

论科学研究与复杂性^{*}

曹庆仁

(中国矿业大学管理学院经济管理复杂性研究所 江苏徐州 221008)

〔摘要〕 科学研究的目的在于追求真理,探索世界的奥秘。然而,复杂性却一直与科学研究相伴而生,可以说科学研究的目的是要探索复杂外部世界的简单规律。20世纪80年代兴起的复杂性研究,直接将复杂性作为其研究对象,试图建立描述复杂真实世界的复杂性科学。本文通过对科学研究发展历程的回顾,论述了科学研究与复杂性之间的关系,阐明了复杂性的基本含义,探讨了复杂性研究以及复杂性研究的科学性等问题。

〔关键词〕 科学研究 复杂性 复杂性研究 科学性

〔中图分类号〕 N94 O4

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2004)08-0012-04

ON SCIENTIFIC STUDY AND COMPLEXITY

CAO Qing-ren

(School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China)

Abstract: The purpose of the scientific study is to acquire the truthful knowledge of the world. But complexity is related to the scientific study at all times, and the purpose of the scientific study may be regarded as a study the simple rules of the complex world. The complexity study springing up in the 1980s takes the complexity as the research object, aiming to establish the complexity science describing the complex real world. After reviewing the scientific study, this paper discusses the relationship between the scientific study and complexity, clarifies the meanings of complexity, and explores the complexity study and its scientific nature.

Key Words: scientific study, complexity, complexity study, scientific nature

CLC Number: N94 O4

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)08-0012-04

1 科学研究及其发展

1.1 科学研究的兴起

近现代科学的前身是古希腊的自然哲学,这种自然哲学与科学通常是相互渗透、密不可分的,古希腊的许多自然哲学家同时又是科学家。“作为古代科学代表人物的亚里士多德,就是将哲学、自然科学与社会科学综合在一起而建立了一个包括哲学、天文学、物理学、动物学、植物学、逻辑学、政治学、美学等方面的体系”^[1]。然而,自然哲学与科学根本不同,自然哲学对科学研究具有重要的指导意义。

由于受知识水平或者认知条件的限制,古代的人们只能从生活中抽象出各种“元素”来解释其外部世界,这是一种朴素的自然哲学观。自苏格拉底以来,自然哲学的一个基本问题就是探询有序是如何从复杂的无序和混沌的物质状态中出现的,他们根据经验将复杂的自然现象还原为“原初”、“原素”,进而还原为水、气、火、土等基本元素^[2]。

在这种自然观的支配下,近代科学逐渐从自然哲学中分化出来。“亚里士多德的《物理学》就是从自然哲学向科学过渡的中间形式,而托勒密的《天文学大全》与阿基米德的静力学理论则与现代意义上的科学已经基本没有什么本质差别”^[3]。文艺复兴后,当伽利略使用实验方法对关于自然现象的解释或猜测进行检验时,科学就彻底地从自然哲学体系中分离出来,成为西方文化中一个独立的组成部分。对此,恩格斯指出:“真正的自然科学只是从15世纪下半叶才

开始,从这时起它获得了日益迅速的进展”^[4]。

1.2 牛顿范式的确立

沿袭古代自然哲学对世界本原的观点,世界简单性信念也是近现代科学研究的重要传统和发展动力之一。因此,寻求万物之源也就成为近现代科学研究的根本目的之一。

伽利略将自然看作是一个简单有序的系统,它的每一个过程都是有序的、必然的。他相信,天上和地下的自然动力学受相同数学规律的支配。笛卡儿将物质和意识完全孤立起来,他认为意识可以独立于身体而存在,而身体只是一台比较复杂的机器,对这台机器进行拆分并不影响整台机器的功效。这就是所谓的“笛卡儿简化论”。笛卡儿为近现代科学研究定了一个基调,那就是“机械论隐喻”。

