

从复杂性科学再认识科学的简单性原则

陆以勤 韦 岗

摘要 本文辩证分析了科学的简单性原则和复杂性科学的方法论,指出科学的简单性原则分为简单性的世界观、科学模型的简单性原则和定律选择的简单性原则,而复杂性科学提供了新的复杂性的世界观,丰富了科学模型的简单性原则,深化了定律选择的简单性原则,因此是对科学简单性原则的扬弃,本文讨论了研究复杂系统对简单性原则应采取的态度。

1 科学转型引起的思索

科学史上,简单性几乎是所有科学家的信仰,而且也是选择一个理论的逻辑标准和美学标准。早在公元前 6 世纪,古希腊数学家和哲学家毕达哥拉斯(Prthagarace)就认为:万物的本原是数而不是物,简单与和谐是建立自然科学理论的原则。14 世纪,英国经院哲学家和逻辑学家奥卡姆(W. Ockham)提出了称为“奥卡姆剃刀(Ockham's razor)”的公认的思维原则和逻辑信条。他指出,没有必要,就不要增加前提假设的数目。“奥卡姆剃刀”是简单性思想的雏形。到了牛顿时代,牛顿的力学定律以简单的形式统一了宏观的运动现象。在《自然哲学的数学原理》中,牛顿指出:“自然界不作无用之事,只要少作一点就成了,多作了却是无用;因为自然喜欢简单化,而不爱用什么多余的原因以夸耀自己”。在相对论时代,爱因斯坦提出了检验理论的两个标准:“外部的证实”和“内在的完备”即“逻辑简单性”。他认为,从科学理论反映自然界的和谐与秩序的角度看,真的科学理论一定是符合简单性原则的^{〔1〕}。可以说,长期以来,正是科学家对简单性原则的追求,推动了科学的发展;反过来,简单性是人类认识世界的基础,也是科学研究的指导原则。

60 年代以来,特别到了 80 年代,以非线性为特征、以混沌为中心的复杂性科学逐渐成熟和兴起。科学家认识到,在经典科学认为是“病态”和“奇异”的现象其实具有相当大的普遍性,世界的本质是复杂的,而非线性是这种复杂性的根源,传统对复杂性的近似和简化原则有很大的局限性。复杂性

科学的兴起挑战了传统的简单性原则。耗散结构理论的创始人、诺贝尔奖获得者普利戈金(I. Prigogine)提出了“结束现实世界简单性原则”的口号。^{〔2〕}他指出:“科学的兴趣正从简单性向着复杂性转变,对于微观世界简单性的信念已经被打破了,这个转变引导我们把重点放到新概念和新方法上”^{〔3〕}在我国学术界,也出现了:复杂系统是否要放弃简单性原则”的争论。

无可置疑,科学正从简单性科学向复杂性科学转型。我们必须重新认识科学的简单性原则。为了使问题清晰化,首先要明确两个关键点:科学简单性原则的含义和复杂性科学方法论的内容。

2 科学简单性原则的含义

笔者认为,科学的简单性原则可分为简单性的世界观和简单性的方法论,而简单性的方法论又分为科学模型的简单性原则和定律选择的简单性原则。

(1) 简单性的世界观

所谓简单性的世界观,就是认为世界是由少量逻辑上极为简单的原理支配上的统一、和谐的整体,只要找到了这些原理,就可以把握事物的发展规律。由于科学和哲学的知识背景不同,科学家对简单性的理解也不同,其中对他们影响最大的是还原论。

所谓还原论,就是相信世界各部分、各层次的运动规律可以解释另一部分或层次的运动规律。根据还原的两种形式,还原论可分为机械决定论的还原论和统计决定论的还原论;如果是把整体、高层

次的运动规律还原为部分、低层次的运动规律,则为机械决定论的还原论;相反则为统计决定论的还原论。

还原论认为,整体的规律总是可以通过复杂的计算而恢复为部分的规律,有些事物被称为复杂事物,仅仅是因为组成这些事物的部分数目太多,我们没有足够的数据和能力处理,这时可以用统计方法求出统计平均的结果。可见,还原论本质是决定论。

