂性之根源

武显微¹, 武 杰²

(1. 山西医科大学汾阳学院社科部, 山西 汾阳 032200; 2. 太原科技大学人文社科系, 山西 太原 030024)

摘 要: 人类的哲学思考在 20 世纪末发生了根本性变化, 不再把自然界仅仅看作是一个简单和谐的统一体, 而是把它看作一个复杂多变的演化系统。文章从简单性原则的局限性出发, 论述了复杂性的客观存在及其产生的非线性机制。这一非线性思维方法对于改变传统的简单化、形式化和片面化的认识理念具有重要的时代意义。

关键词: 简单性; 复杂性; 非线性; 方法论

中图分类号: N941

文献标识码: A

文章编号: 1003 - 5680(2005)04 - 0060 - 06

一 引 言

以相对论和量子力学的建立为标志的 20 世纪物理学革命, 使人们从宇观和微观两个认识方向上对宇宙演化奥秘的探索和微观世界结构的了解达到了前所未有的深度。然而, 当今世界上有幸直接从事这类研究的科学家越来越少, 多数人只能从旁欣赏他们的成果与发现。与此形成尖锐的对比, 宏观层次的自然科学, 包括广义的物理科学、生命科学、地球与环境科学等却集中了众多的人力和物力。这里的研究对象斑驳陆离、五花八门, 有没有共同的理论线索呢? 复杂性的刻画看来是一个贯穿了不少领域的课题。^[1]由此构成了人类探索世界奥秘的第三个方向, 即对“道生一, 一生二, 二生三, 三生万物”, 量的变化导致物质运动由简单到复杂, 从低级到高级的各种形态和阶段, 直至生命和意识这个没有止境的发展过程的基本规律的认识上, 也取得了长足的进步。我国著名物理学家郝柏林院士形象地给出了一个人类知识的纺锤体模型。他认为, 今天人们在探索宇宙演化奥秘和微观世界结构两个尖端方向上的难度越来越大, 而在宏观层次上探索复杂性的研究却取得了突破性的进展。特别应当指出的是, 20 世纪 60 年代以来由于计算机作为研究手段的广泛运用, 与理论、实验手段相结合, 促成了非线性科学的建立。这方面研究的迅速进展, 使人们对一些久悬不解的基本难题, 诸如物理学的确定性描述和概率性描述的关系、复杂系

统形成的机制、自然界有序和无序转变的条件以及人类创造性思维形成的机理等有了新的认识, 并开始影响人类的自然观, 促进人们从事物整体的角度去探索和把握自然界的复杂运动形式。为了阐明复杂性, 我们先从简单性讲起。

二 简单性原则的局限性

在科学的美学准则中, 最重要的是简单性原则。它的历史悠久, 最为科学家所重视, 其他一些美学准则, 如和谐性、对称性、统一性等也可以归结为简单性, 或者说是简单性原则的引申。

1. 何谓“简单性原则”

在非线性科学诞生之前, 大多数科学家都相信现实世界是简单的, 并一直把简单性看作是科学追求的最高目标, 认为“简单是真的标志”(Simplex Sigillum Veri)。简单性是一个古老朴素的哲学观念, 一般说来可以分为两大类, 即本体论意义上的简单性和认识论意义上的简单性。

本体论方面的代表人物有牛顿(I. Newton)、莱布尼茨(G. W. Leibniz)等。再早还可以追溯到泰勒斯(Thales)的水、赫拉克利特(Herakleitos)的火、德谟克利特(Democritus)的原子论和中国的“五行说”, 都试图把世界的本原归结为一种或几种简单的物质。牛顿在《自然哲学的数学原理》中写道: “自然界不做无用之事。只要少做一点就成了, 多做了却是无用; 因为自然界喜欢简单化, 而不爱用什么多余的原因来

【收稿日期】 2005 - 03 - 07

【作者简介】 武显微(1963 -), 女, 山西孝义人, 山西医科大学汾阳学院社科部主任、副教授, 主要研究方向为科技哲学;
武 杰(1950 -), 男, 山西太原人, 太原科技大学人文社科系主任、教授, 主要研究方向为科技哲学。

夸耀自己。^[2]牛顿把简单性作为一种科学信念,并把它置于众法则之首。莱布尼茨则认为,上帝是以实现最大限度的“简单性”和“完美性”的方式来统治宇宙的。于是他“引进了一个‘单子’的陌生概念,这指的是一种不进行通信的物理实体,‘它没有任何窗口可供东西进出’。”^[3]这样,所谓单子论就成了对一个去掉了演化的宇宙的最重要的表述。^[3]

