

ON COMPLEXITY

论复杂

郭方中 郭毅可 著



海大学出版社

论 复 杂

郭方中 郭毅可 著



上海大学出版社

· 上 海 ·

图书在版编目(CIP)数据

论复杂/郭方中,郭毅可著. —上海:上海大学出版社,2016.5

ISBN 978-7-5671-2239-0

I. ①论… II. ①郭… ②郭… III. ①系统复杂性
IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 072006 号

责任编辑 王悦生

封面设计 柯国富

技术编辑 章 斐

论 复 杂

郭方中 郭毅可 著

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.press.shu.edu.cn> 发行热线 021-66135112)

出版人:郭纯生

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷有限公司印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 12.5 字数 312 千

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5671-2239-0/N·005 定价:50.00 元

序

在世纪交替的当代,自然科学和社会科学开始融合,在科学文献中“复杂性”(complexity)成为一个愈来愈频繁出现的关键词。什么叫复杂性?这个概念是哪些经验事实的概括?它为什么能反映自然科学与社会科学走向融合的现状?这些问号推动作者踏上写作本书的征程。

从19世纪至今二百多年以来,自然科学经历了19世纪“机械唯物主义的自我满足”(维纳语),20世纪由爱因斯坦发端的迷惘和探索一直到世纪交替中出现的复杂性科学。作为新中国培养的科学技术工作者,作者饱受以理性为最高目标的欧美文化的熏陶,接受了来自同属欧美文化的马克思主义世界观的教育,又在西方科学、文化界工作、生活多年,在亲身经历激烈的东西方文明的碰撞过程中,深深体验到复杂性科学思路的威力,因此试图从科学技术的视角来阐述我们对复杂性的理解。因此,本书其实是作者开始学习复杂性理论的心得笔记,其中也有一点自己试用这种思路的体会。

关于复杂性理论的意义,有不同说法,有的称之为“科学之伞”,有的称为“科学之纬”。各种说法的共同点是它具有涵盖自然科学和社会科学的功能。如果把控制论、信息论和系统论概括成“横断科学”,那么复杂性科学的“横断”覆盖面更宽。因此作者在

理解复杂性的理论时,难免会从哲学角度做些联想或归纳。作者都从事各自技术领域的工作,对自然科学理论,尤其是对哲学理解得很差,从这样的基础出发来学习这样宽且深的理论而且要写出自己的见解来,肯定会有浮浅和误解之处。不过复杂性科学既然无处不在,那么从它在各个领域中的表现入手,探索它的内容和实质就可能是一个比较扎实的入门之道。所以本书不从现有的理论出发来进行演绎,而从复杂性在现实中的表象出发来做些力所能及的归纳(induction)和联想(abduction),虽然在归纳和联想时,仍然摆脱不了已成传统的经典概念和思路。

为了让本书尽量为更多的读者接受,作者理应尽可能用类比和直觉的方法通过常见的具体实例来解释各种涉及的概念和结论,这就要求作者自己对它们要有深刻的理解,但本书的作者还达不到这个水平,有一些问题只好用加注的方法引入一些理论上的推导,以表明其逻辑依据。在社会科学方面,作者是门外汉,但为了说明复杂性科学的确具有融合自然科学与社会科学的功能,我们还是尽力把自己的一些粗浅体会贡献出来与读者分享。

耗散结构理论的奠基者普里戈金在他的《存在与演化》中文译本的序言中指出“西方科学向来是强调实体(即原子、基本粒子、生物分子等),而中国的自然法则以‘关系’为基础,因而是以关于物理世界的更为‘有组织的’观点为基础”,他还指出我们需要“一个新的综合,一个新的归纳,它将把强调实验及定量表述的西方传统和以自发的自组织世界这一观点为中心的中国传统结合起来”。作者学习复杂性科学就是在这个启发的鼓励下开始的。希望这个尝试能在东西方文明交融的过程中起一点极微薄的作用。

目 录

绪论	1
第 1 章 人在其中的世界	11
1.1 天高、地厚、人杰	11
1.1.1 天-地-人系统	11
1.1.2 万物的谱与其中的序	14
1.1.3 不可逆的流	16
1.1.4 有序无序之间的复杂	23
1.1.5 个体相互间的热作用	26
1.1.6 生生不息的生命系统	36
1.2 世界的复杂性	39
1.2.1 从还原论、对称美到复杂性	39
1.2.2 复杂性	52
1.2.3 “万物与我为一”	57
1.3 复杂系统的内部参数——时间	59
1.3.1 系统的时空结构	59
1.3.2 热力学熵	64
1.4 相关时空	68
1.5 天地之间的人	73
结束语	83