还原论不承认世界的复杂性本质。按还原论的观点,只要有足够的数据,随着人的认识能力的提高,世界的运动规律最终可还原为若干条简单的定律,真正的复杂性几乎是不存在的。

(2) 科学模型的简单性原则

科学模型是科学方法的核心,是应用已有科学知识解决实际问题的关键。科学模型必须遵循相似性、简单性和可校验性的原则。^[4]所谓简单性,即模型在逻辑结构和主观认识上比原形简单,易于进行逻辑推理、数学运算等理论性操作以及实验、测量等实践性操作。模型的简单性主要依赖于两点:首先是现有科学的进步,例如,微积分的产生简化了高次方程的求解;其次是对系统的简化。传统上,系统的简化分为两步:第一是整体简化为部分,第二是对局部模型的简化;下面将对此作较为详细的论述。

①整体简化为部分

长期以来,整体简化为部分都沿用还原法(即分析法),系统科学产生后又出现了系统法。^[4,5]还原法是从17世纪至本世纪40年代占统治地位的方法论。它与机械决定论的还原论的世界观紧密联系。基于“整体等于部分之和”的观点,它认为,对一个系统的认识,首先是把整体还原为部分,再加以综合,以求得到对系统整体的认识。用法国科学家、近代演绎主义始祖笛卡尔(R. Descartes)的话:“把每一个难题尽可能分解成细小的部分,直到可以适于加以圆满解决的程度为止。”^[6]

系统法是本世纪四十年代发展起来的系统科学的方法论。美国哲学家拉兹洛(E. Laszlo)认为系统是“具有不可还原的性质的整体”。^[4,5]基于“整体大于部分”的观点,系统法强调整体与部分、整体与环境(即其它系统)的关系中全面地、综合地考察对象,以达到最佳处理问题的方法。

系统法要求立足于整体,同时也要求对各个部分作深入研究,因而系统法包括了还原法。不过这种还原,不是把对象还原为部分的堆积,而是还原为系统的组织结构。例如,还原法把建筑物还原为砖、瓦、钢筋、水泥;而系统法则根据建筑物的组织结构来看这些材料。所以系统法在某种意义上是对还原法的补充,系统法高于传统的还原法。系统法的简化原则可采用逐步近似法:第一级是将“整体等于部分之和”作为“整体大于部分之和”的近似;第二级是在第一级的基础上加上子系统之间的某种互相作用……依此类推,使简化系统逐级逼近复杂系统。^[4,5]

②局部模型的简化

局部模型的简化是针对于单一个体的简化法。从认识论的角度,这是一个把现实世界理想化的过程。理想化的方向是与现有的知识靠拢,所以与科学理论本身的发展有很大的关系。传统上,由于线性理论占主导地位,人们习惯于把系统简化为线性系统。具体地说,是把不规则简化为规则;不均匀简化为均匀;不光滑简化为光滑;有限简化为无限(或反之);连续简化为不连续(或反之);高维简化为低维;各向异性简化为各向同性;非孤立系统简化为孤立系统。这种系统在力学、物理学中曾是行之有效的方法。

(3) 定律选择的简单性原则

定律选择的简单性原则指的是在保证逻辑严密、完整以及可以理解的前提下,应该选择含有越少的基本假设以及逻辑形式越简单的理论。

显然,定律选择的简单性原则受简单性的世界观影响。另外,选择简单的定律,还有下面的原因:首先,简单的定律具有更广泛的适用范围。第二,简单的定律具有较强的可靠性。这是因为定律的简单性要求定律的基本假设要最少,这样由于基本假设不成立导致错误的机率也较少。第三,简单的理论具有更高的可检验性,例如,简单的定律具有较高的可证伪性,这是因为定律含有的独立元素越少,就越容易被证伪。第四,简单的定律具有较强的可理解性和可操作性。

综上所述,科学的简单性不仅是一种世界观,也是一种方法论。在经典科学发展的三百年中,单的还原论一直占统治地位。系统科学的出现丰富了简单性的思想,人们开始研究层次间的关系。长期

以来,这种关系只局限于线性关系。这是由于线性数学提供了可行的方法。对于非线性关系,由于非线性科学本身没有提供有效的方法,一般用线性关系逐步逼近。科学发展的成果表明,以往的简单性原则不仅仅是行之有效的,而且也是科学发展的一种动力。