从认识论方面提出简单性原则的应首推亚里士多德(Aristotle)。他在《形而上学》中说,“所包涵原理愈少的学术比那些包涵更多附加原理的学术更有益。”^[4]14世纪唯名论哲学家奥卡姆(W. Ockham)继承了亚里士多德的这一思想,使出了著名的“奥卡姆剃刀”,要把那些多余的、无用的东西毫不留情地统统剃掉。后来马赫(E. Mach)也提出“思维经济原则”,主张把科学看成是一个“用最少的思维最全面地描述事实的‘最小值问题’。爱因斯坦(A. Einstein)更是推崇简单性思想。他认为“一切科学的伟大目标,即要从尽可能少的假设或者公理出发,通过逻辑的演绎,概括尽可能多的经验事实。”^[5]他还进一步说明:“我们所谓的简单性,并不是指学生在精通这种体系时产生的困难最小,而是指这体系所包含的彼此独立的假设或公理最少;因为这些逻辑上彼此独立的公理的内容,正是那种尚未理解的东西的残余。”^[6]可以看出,爱因斯坦是把自然规律的简单性作为一种客观事实接受下来的,并指出:“正确的概念体系(Scheme)必须使这种简单性的主观方面和客观方面保持平衡。”^[7]这也就为认识论意义上的简单性提供了本体论的基础。综合他们的论述,简单性原则的内涵应该是:在构建和评价科学理论时,要包含尽可能少的基本概念、公理和公设,在形式上要尽可能使用简单的数学语言、符号、方程,但在内容上要涵盖尽可能广泛的经验事实与表象。

长期以来,人们把认识论意义上的简单性原则看作是一个有助于真理的原则。直到20世纪上半叶,根深蒂固的简单性原则一直是许多物理学家和哲学家的“共识”,是指导科学家建立理论体系的出发点。古希腊数学家毕达哥拉斯(Pythagoras)关于事物构成方式的数的和谐完美性思想可谓规律简单性的经典认识。近代自然科学的泰斗牛顿以机械运动规律的单一性、对称性、可逆性和严格决定性将数的和谐简单性思想表现得淋漓尽致。20世纪最伟大的科学家爱因斯坦甚至把追求简单性作为他一生的最高目标。可以毫不夸张地说,爱因斯坦一生的科学活动非常成功地实践了简单性原则,卓有成效地得到了几个普遍的基本定律,并由此用单纯的演绎法建立起新的世界体系。科学发展的历程支持了他们的这一观点。哥白尼(N. Copernicus)日心说对地心说的代替、牛顿力学对开普勒(J. Kepler)三定律的涵盖、爱因斯坦的相对论对牛顿力学的超越,以及德布罗意(L. V. de Broglie)物质波理论的建立、狄拉克(P. A. M. Dirac)方程对正电子的预言等,都表明了上述简单性原则的有效性和正确性。这也使得许多科学家和公众把简单性原则与真理性相等同。果真如此吗?不一定。下面几方面的论述表明了这一点。

2. 数学的真理性并不保证

德国物理学家海森堡(W. K. Heisenberg)在一次与爱因斯坦的谈话中坦白承认,“我被自然界向我们显示的数学体系的简单性和美强烈地吸引住了。你一定也有这样的感觉:自然界突然在我们面前展开这些关系的几乎令人震惊的简单性和完整性,而对此,我们中谁也没有一点准备。这种感受完全不同于我们在特别出色地完成了一项指定工作时所感到的那种喜悦。”^[8]这表明科学家在构建科学理论时,运用简单性原则的一个重要方面是数学方法的应用。它使测量成为可能,也使数学与物理学联系了起来,从而对自然加以数学说明。该说明是准确、简洁、普遍和不变的。准确性在于由数字定位的特定存在(如某物温度的连续变化),如果用其他方式就无法准确地表达。普遍性在于测量能够使我们以数学的形式化语言去表达与它相关的事实,使得测量语言被科学共同体一致地和普遍地理解。不变性在于测量是客观的而不是主观的,它构建了某种恒定的描述。从表面上看,采用数学方法所获得的这种准确的、简洁普遍的、不变的对自然对象的认识形式是科学所追求的理想目标,但是,大量事实表明自然这本书并不是或者至少不全是数学的语言写成的。因此,数学方法的应用是在数学的真理性没有保证的情况下(非欧几何的创立表明了这一点),运用人们所发明的而非完全发现的思维产物——数学(这一点体现得越来越明显),对自然加以规定的结果。这本身不能保证依此所构建的科学理论的正确性。^[9]