牛顿为近现代科学研究建立了一个相对完整的研究范式,即牛顿范式,其基础是笛卡儿的二元论,中心议题是运动。它使用微分方程等来描述事物的运动及其轨迹。根据这种范式,事物的运动可以用精确的动力方程来描述,如果知道各粒子在某时刻的位置、速度和质量,那么所有时刻的位置和速度都将是确定的。在这里,世界是一个确定的运动过程,自然也成了一个缺乏生命力的可逆物质世界。

从某种意义上说,相对论和量子理论对牛顿范式提出了挑战。但是,爱因斯坦假设光速不变,并将牛顿运动定律限制在特定的惯性系中,这只不过是时间纳入了时空方程,形成了一种包括时间维在内的四维时空。与此相似,量子理论也将时间看作是可逆的,虽然它引入了概率概念。因此,它们都只是修正了牛顿的时空观,仍然没有摆脱牛顿范式的束缚。

牛顿的绝对时空观对近现代科学研究产生了巨大影

* 本文获教育部优秀青年教师资助计划资助。

响,牛顿范式被认为是科学建模的基础,寻找推动复杂事物运动变化的简单规律被认为是科学研究的目标。

1.3 系统方法论的产生与发展

以牛顿范式为基础的近现代科学研究取得了令人瞩目的成果。然而,它遵循的是还原论的研究方法,即整体可以分解为部分,部分也可以组合为整体,低层次和局部问题认识清楚以后,高层次和整体问题也就自然清楚了。在生物学研究中,这就意味着要将一切生物现象的研究还原到分子水平,只要分子水平的问题认识清楚了,一切生物问题也就自然清楚了,即“分子生物学就是生物学的一切”^[5]。然而,分子生物学并没有解决生物问题,相反,它使人们对生物体的整体认识更加模糊了。另外,为了迎合牛顿引力定律的需要,一些生物学家还使用一种具有物质性和受不可见力作用的“活力”来解释生命活动。然而这种活力是一种超越化学物理定律的东西,因而并不被广大生物学家所认同^[2]。

贝塔朗菲则使用机体论来解释生命活动。他认为,生命体是一个开放系统,能够通过持续地与环境交换物质和能量来维持其存在。即生命体并不是被动地对外部刺激做出反应,而是一个在本质上能自主活动的系统。整个生物界就是由不同形式的这种系统构成的有机整体^[6]。在机体论的基础上,贝塔朗菲进一步提出了他的一般系统论。

实际上,系统观念自古有之。贝塔朗菲认为,“从最古时代起,在欧洲哲学中就存在着系统的概念”^[7]。古代朴素的系统观,大多寓于古代朴素的唯物论和辩证法之中,尤其表现在对整体、组织、秩序、结构、等级等概念的认识之中。亚里士多德的思想是古代朴素系统观中最丰富、最有价值的遗产,特别是他的“整体大于部分之和”的观点,至今还是系统论的一条基本原则。然而,近现代科学只是在哲学层次上发展了这种系统观,如康德将宇宙世界看作是以各个系统的等级层次结构组成的普遍联系的整体,黑格尔把自然、历史和精神描述为一个系统和一个过程等;而在方法论上,他们则一直使用简单的还原论研究方法。

进入20世纪,科学研究越来越不满足于这种简单的还原论研究方法,一般系统论应运而生。一般系统论倡导使用数学模型对一般系统及其性质进行定量描述,试图用一系列新的观点和方法去描述系统的各种性质,特别是系统的动态特性。一般系统论的基本信条就是,所有类型的系统都存在一条普适的一般法则,不论这些系统的性质或者元素是什么。正如普朗克所述:“科学是内在的统一体,它被分解为单独的部门不是由于事物的本质,而是由于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理学到化学,生物学、人类学到社会科学的连续链条。”^[8]

20世纪60年代以后,一系列系统科学理论和方法逐渐涌现出来,如控制论、信息论、自动机理论、集合论、图和网络理论、博弈和决策理论、计算机模拟等。这些理论和方法的出现,一方面极大地推动了当代科学研究的发展,另一方面也促进了科学的融合,并直接导致了复杂性研究的兴起。