3 世界的复杂性本质

本世纪以来,随着人类对事物本质的深入探索,日益暴露出线性关系作为考察世界单一的思维方式的局限性。人们逐渐认识到,非线性关系才是系统各层次和各部分间普遍存在的关系。而且这种关系是不可还原的。

在几何学上,这种关系表现为自相似性,即任意小的部分都与整体相似。这种曾被认为是“病态”的分形几何,看起来极不规则,实际上真实地描述了自然界,线性的欧氏几何只是一种理想化的模型。例如,外国学者 A. P. Pentland 通过研究认为,地表面的自然景物中,92%以上具有分形特征。^[7]近年来,分形广泛应用于自然科学和社会科学中。

在动力学上,系统各层次间的非线性关系表现为“折叠”式的操作,如对非线性方程的迭代等。动力学的这种关系导致了混沌。混沌表现为无规则的游走性行为。混沌是目前最复杂的运动机制,科学研究不断证实,混沌是比一般有序更普遍的现象。

在集合论中,这种非线性关系表现为不同元素对集合从 0—1 连续的隶属度,从而产生了模糊数学。模糊数学反映了概念的模糊性,较真实地模拟了人脑识别和判决的模糊特点,广泛应用于人工智能和自动控制中。

分形、混沌、模糊数学都是较为典型的复杂性科学,由此可见,系统层次间的这种普遍存在的非线性关系导致了系统行为的复杂性。可以说,世界在本质上是复杂的,复杂性的根源是非线性,所以也有人把复杂性与非线性等同起来。^[8]

包括耗散结构理论、协同学、突变论、超循环理论、混沌动力学、分形理论、神经网络在内的复杂性科学的兴起,带来了新的世界观:世界的任何变化都是不可逆的,任何客观事物都呈现出随机性和条件性,作为跨层次变化结果的事物的具体形式和方向是不可预测的,传统科学依据简单性方式描绘出来的美与和谐的世界蓝图只能理解为系统演化过

程中暂时的一幕,即使简单的生成规律也可产生无法确定的运动现象。世界是变化和复杂的。

4 复杂性科学的方法论

传统上,人们习惯于把系统各层次间的非线性关系近似为线性关系,主要原因是非线性科学未能提供有效的数学工具。传统的方法可以成功地模拟系统中近似于线性的现象,然而,那些被忽略掉的与线性现象有很大差异的行为和特征其实含有丰富的信息,硬性简化为线性会在很大程度上降低模型的相似性。这就是传统方法在处理某些应用问题的症结所在。

例如,严格的声学理论证明语音是一个复杂、随机时变的动态物理系统产生的。由于数学工具的限制,传统的语音处理理论以一个全极点的时变线性系统近似地作为语音信号的数学模型并取得重大的进展。但由于语音中含有湍流等混沌现象,它的行为无法用传统的线性方程去描述。这使语音处理的能力难以进一步提高。^[9,10]

可见,传统的对非线性系统的简化原则在处理与线性行为相差较远的“奇异”现象时有一定的局限性。这种局限性最终是由于非线性科学本身的发展所决定的。近 30 年来,非线性科学发展迅速,人们发现传统科学难以处理的许多不规则和奇异的行为,有可能是极其简单的规则生成的。例如,图 1 所示的称为“罗斯勒带 (Rossiler' band) 的吸引子实际上是由迭代方程

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z \\ \dot{y} = x + 0.398y \\ \dot{z} = 2 + z(x - 4) \end{cases}$$

产生的。又如,分形学创始人曼德尔布罗特 60 年代初在 IBM 公司任职时,曾帮助电信工程师解决了阵发性噪声分布的难题,令工程师们头疼的是,在无论多么短的时间段中观察,都有噪声的存在,但又不充满整个时间段。曼德尔布罗特为他们找到了一模型,即在时间分布上的“康托尔集 (Cantor set)”。康托尔集可以说是最简单的一维分形。如图 2 所示,把线段 E0 去掉中间的三分之一得到 E1,分别去掉 E1 两条段线中间的三分之一得到 E2,再分别去掉 E2 四条线段中间的三分之一得到 E3 …… ,无穷次重复这一过程后所得的极限称为三分康托尔集。康托尔集具有错综复杂的精细结构,每