3. “万物理论”的困难

“根据较少的统治自然的力的规律去进行解释的模式,并最终达到一个统一的规律,是物理学家把世界看作是简单的核心,”^[10]也是科学家们长期追求的目标。它的极端就是找出一个可以用来解释所有自然力的理论。这一理论被称为“万物理论”,也叫作统一场论(Unified Field Theory)。它能够统一解释迄今为止所发现的基本粒子之间存在的四种相互作用,并且能够将所有统治自然的基本相互作用压缩到一个自然规律中,导出各种基本粒子的质量,并预言其他粒子的存在。

目前,对万物理论的追求已取得了一定的进展。格拉肖(S. L. Glashow)、温伯格(S. Weinberg)和萨拉姆(A. Salam)根据规范场理论建立了弱电统一理论,统一说明了弱相互作用和电磁相互作用,从中预言了W粒子和Z粒子的存在,并且得到实验的检验。之后,人们进一步试图建立统一电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用的理论。结果是构建了多种这样的理论,但是哪一种理论比较正确至今不能确定。至于建立将四种相互作用统一起来的万物理论,那就更复杂了,其正确性也更难验证。现在最让科学家感到有希望的能够统一四种相互作用的理论是“超弦理论”。它引进了十个维度——九个空间维度和一个时间维度,其中有六个维度的尺寸小于 10^{-33}cm 。由于超弦的尺寸太小了,就算是有一个像星系一样大的粒子加速器,也不可能探测到超弦的尺寸以证明它的存在。况且物理学家对超弦理论的评价也是莫衷一是。^[11]当代著名物理学家史蒂芬·霍金(S. W. Hawking)曾是大统一理论的积极探索者之一,现在他的观点也发生了根本

性的变化。2002年8月17日,霍金在北京国际弦理论会议上发表了题为《哥德尔与M理论》的报告,认为不太可能建立一个单一的能协调和完善地描述宇宙的理论。霍金坦言自己对这个结论也有一个接受的过程。

这也就是说,即使我们创立了一个万物理论,也没有办法证明它是正确的,从而也就不能肯定它正确解释了世界上的万物。由此我们也就不能最终确认简单性原则的正确性和自然是否是简单的。并且,根据哥德尔(K. Gödel)不完备性定理,在任何公理化的形式系统中,总存在着在定义该系统的公理的基础上既不能证明也不能证伪的问题。也就是说,任何一个理论都有它解决不了的问题。即使我们已经获得了对世界的最终理解,也永远不可能证明这一理解就是对世界的最终解释,尽管可能有那样一个更深刻、更简单的统一性等待我们去发现。

4. 自然的本质并非是简单的

如果自然真的如简单性原则所反映的那样——“简单是真的标志”,那么,自然的本质就应该是简单的。这一观点被大多数古代哲学家和近现代科学家所坚信,近现代自然科学的发展和机械论自然观的形成也支持了这一观点。主要表现在:自然的规律性、自然的外在分离性、自然的还原性、自然的祛魅、自然的对称性、可逆性、相似性、最优性等方面。但是,如果我们考虑非线性科学对自然界中复杂性现象的研究,就会发现在自然界中,模糊性、非线性、混沌、分形等复杂性现象是大量存在的。自然界存在结构的复杂性、边界的复杂性、运动的复杂性。具体体现在:不稳定性、多连通性、非集中控制性、不可分解性、非加和性、涌现性、进化过程的多样性以及进化能力上。^[12]不仅如此,目前对自然系统的进一步研究,展现了自然存在经验性、不可分离性、非还原性和目的性等。所有这些是上述简单性原则所不能涵盖的,需要有相应的具体方法去认识。这说明自然的本质并非是简单的,还存在复杂性。这对简单性原则的运用是一个沉重的打击。

三 简单规则导致复杂行为

纵观科学发展的历史,我们发现简单性思想主要表现在三个方面:物质构成的简单性、运动规律的简单性和科学方法的简单性,这正是奥卡姆的信念:把那些不必要的东西像快刀斩乱麻一样统统剃掉。把复杂现象简单化、非线性问题线性化,虽然它在300多年的时间里极大地推动了科学的发展,使人们对自然界从模糊的定性认识转变为精确的定量分析,然而却是以牺牲复杂性为代价的。技术处理上的成功并不意味着对客观现象的真实描述。“今天看来,这是一种过分的简单化。我们可以把它比作是把一些建筑物归结为几堆砖。然而用同一些砖,我们可以建成一座工厂,一座宫殿,或一座教堂。从建筑物整体的层次上,我们把它理解为一个时间的创造物,理解为某种文化、某种社会、某种风格的产物。”^[13]因此,要真正认识现实世界,把握世界的本质,就必须摒弃以往的那种把现实世界简单化的想法和做法,从寻找世界万物终极之石的幻影中解脱出来,把注意力转向研究系统之间及系统构成要素之间的非线性相互作用。因为整个

宇宙本质上是非线性的,而且我们自己也处在一个线性和决定论只适用于有限的简单情况,而非线性和随机性却占统治地位的世界之中。^[14]那么,什么是复杂性?复杂性又是怎样产生的呢?