1.4 复杂性研究的兴起

复杂性并不是一个新问题,但对复杂性进行科学研究是近现代的事情。古代和近代科学家都将世界看作是复杂的,但他们坚信这种复杂的外表是由简单的规律支配的,科学研究的目的是要发现这种简单规律。普利高津曾经说过:“在本世纪之初,物理学家继续着经典研究项目的传统,

几乎一致承认宇宙的基本定律是决定性和可逆的。那些不适应这一过程的过程被认为是例外、仅仅是人为的产物,是因为我们的无知或对所涉及到的变量缺乏控制才由复杂性造成的”^[9]。

复杂性被用作简单性的否定词,因而被排除在科学研究的大门之外。科学研究在还原论思维模式的影响下,学科划分越来越细,学科门类也越来越多。学科划分在给人们呈现出一个更加细致的微观世界的同时,也使人们对世界整体性的认识更加模糊。

一般系统论试图在各个学科之间架起桥梁,寻求各学科的融合,但一般系统论在方法论上仍坚持将系统进行分解,认为只要认识清楚各子系统的性质及其相互作用,原系统的性质就可以得到,虽然认为系统并不是各子系统的简单相加。

20世纪60年代后,热力学第二定律和达尔文进化论思想日益与系统思想和理论相结合,并被用来解释从物理、生物到社会的广泛的问题。一般系统论获得快速发展,建立在系统思想基础上的新学科也不断涌现,耗散结构论、突变论、协同学等新学科逐渐脱离了还原论的系统思想和方法,引入了许多与复杂性有关的概念。与此同时,混沌学、分形学等直接研究复杂性的新学科更是获得突飞猛进的发展。

20世纪80年代,美国科学家明确提出了复杂性科学的概念。普利高津、哈肯、桑塔菲研究所都针对各自研究的问题对复杂性进行了论述,并倡导复杂性科学研究;混沌学则从庞卡莱和洛伦兹的微分方程工作中找到灵感,被进一步应用于更加广泛的领域;分形学也被广泛用来描述各种复杂性问题。近年来,各种复杂性名词也不断涌现,一个对广泛领域的复杂性问题进行科学研究的热潮正在迅速兴起。

2 复杂性与复杂性科学研究

2.1 复杂性的含义

到目前为止,许多人对复杂性概念进行了论述。1995年,美国麻省理工学院的塞思·劳伊得列举了31种复杂性定义,1997年霍根又进一步将复杂性定义扩充为45种以上,埃德蒙顿则对各种复杂性定义进行了分析和总结^[10]。目前对复杂性概念认识上的差异主要体现在本体论复杂性与认识论复杂性的不同上。本体论学者认为,复杂性是与人类认识主体无关的客观世界的本质属性;而认识论学者则认为复杂性来自主体对认识对象的有效理解与表达,与认识主体的认识能力、范围、相互交往的状态等因素有关^[11]。

实际上,客观世界是外在于认识个体而独立存在的有机联系的整体,任何认识个体都需将这个统一体进行割裂,形成各种认识系统,才能对它进行分析和研究。这种割裂有效地解决了人类认识能力的有限性与外部世界统一性之间的矛盾。简单和复杂是用来表达人类认识外部世界的一种感知。当人们很容易通过已有的符号或方法对认识对象加以解释或描述时,他就认为认识对象是简单的;反之,他就认为认识对象是复杂的,具有复杂性。

可见,复杂性是用来表达主体对认识对象的认识属性。但是,要揭示这种属性至少涉及3个方面,即认识对象、认识工具和认识主体。我们可以这样给复杂性下一个简单的定义:认识主体在使用认识工具去描述认识对象时,由于自身认识能力的局限性,感觉认识对象所具有的某些难以清

晰表达的属性。

在认识外部世界时,我们首先要区分被描述对象的复杂性与系统复杂性。郝柏林指出,“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”^[12]。系统是认识外部世界的重要概念,是人类对外部世界部分的、局部问题的一种摹写。但是,系统符号能够外在于它所描述的外部世界而独立运作,并因此出现我们很难解释或描述的复杂系统行为,即所谓的系统复杂性。许多人将系统复杂性看作是其描述对象的复杂性,甚至是真实世界的复杂性,实际上,系统复杂性来自于认识符号的运作,这种复杂性只能对外部世界起到一种隐喻的作用。