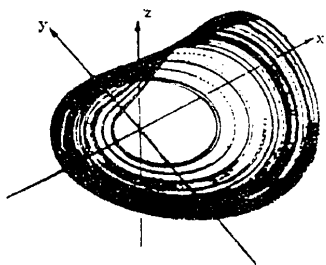


图 1 罗斯勒带

点附近都有大量被各种不同间隔分开的其它点,放大它的任意小的部分都可得到与整体相似的图形,但这样一个复杂的结构却是由上述简单的规则生成的。再如,湍流是物理学中一个历史悠久的难题,困难的根源部分地在于它同时存在着许多长度标度。这直观表现为从宏观直到分子水平所有尺度都可看出的涡流的互相嵌套和互相贯穿。曼得尔布罗特用分形学的观点研究了湍流,指出这是一种分形结构。在传统的“均匀模型”理论基础上,他提出了“分形均匀模型”,所导出的结果与实验值相互一致。^[11]

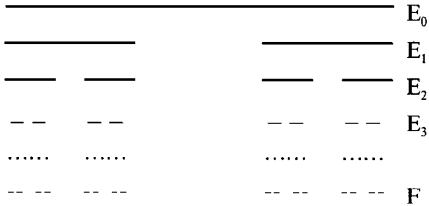


图 2 三分康托尔集

由此看到,复杂性科学的兴起,提供了新的方法论。用复杂性科学本身提供的研究非线性问题,比传统的简化为线性模型处理更为简单。

5 从复杂性理论再认识科学简单性原则

从上面的分析可以看到,复杂性理论的兴起,开阔了人的视野,提供了新的世界观。人们开始用复杂性的世界观取代以往单一决定论的还原论的世界观。人们认识到,以往简单的世界只是复杂世

界的近似或特例,就象牛顿力学所反映的世界只是相对论力学所反映的世界在低速宏观物体上的最佳近似。世界的本质是复杂的,是一个在质上千差万别和具有潜在的千奇万怪的世界。人们应该把那种不承认世界的复杂性,认为只要知道少数几个“永恒的”定律就可把握一切自然现象的简单性的世界观上升到复杂性的世界观。

在方法论方面,复杂性科学也提供模型简化的新的方法。使用经典科学无法处理的很多非线性问题,用复杂性科学可以简单地解决。在这个意义上,系统的非线性特征不应用还原法简化为各部分的特征,局部模型的简化也不应用传统的方法简化为线性系统。严格地说,复杂性科学的简化原则符合系统法的观点,它强调层次间的关系,要求用整体的眼光看待系统的各部分,同时也要指出,虽然复杂性科学提供了可行的模型简化原则,但并不意味着我们可以抛弃传统科学中的模型简化原则。传统科学在漫长的发展过程中提供了丰富的经验、方法和技巧,弃之不用是极不明智的,就象相对论的产生并不意味着要抛弃牛顿力学一样。在研究系统近似于线性的特征时,可以使用传统的科学来简化;而当研究系统非线性特征很明显的现象时,应该用复杂性的方法;有时,还要两种方法联系起来用。例如,海岸线本质上是一条分形曲线,但如果问题是海岸修筑公路,就不必而且也无法把海岸线作为分形曲线来处理,正确的方法是用分段光滑的直线段或曲线段近似代替海岸线。^[12]

从定律选择的简单性原则方面看。传统科学一般认为简单的系统具有简单的运动状态,复杂的运动状态必须具有复杂的原因。复杂性科学改变了这一观念,认为简单的决定论系统可以产生复杂性,复杂的系统仍可认为遵从简单规律。从这里也可以看到,复杂性科学不仅符合定律选择的简单性原则,而且深化了这一原则。科学理论必须是简单的,而且越是在复杂的现象中正确地以简单的基本概念、基本规律为其核心和基础,就越是抓到了实质。