1. 何谓“复杂性”

苗东升教授认为,在汉语中,“复杂”一词是由“复”和“杂”两个字组合而成的。“复”的主要含义指多样、重复、反复,形成某种层次嵌套的自相似结构。“杂”的主要含义指多样、破碎、纷乱,形成某种不规则的、无序的结构。但是“复而不杂”和“杂而不复”还不是真正的完全的复杂性,只有“既复且杂”才是真正的完全的复杂性,它把层次嵌套的自相似性与无规则性、破碎性、混乱性有机地结合起来。这种事物的部分与整体之间既是相似的,又不严格相似,因为在反复迭代,即生成演化过程中不时有随机因素侵入,但又是不可预料的,导致严格自相似性的破缺,因而不能用确定论方法描述。这种对象也不能用统计方法描述,因为它们的生成演化过程毕竟有某些规则在不断重复,具有明显的尺度(层次)变换下的不变性,即规律性。分形,更准确地说自然分形,恰好是这种几何对象。自然界的分形有两个无法分离的特征:一是层次嵌套自相似性,部分与整体相似,因而有规律可循;二是粗糙性,不规则性、破碎性,即无规则性。因此,一切自然分形都是自相似性与不规则性的对立统一,确定性与随机性的对立统一,结构精细性与粗糙性的对立统一。所以,自然分形是复杂的,无法像20世纪的主流数学那样还原到集合论。

通过以上分析,我们对复杂性的认识也会产生这样一种观点:“既存在认识论意义上的复杂性,也存在本体论意义上的复杂性;凡本体论意义上的复杂性一定也是认识论意义上的复杂性,它们在被人认识后仍然是复杂的;但有些复杂性仅仅是认识论范围的,不具有本体论意义,一旦被认识,它们就不再是复杂的了。”^[15]吴彤教授明确提出“复杂性存在论”和“复杂性演化论”是属于本体论的问题,连带的认识论问题是,复杂性是人们认识能力不足造成的,还是事物本身所具有的性质?他指出:“承认复杂性是从简单性中生成演化而来,并不妨碍承认复杂性是世界的基本属性。有一种陈旧的类比观点认为,凡后出现的属性一定是先前属性的从属属性,一定不是可与在前属性并列的、处于相同地位的属性。既然这个世界是演化发展的,为什么不能承认后演化出来的属性也同样是世界的属性?产生在先的属性已经不能概括整个后演化出的世界,而复杂性又是一种凸显、超越,为什么不能承认这种复杂性不可还原?”^[16]先开端的因素也许先退化,后发展的因素也许后来居上。我们不应该太把属性看成是从来就有的。如果把属性看成是演化的过程因素,承认整个世界是一个过程的集合体,一切问题也就迎刃而解了。难怪恩格斯(F. Engels)把“过程论”的思想看成是“一个伟大的基本思想”。

综合上述观点,我们认为:复杂性是相对于简单性而存在的,它是在客观事物的联系、运动和变化中表现出来的一种状态,表达了一种不可还原的特征,而不是孤立、静止和显而易见的特性。

2. 简单性向复杂性的转化

由上可知,简单性一向是传统自然科学、特别是物理学的一条指导原则。尽管复杂现象比比皆是,人们还是努力把它们还原成更简单的组分或过程。事实上不少复杂的事物或现象,其背后确实存在简单的规律或过程。所以,我们应当首先学会比较和刻画来自简单机理的复杂性,否则就很难正确分析那些机理不明的复杂事物或现象。郝柏林院士在《复杂性的刻画与“复杂性科学”》一文中为我们介绍了几种由简单变复杂的具体途径。^[17]

(1) 重复使用简单的规则,可能形成极为复杂的行为或图形

一维非线性函数的迭代导致混沌,是一个熟知的例子。像 $f(x) = a - x^2$ 这样的抛物线函数,只要相当任意地选取一个初始值 x^0 ,不断进行迭代,即计算 $x_{n+1} = f(x_n)$,在参数 a 的某些取值范围内,所得到的“轨道” $x_0, x_1, x_2 \dots$ 可能具有极其复杂的结构。如果把上面的实数 x 扩展成复数,在整个二维复数平面上进行迭代,那么就有可能得到层出不穷的花纹图样。芒德勃罗(B. B. Mandelbrot)集合就是一例。有人称它为数学所知的最复杂的对象,因为在精益求精、小而又小的无穷层次上,都要出现新的、与已有结构并不严格相似的花纹图案。