被描述对象的复杂性属于客观世界的复杂性,而系统复杂性只是一种描述符号的复杂性,属于认识世界的范畴,但它们都是外在于认识个体而独立存在的复杂性,因此可以将它们统称为客观复杂性。另外,任何认识主体的认识能力都是有限的,其具体的认识过程还要受到各种因素的影响,因此复杂性还与认识主体及其具体的认识过程有关。我们把这种由于认识主体认识能力或者认识环境因素限制所导致的复杂性,称为主观复杂性。一个全面的复杂性概念除了包含其所描述对象的固有属性外,还应该包括观察者的特征,这是因为对认识对象的描述不可避免地受到观察者的兴趣、能力、观点、信仰等影响。

2.2 复杂性研究

复杂性一直是科学研究面对的重要问题,甚至科学研究的目的就是要将复杂的外部世界转化为简单的易被人类认识的认识世界。复杂性是一个含义十分广泛的概念,科学研究不可能将人类面对的所有复杂性问题都纳入自己的研究范畴。

科学发展到 20 世纪末,不同领域的科学家都遇到了使用传统研究范式无法很好解释的复杂问题。例如:物理学家使用传统方法很难精确地描述宇宙现象、微粒子现象、空气运动、湍流等;系统学家也无法认识系统不同元素是如何相互作用产生不可还原的整体性质的,自组织又是如何导致整体秩序的。他们发现,使用非线性方法可以较好地解释一些现象,于是他们将研究工具从线性转到非线性。非线性是一个非常广泛的领域,也并不是所有的复杂现象都可以使用非线性方法来描述,于是有些科学家试图寻找与传统范式不同的更广泛的研究工具。他们将目前众多领域遇到的不同复杂性问题放在一起考虑,试图寻找统一的解释途径,并将所有这些问题的研究统称为复杂性研究^[13]。

复杂性研究将其研究对象定位在简单和随机现象之间,有点像威浮所说的有组织复杂性^[14]。埃德蒙顿认为,人们常常将复杂性定位在有序和无序中间,是由于人们的感受过滤掉了随机现象的复杂性。实际上,随机现象具有我们无法认识的复杂性,是所有这些现象中最复杂的^[10],只是人类目前的认识水平还无法对这种现象进行研究。

西蒙将 20 世纪的复杂性研究分为 3 个阶段。第一个阶段主要是第一次世界大战后,以整体论、完形论、创世进化等概念和术语为代表,具有强烈反还原论的色彩。第二个阶段出现在第二次世界大战后,以一般系统论、信息论、控制论和反馈等理论和概念为特征,主要强调反馈及平衡过程在维持系统稳定性方面的作用。现在的复杂性研究则更加

关注复杂性的产生、维持机理以及研究方法等^[15]。

2.3 复杂性研究的科学性

复杂性研究至今,人们已经提出众多与复杂性有关的理论、方法和技术名称,如复杂性理论、复杂性科学、复杂系统理论等。有人怀疑复杂性研究的科学性,也有人坚信复杂性研究就是科学研究,是科学研究的新范式,这就涉及复杂性研究的科学性问题。

一般认为,“科学是反映客观世界(自然界、社会和思维)的本质联系及其运动规律的知识体系”^[16]。科学知识体系应该具有客观性、真理性和系统性的特点。默顿曾经对 17 世纪以来的科学家行为作了大量的社会学研究,总结出了公有性、普遍性、无私利性和有组织的怀疑主义这 4 项符合科学精神的基本规范^[17]。萨加德也提出了评判科学与伪科学的 4 个标准^[18]。

众所周知,科学是寻找复杂世界的规律性的。许多学者认为,复杂性研究是科学研究,因为它发展了一种研究规律性的新方法。传统科学也研究世界的规律性,但它将复杂运动简化为简单运动,寻找它的简单因果关系,复杂性研究则引入了一种新方法,它寻找复杂结果中的简单原因,寻找导致复杂现象的简单规律^[19]。