6 结 论

综合全文,我们可以得出以下的结论:在世界观方面,复杂性科学的兴起,改变了单一决定论的世界观,而代之以复杂和演化的世界观;在方法论方面,复杂性科学为科学模型的简化原则提供了新

的内容,并有力地支持了定律选择的简单性原则。复杂性科学一方面抛弃了经典科学简单性原则中单一还原论部分,另一方面丰富了科学简单性原则的内容,它的兴起是辩证法对机械论的胜利。

参考文献

- [1] 李宏伟,李天瑞:简单性思想与理论简单性原则. 自然辩证法研究,1994,12:63.
- [2] 苗东升:把复杂性当作复杂性来处理. 科学技术与辩证法,1996,1:11.
- [3] 沈小峰:混沌初开. 北京师范大学出版社,1993,24.
- [4] 孙小礼、李慎、傅世侠:方法论(自然辩证法通论第二卷). 北京:高等教育出版社,1993. 98~110, 157~162.
- [5] 孙小礼:从部分与整体谈科学方法. 自然辩证法通讯,1993. 4:10
- [6] 王志康:论复杂性. 自然辩证法研究. 1990. 4:13
- [7] A. P. Pentland. Fractal-based discription of nature science. IEEE Trans PAMI, 1984, 6(6):

661.

- [8] 何祚庥:研究复杂性科学的若干方法论问题. 复杂性研究(中国科学院《复杂性研究》编委会编). 科学出版社,1993. 7~10.
- [9] 陆以勤:语音的分形、混沌特征与语音信号处理新方法的研究《华南理工大学硕士论文》,1993.
- [10] 韦岗、陆以勤、欧阳景正:分形、混沌理论与语音信号处理. 电子学报,1996,1:34
- [11] B. B. Mandelbrot, Intermittent turbulence in self-similar cascades: divergence of high moments and dimension of the carrier. J Fluid Mech, 1974, (62):331

【作者简介】陆以勤,1968年生,博士,华南理工大学无线电与自动控制研究所。

韦岗,1963年生,华南理工大学无线电所博士导师。

邮编:510641

(本文责任编辑 王国政)

(上接第13页)

如此,我们就必须学会这种目的论的语言。

新的目的论并不承诺上帝或神的存在。新的目的论依然是新的自然观的伴随物,而这种新的自然观实质上就应当是一种新的自然哲学。

参考文献

- [1] [2]《古希腊罗马哲学》,三联书店,北京,1957年,第167、168页。
- [3] 黑格尔:《哲学史讲演录》,第2卷,商务印书馆,北京,1981年,第204。
- [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] 亚里士多德:《物理学》,商务印书馆,北京,1982年,第64、45、45、48、64、48、64、61、242、245页。
- [14] 培根:《新工具》,商务印书馆,北京,1982年,第106—107页。
- [15] 吴国盛主编:《自然哲学》,中国社会科学出版社,北京,1994年,第30页。
- [16] 乔治·伽莫夫:《物理学发展史》,商务印书馆,北京,1981,第53页。
- [17] 《马恩全集》,第30卷,人民出版社,1957年,第575页。
- [18] 《马恩全集》,第29卷,人民出版社,1972,第503页。
- [19] 大卫·格里芬编:《后现代科学——科学魅力的再现》,中央编译出版社,北京,1995年,第3页。

[20] 恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1971年,第179页。

[21] [22] [23] 康德:《判断力批判》,商务印书馆,北京,1987年,第76—77、77、40页。

[24] [25] [26] 伊·普里高津等著:《从混沌到有序》,上海译文出版社,1987年,第38、38、42页。

[27] [28] 雅克·莫诺:《偶然性和必然性》,上海人民出版社,1979年,第5、30页。

[29] [30] [31] [32] [33] 迈尔著:《生物学哲学》,辽宁教育出版社,沈阳,1992年,第45、46、64、64页。

[34] [35] 维纳等著:《行为、目的和目的论》,载《控制论哲学问题译文集》,第1辑,商务印书馆,1965年,第9、4页。

[36] [37] 哈肯著:《协同学》,上海译文出版社,1995年,第79、234页。

【作者简介】李东,1958年出生,哈尔滨建筑大学社科系副教授。

邮编:150006

(本文责任编辑 范勤宇)