(2) 把物理过程从高维空间投影到低维,会使它们看起来更复杂。或者倒过来说,增加新的参数或变量,扩大参数空间或相空间,往往可使事情简化

随意放置在三维空间中的一条曲线,一般不会自己相交;即使发生自交,也可以用小扰动排除,因而自交是非实质的。然而,如果把它投影到二维平面,一般说来定会产生自交,而且不可能由小扰动排除,看起来也比三维空间中的曲线复杂。某些非线性问题可以嵌入更高维的空间,成为线性问题。某些非马尔可夫(A. A. Markov)过程可以靠增加新的随机变量,成为马尔可夫过程。许多连续模型的离散化方案,也可看成从无穷维空间投影而来,它们一般具有比原来更复杂的性质。

(3) 错误的参考系可能带来不必要的复杂化

历史上托勒密(C. Ptolemy)的地心系就是如此。为了描述当时对太阳和六大行星运行的观测结果,曾经不得不引入80多个“本轮”和“均轮”。一旦换成哥白尼的日心系,天体运行的图像就变得简单多了。

随后,郝柏林院士指出:“考察种种事物由简单变复杂的途径,颇具启发意义。不过,在这种考察中,不要混淆描述体系的复杂性和刻画客观的复杂性。客观地定义和量度复杂性,与人们对自然界描述体系的复杂性是两回事。这很像是美和美感的关系。前者应有客观定义,而后者涉及接受者的主观条件。……只有站得高,事物才显得简单。原始人心目中的复杂事物,现代人看来未必复杂。”^[18]这就是我们前面谈到过的关于认识论意义上的复杂性与本体论意义上的复杂性的区别。

3. 简单性与复杂性的辩证关系

彭加勒(J. H. Poincaré)在预言20世纪的科学革命时曾

指出:“科学发展有两种趋势,其一是走向统一与简明,其二是走向变化与复杂的道路。”^[19]西方传统科学走的是第一条道路,它以“心物二分”为前提,形成了以原子论为基础的构成论或机械论的研究传统;而20世纪40年代兴起的系统科学,特别是60年代以来,非线性科学的发展显然是走向后一条道路。它从整体性和不可逆的时间演化出发,发现我们的世界是处于变化与不断增加的复杂性之中,所以人们称之为“复杂性科学”。但进一步的研究表明,科学中的这两条道路,本来就是首尾相接、殊途同归的,恰如一条“有界无边”的环形跑道。

非线性科学,特别是混沌学所研究的是复杂系统及其层次等级之间的复杂性关系、复杂的生长演化过程。它们比“原子和虚空”更接近大自然的本来面目,但它们却是哥德爾的孩子,那些奇异的分形图案,变幻无穷而深藏神秘。如此复杂神奇,负载过多的信息,而混沌学的使命就是要探索这些复杂性本身的规律。

在混沌的研究中,分形理论揭示了复杂现象深处精致而古怪的几何结构,确定了描述复杂性程度的定量参数——分维及其算法;重整化群提供了一次削去一层复杂性的技巧,从而“去精取粗”,以简驭繁;标度律和普适性则以最简单的两个自然常数($\delta \approx 4.6692, \alpha \approx 2.5029$)抓住了复杂演化背后的简单性规律。非线性科学的进展表明,对于传统科学来说过于复杂而显得纷繁无序的系统,仍然可能遵循简单的规律;而经典的简化方法对之望而生畏、束手无策的难题,运用新的综合的整体方法却可能删繁就简,迎刃而解。由此可见,简单性和复杂性之间并不存在截然分明、非此即彼的界限。关键在于新的观念、新的方法。“通过让受控制的混沌发挥作用,人就可以出奇制胜地解决复杂问题。”^[20]尽管混沌学宣布自己的任务是探索复杂性,但这并不同时意味着混沌规律也是复杂的。李曙华教授在分析了这一情况后指出,如今,简单性和复杂性已获得新的解释,并且已在更高的层次上获得了统一。

(1) 简单性和复杂性互相包含、两者统一

非线性科学的研究表明,“最简单的非线性系统未必有简单的动力性质,而复杂现象之下未必不是简单的数学模型,复杂形态的规则可能是复杂的,也可能是简单的。诀窍在于:不管现象如何复杂,只要对象中隐含某种分形序,运用新的思想和方法便可能以几条简洁规律将其译出。混沌学从简单中发现了复杂,又从复杂中找到了简单,由简而繁,化繁为简,繁简相通,相辅相成。”