有不少学者怀疑复杂性研究的科学性。霍根认为,目前的复杂性研究与 20 世纪 80 年代的混沌研究一样,它只能是昙花一现的气泡,很快就会破裂^[20]。也有学者指出,复杂性研究只是实践经验和理论探讨的集合体,是一种科学的尝试、一种观念的增长、一个被修饰的混合物^[21]。

科学是解决问题的一种方式,但它并不能解决人类面临的一切问题。人也并非都是纯理性地生活着,价值判断和主观偏好虽然背离了科学研究的精神,但它们都是人类生活的真实写照。复杂性研究不应该将人类面临的一切复杂性都纳入自己的研究范畴。复杂性研究也不应像一般语义学或一般系统论那样,早熟和轻率地企图建立包罗万象的构架,而应当注重特定的、可以检验的机制和概念。

事实上,不论是传统科学还是目前试图建立的复杂性科学,它们都是人类创建的描述外部世界的认识体系。传统科学被认为只能描述真实世界的简单问题,这个世界的许多问题,特别是复杂问题还没有被较好地揭示出来,而这正是当前复杂性研究的中心意旨所在。可以肯定的是,现在试图建立的复杂性科学也只能更好地描述这个世界,至于这个世界的真实情况,它只能成为人类认识的终极目标。人类探索真实世界的征程是永远没有尽头的。

参考文献 (Reference)

- [1]成思危.试论科学的融合[J].自然辩证法研究,1998(1):1~6
- [2][德]克劳斯·迈因策尔.复杂性中的思维[M].曾国屏译.北京:中央编译出版社,2000
- [3]钱兆华.科学究竟是什么[J].科学技术与辩证法,1999,16(4):35~38
- [4]马克思恩格斯选集[M].北京:人民出版社,1995.359~360
- [5]E·迈尔.生物学思想发展的历史[M].涂长晟等译.成都:四川教育出版社,1982
- [6]彭新武.复杂性思维与社会发展[M].北京:中国人民大学出版社,2003.18
- [7]路·冯·贝塔朗菲.普通系统论的历史和现状[J].国外社会科学,1978(2):66~74

(下转第 11 页)

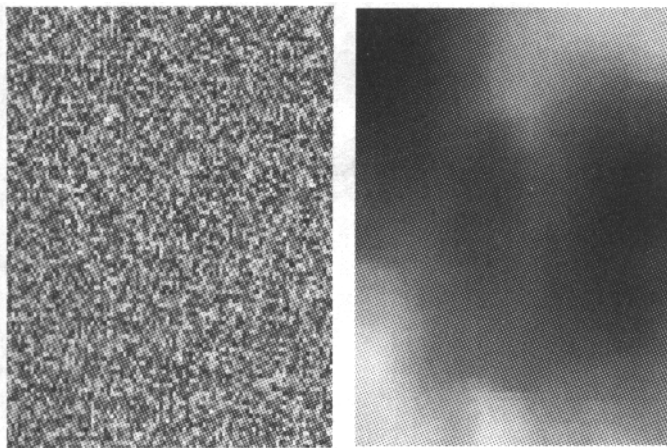


图4 一个颜色聚类的例子

作电位加上一定的权重形成突触前电位,然而实际上神经元的很多特性会直接影响到信号在轴突中的传递,直到轴突末梢上的反应才是其最终的引起递质释放的信号,所以由细胞体到突触前端的过程是一个动力学过程。其模型和动力学方程如下:

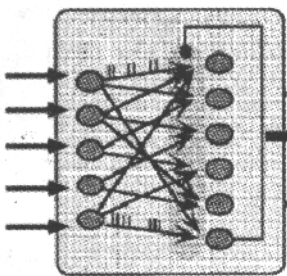


图5 11个神经元的动力学突触模型

在大脑芯片的研制中,最基本的声音识别模型是让两个 speaker 读同一个单词(如“Hot”),由于两个人发声的不同,得到的声波相关程度很低(图6,上图)。而经过一个由5+6个神经元组成的网络(图5),输出的信号相关程度则较高。说明这样一个网络传递声音信号时,能提取出描述该信号的某些最本质的特征,从而识别出不同人说同一个单词的信号(图6,下图)。