(2) 简单性和复杂性互为根源、两者相伴

“‘简单性蕴育了复杂性’,而‘无理性孕育出了有理性’。简单系统可以产生复杂行为,复杂系统亦可产生简单行为。通过反馈的放大效应,可以使一个简单系统爆发出不可预测的复杂性;系统演化的过程中,伴随方向的随机性也可以产生惊人的复杂性。而整体形成的同时却又伴随着一定程度的简单性。因此,简单性和复杂性不仅互相包含,而且互为对方产生的条件。”

(3) 简单性和复杂性互相转化、两极相通

“复杂的混沌解的产生是非线性方程反复迭代的结果。因此复杂性不在于一次求解复杂方程,而在于千万次地重复简单计算。它启示了我们一条深刻的宇宙演化原理:即复杂性乃是某种简单的东西不断重复、长期演变的结果。尽管生命领域中复杂结构无处不在,但这亦并不一定意味着塑造实体原理的复杂性。与其说宇宙从一开始就是复杂的,或者说遗传基因确定了生命的全部复杂性,不如说宇宙和生命中包含着某种简单公式,是这公式作为反馈回路的无穷迭代,才造就了今日世界如此绚丽多彩的万千气象。这不禁使人想起中国的围棋和周易。围棋的规则很简单,变化却很复杂;易经的道理很朴素,但其阴、阳爻的排列组合却可以无穷无尽,变幻莫测。”^[21]

恩格斯早就指出,“自然界不是存在着,而是生成着并消逝着。”^[22]也就是说,现实世界并不稳定,它充满了解构与结构、发散与内聚以及复杂系统自组织的内聚性进化、动荡和令人震惊的事情;复杂性世界既可预测又不可预测,复杂性演化没有固定的限度,只存在不同复杂程度的吸引子。因此,复杂性世界是一个令研究者不断产生新发现和激励新思维的世界。混沌作为严格意义上的科学并成为20世纪科学革命的标志之一,恰在于它找到了传统科学无法简化的复杂现象的新的简化方法,发现了复杂性中深藏的简单规律。混沌,从探索复杂性开始,却走向了复杂性和简单性的新的统一,其创造性过程不断迸发着复杂性和简单性交汇相遇的灿烂火花。或许,可以这样说,今天的数学不是越来越复杂,而是越来越抽象;今天的科学也不是越来越复杂,而是越来越广袤而深邃。所以,一种新的简化方法的发现要比一种新的特定现象的发现意义更重大。

四 复杂性产生的非线性机制

20世纪初,彭加勒首先意识到在确定论系统中有混沌现象的存在,人们才从牛顿力学的光环中走出来,重新审视周围的世界,领悟到演化才是事物的一种更普遍的运动形式。演化规律的实质是跨层次的有质的差异性的非线性因果关系,其形式可以表现为时空对称破缺的非线性偏微分方程,具有多变量、不可逆、多值解等特点。近30年来,迅速发展的孤子理论、混沌理论和分形理论以及概率论描述方法已成为现代科学研究和刻画复杂系统及其演化的崭新手段。这样,我们就能更深入地认识系统存在与演化的基本特征。一般地讲,只有一定数量的同类元素之间的相互联系和作用是无意义的、无效的,拉兹洛(E. Laszlo)把这种局域化的加和性复合体称为“堆”,即非系统;只有异质性之间的关联才可能产生新的特性,因而只有系统要素之间的关联才可能产生非加和性或复杂性。^[23]

吴彤教授指出:非线性是系统复杂性产生和演化的动力学机制,是连接简单性与复杂性的桥梁。并举例说,混沌和分形是复杂性在时间和空间上的形态,涨落和突变是复杂性演化的内在根据,随机性和被冻结的偶然性是其复杂性演化道路上的表现。^[24]从本体论的角度,复杂性可分为运动复杂性、结构复杂性和边界复杂性;从认识论的角度,复杂性又