(上接第14页)

[8]夏禹龙等编著.科学学基础[M].北京:科学出版社,1983.5

[9]普利高津.探索复杂性[M].罗久里等译.成都:四川教育出版社,1986.序言

[10]B Edmonds.Syntactic Measures of Complexity [D].Doctoral Thesis,University of Manchester,UK,1999.参见.<http://citeseer.nj.nec.com/edmonds99syntactic.html>,2003-12-20

[11]吴彤.“复杂性”研究的若干哲学问题[J].自然辩证法研究,2000(1):6-10

[12]郝柏林.复杂性的刻画与“复杂性科学”[J].物理,2001(8):466-471

[13]S A Kauffman.The Origins of Order[M].Oxford University Press,1993

[14]W Weaver. Science and Complexity[J].American Scientist,1948,36:536-544

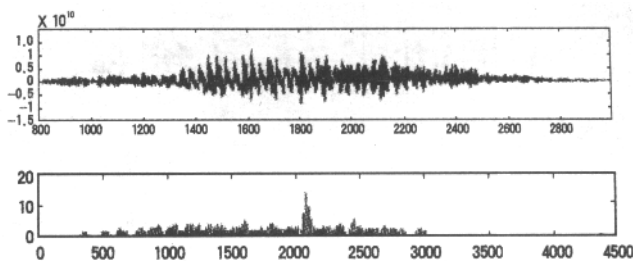


图6 经过神经网络的处理前后,两个不同人读同一个单词后声波的相关性分析

参考文献 (Reference)

- [1] Anderson P, Arrow K J & Pines D. The Economy as an Evolving Complex System [M]. Addison-Wesley, 1988
- [2] Fang Fukang, Chen Qinghua. The J structure in economic evolving process [J]. Journal of Systems Science and Complexity, 2003, 16(3): 327-338
- [3] Von Neumann J. The General and Logical Theory of Automata (1948) [A]. In: A. H. Taub, Ed., John von Neumann, Collected Works, Vol. 5: Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis[M]. Oxford University Press, 1963. 288-328
- [4] Costanza R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(15): 253-260
- [5] Aghion P, Howitt P. Endogenous Growth Theory [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1998
- [6] Macintosh Ann, Filby Ian, Kingston John. Knowledge management techniques: teaching and dissemination concepts [J]. International Journal of Human-Computer Studies, 1999, 51(3): 549-566
- [7] Tyndale Peter. A taxonomy of knowledge management software tools: origins and applications [J]. Evaluation and Program Planning, 2002, 25(2): 183-190
- [8] Kohonen T. Self-organizing maps, 2ed edition[M]. Springer, New York, 1997
- [9] Liaw Jim-Shih, Berger Theodore W. Dynamic synapse: a new concept of neural representation and computation [J]. Hippocampus, 1996, 6: 591
- [10] Liaw Jim-Shih, Berger Theodore W. Dynamic synapse: harnessing the computing power of synaptic dynamics [J]. Neurocomputing, 1999, 26: 199

(责任编辑 苏青)

[15]H A Simon.The Sciences of the Artificial [M]. 3rd edition.The MIT Press, Cambridge, 1996

[16]姜椿芳,梅益.自然辩证法百科全书[M].北京:中国大百科全书出版社,1994

[17]R Merton.The Normative Structure of Science [A]. The Sociology of Science [C]. Chicago:The University of Chicago Press,1973. 267-278

[18]P Thagard.Computational Philosophy of Science[M].Cambridge, MA:The MIT Press, 1988

[19]S E Phelan.What Is Complexity Science, Really?[J].Emergence, 3 (1):120-136

[20]J Horgan.From Complexity to Perplexity[J]. Scientific American, 1995, 272(6):74-79

[21]N Thrift.The Place of Complexity [J].Theory, Culture & Society, 1999, 16(3):31-69

(责任编辑 王宏章)