可分为计算复杂性、算法复杂性和语法复杂性;另外还有生态复杂性、经济复杂性和社会复杂性等。

不管复杂性如何划分(只因复杂性的普遍性意义),其产生的根源是一致的,这就是非线性相互作用。因此,一个事物是简单的还是复杂的,并不在于其构成要素的多少,也不在于构成要素的能量如何,而在于要素之间的相互作用是线性的还是非线性的。如果是线性相互作用,不论其构成要素的数量多么庞大,其整体性质也仅是部分性质的简单叠加,其行为也是简单的。例如一个热力学系统包含的分子数目非常巨大,但由于分子之间的相互作用非常简单,其整体行为并不复杂,人们使用统计方法就能很容易地解决。又比如被拉兹洛称为“堆”的一堆沙子,尽管由无数沙粒组成,同样不具有复杂性。如果系统构成要素之间是非线性相互作用,就会使系统各要素之间相互依赖、相互制约,甚至互根互补,出现协同效应,使整个系统表现出子系统(要素)不具备的性质,并使系统的行为表现得更加复杂而难以预测,哪怕一个微小的扰动都可能导致系统整体的剧烈变化,而出现分岔、突变和混沌等现象。^[25]但是应该注意,系统复杂性的产生虽然不在于要素的多少,但一般来说,不应少于三。吴彤教授用老子的一句话对此进行了解释,即:道生一,一生二,二生三,三生万物,其中根本原因在于“三”的稳定性。“一”是不稳定的,“二”也不稳定,极易演化到“三”,只有到了“三”,才是稳定的。在这里,“三”联系着宇宙之初和万物之始,具有涵容万物、生化万物、勾连混沌与万物、形成演化转折点的含义。^[26]所以,我们说“三”既是稳定性产生的临界点,也是复杂性开始的转折点和生长点,因为在今天,“三”代表着非线性作用的最少要素的数目。然而,任何一个复杂系统,尽管它是复杂的,但它同时又必须是稳定的;没有稳定性而言的系统,必定谈不上是复杂系统,也没有复杂性可言。

由此可见,非线性相互作用的存在的确使非线性系统复杂难解,但这也是线性系统不可媲美的。然而,非线性不等于复杂性,它们之间的区别表现为因与果的关系。也就是说,是非线性导致了复杂性。谭长贵先生认为,非线性导致系统复杂性主要体现在以下两个方面:^[27]

1. 涌现性

所谓涌现性,通常是指多个要素组成系统后,而出现了系统组成前单个要素所不具有的性质。这个性质并不存在于任何单个要素当中,只因系统在低层次构成高层次时才表现出来,所以人们形象地称其为“涌现”。系统功能之所以往往表现为“整体大于部分之和”,就是因为系统涌现了新质的缘故。其中“大于部分”就是涌现的新质。

系统为什么会具有这种涌现性,就是因为系统要素之间的非线性相互作用。正因为系统要素的非线性相互作用显得如此神奇,所以被布里格斯(J. Briggs)称为“非线性妖魔”。非线性相互作用导致系统新质的涌现与非线性作用的因果非等当性有关。线性的因果等当性将系统和组成要素视为均匀的、等价的,其功能是可积的,可以进行简单的叠加。但在非线性系统中,由于组成要素或子系统之间的作用是非线性的,它表现为非均匀的、不等价的。当子系统或组成要素

哪怕是出现一点微小变化时,都有可能引起系统相当大的变化。因此贝塔朗菲(L. von Bertalanffy)说:“这里所存在的不再是因果等当原理所适用的守恒因果性,而是触发性因果性。”^[28]普利高津(I. Prigogine)说得更加明白:“线性律与非线性律之间的一个明显的区别就是叠加性质有效还是无效:在一个线性系统里两个不同因素的组合作用只是每个因素单独作用的简单叠加。但在非线性系统中,一个微小的因素能导致用它的幅值无法衡量的戏剧性效果。”^[29]这里的“戏剧性效果”即指系统非线性作用下而出现了涌现性特征。

2. 涨落

所谓涨落,通常是指系统局部范围内,子系统之间以及系统与环境之间随机形成的偏离系统整体状态的各种集体运动。在许多情况下,人们往往把它描述成系统的宏观状态参量对其平均值所做的微小变动。它是存在于一切真实系统中的固有属性,一般分为内涨落、外涨落、微涨落和巨涨落。“通过涨落达到有序”,是一个伴随着系统通过失稳而重新建立稳定性的过程,失稳过程中基核的形成成为系统新的稳定性的生长点。涨落在放大的过程中都会产生一个基核形成的过程。普利高津认为,涨落“首先必须在一个有限的区域内把自己建立起来,然后再侵入整个空间:这里有一个成核机制。”这个机制就是系统要素的非线性作用。涨落放大从而形成巨涨落也是因为系统要素非线性作用的缘故。按照涨落发生的不同的空间位置,可以把涨落分为内涨落和外涨落。内涨落主要是由于系统要素或子系统的随机运动,而外涨落则主要取决于环境的扰动。来自环境的扰动通过系统要素的非线性相互作用而转化为内涨落,继而促进系统的有序演化。因此促成系统有序演化的内在因素本质上是系统的内涨落。

系统在演化过程中,一般都存在着稳定性与非稳定性两种相反的属性或力量。稳定性表现为系统对涨落的抑制,非稳定性则表现为涨落对系统宏观稳定态的扰动。正是这两种相反力量之间的竞争,决定了系统存在着一个涨落是否放大或衰减的“临界值”。当某个涨落区域的尺寸低于临界值时,意味着阻止涨落扩张的力量大于涨落自身扩张的力量,在这种情况下,涨落主要表现为对系统稳定性的干扰。当某个涨落区域的尺寸大于临界值时,涨落扩张自身的力量大于“外部世界”的阻尼力量,这时,该涨落可以迅速放大到系统整个范围,取代原宏观状态形成新的宏观有序结构,并与后来形成的宏观有序结构之间在本质上是同构的。所以我说,涨落是系统自组织性质的体现,它对于系统更新,进而使系统呈现新的活力具有重要意义。无论是基核的形成,还是涨落的放大,都表明了非线性作用的存在。没有非线性作用,就不可能出现巨涨落,也不可能形成新的宏观有序结构。

综上所述,非线性相互作用作为系统复杂性的根源,不仅表现在系统演化过程的伪随机性上,而且还表现在系统形态结构的无规则分布上。那弯弯曲曲的海岸线、变化莫测的湍流现象、起伏波动的股票市场、千姿百态的大千世界、风云变幻的人类社会、扑朔迷离的思维现象,这一切都是非线性相互作用所引起的结果。正如普利高津所言:“自60年代以

来,我们目睹着数学和物理学中掀起的革命,它们正迫使我们接受一种描述大自然的新观点。……复杂性不再仅仅属于生物学了。它正在进入物理学领域,似乎已经植根于自然法则之中。”^[30]

【参 考 文 献】

- [1][17][18]郝柏林.复杂性的刻画与“复杂性科学”[A].任定成等.科学前沿与现时代[C].南京:江苏人民出版社,2001.120、123-125、125-126.
- [2]H. S. 塞耶.牛顿自然哲学著作选[C].上海:上海人民出版社,1974.3.
- [3][13]伊·普利高津,伊·斯唐热.从混沌到有序[M].上海:上海译文出版社,1987.360、40.
- [4]亚里士多德.形而上学[M].北京:商务印书馆,1959.18.
- [5][6][7][8]许良英等编译.爱因斯坦文集(第1卷)[C].北京:商务印书馆,1976.262、299、214、217.
- [9]肖显静.简单性原则等同于真理性吗?[J].系统辩证学学报,2003(4):28.
- [10]Barrow Joun D. Is the world simple or complex? In: Williams Wes, eds. The Value of Science. Boulder: Westview Press, 1999.84.
- [11]武杰.跨学科研究与非线性思维[M].北京:中国社会科学出版社,2004.86-88.
- [12][16]吴彤.科学哲学视野中的客观复杂性[J].系统辩证学学报,2001(4):45-46.
- [14]武杰,李宏芳.非线性是自然界的本质吗?[J].科学技术与辩证法,2000(2):3-4.
- [15]苗东升.分形与复杂性[J].系统辩证学学报,2003(2):8.
- [19]转引自林德宏.科学思想史[M].南京:江苏科学技术出版社,1983.374.
- [20]约瑟夫·福特.混沌:过去、现在、特别是未来[A].走向混沌[C].上海:上海新学科研究会,1995.51.
- [21]李曙华.多元的统一性——混沌学的启示[J].系统辩证学学报,1997(1):64.
- [22]恩格斯.自然辩证法[M].北京:人民出版社,1984.12.
- [23]吴彤.论系统科学哲学的若干问题[J].系统辩证学学报,2000(1):16.
- [24]吴彤.“复杂性”研究的若干问题[J].自然辩证法研究,2000(1):6-10.
- [25]武杰,李润珍.非线性相互作用是事物的终极原因吗?[J].科学技术与辩证法,2001(6):16.
- [26]吴彤,黄欣荣.复杂性:从“三”说起[J].系统辩证学学报,2005(1):7.
- [27]谭长贵.动态平衡态势论研究[M].成都:电子科技大学出版社,2004.72-75.
- [28][29]转引自赵凯荣.复杂性哲学[M].北京:中国社会科学出版社,2001.20、21.
- [30]尼科里斯,普利高津.探索复杂性[M].成都:四川教育出版社,1986.2.

(责任编辑 成素梅)