第 2 章 生命系统的自组织	87
2.1 从无序向有序过渡的时空特征	87
2.1.1 无序中的序——随机行走的时空特征	87
2.1.2 复杂系统的时空结构	97
2.2 多样性在自组织中的作用	111
2.2.1 空间波	111
2.2.2 多样性与网络连通度	116
2.2.3 复杂系统的随机模型	120
2.3 基因的作用	123
2.4 处于混沌边缘的生命	133
2.4.1 混沌边缘上的生理现象	134
2.4.2 时间序列导致的空间形态	141
2.4.3 神经网络	144
2.4.4 处于混沌边缘的生命	148
2.5 进化	157
2.5.1 进化过程的因果网络	157
2.5.2 突变在进化中的作用	161
2.5.3 复杂自适应系统	164
2.6 自组织和道	168
结束语	178
 第 3 章 复杂系统的信息流	 182
3.1 离开还原论——从状态空间到流空间	182
3.1.1 当代热力学的信息论	182
3.1.2 势与流	189
3.1.3 用电路描述随机行走	195
3.2 跨越局部熵垒的自激振荡	200
3.2.1 热力学循环的热动力学实质	201

3.2.2	流时变率(易度)相似分析	208
3.3	思维过程的系统结构	228
3.3.1	认识过程的基本信息流程	228
3.3.2	由经验到经验理性	235
3.3.3	人的精神生活——意识	246
3.4	社会网络的自组织	257
3.4.1	人间博弈的流空间	257
3.4.2	嵌在自然与社会中的人	263
3.4.3	意识的传播	272
3.5	从理性主义回到经验理性	277
3.5.1	理性的进化	277
3.5.2	以经验理性方法建立系统哲学——“摸着 石头过河”	280
	结束语	286

第4章	生命的模式动力学	291
4.1	模式——从象到形的过渡	291
4.1.1	复杂系统的自组织历程	291
4.1.2	自组织的情景——由象到形	295
4.1.3	形的耦合	298
4.2	生命模式	303
4.2.1	模式生命条件的辨识	303
4.2.2	归一化与重整化	307
4.3	生命历程的数学描述	311
4.3.1	子模式相关度 W_j	311
4.3.2	模式和子模式的时空尺度	313
4.4	模式动力学	315
4.5	意识模式	320
4.5.1	思维的高阶和低阶回路	320

4.5.2 记忆的形成	324
4.5.3 思维的模式识别模型	325
4.5.4 象思维模拟	329
结束语	331

第5章 道法自然

5.1 “天下同归而殊途”	334
5.2 穷则变,变则通,通则久	342
5.2.1 与复杂性观点相通的中庸之道	343
5.2.2 “不可为典要,唯变所适”	348
5.2.3 柔弱胜刚强	357
5.2.4 “天之大德曰生”,生生不息	359
5.3 沟通天地的人	362
5.3.1 人性中的情和理	362
5.3.2 返璞归真,人间正气	366
5.3.3 天地间的信息流——“气”	372
5.3.4 为天地立心的人	376
5.4 摸着石头过河——《中庸》的隐喻	381
结束语	387

绪 论

吾生也有涯，而知也无涯。以有涯逐无涯，殆矣！

——庄子

自 17 世纪以来，近代科学的主流趋势一直是追求自然界的最基本构成物——物质，这是希腊文明自古以来的传统。1656 年伽利略把钟摆理想化成无阻尼的运动就是一个把自然现象数学化的实例，沿着这种思路，500 年来科学技术获得了一系列预测和控制自然现象的丰硕成果。笛卡儿、哥白尼、牛顿、达尔文这一串名字代表着经典理论的辉煌成就。他们创立了一个由数学化、量化、可通约性、可重复性等一系列概念组织起来的科学评估系统，成为经典的实证科学传统。“科学”概念也就是这个探索过程和成果的综合。在“物理作用不会因作用的时间和地点的改变而不同”这个前提假设的基础上，产生了动量与能量守恒定律，以至于“科学”一词似乎成了“真理”的同义词，哪一个阶级、哪一种文明都不得不承认。维纳在文献[0.1]中是这样评价的：“19 世纪物理学所处形势的主要特征就是物质这个概念远比今天更有势力；唯物论这个名词已经差不多变成机械论的不严格的同义词了”。19 世纪的确是理性主义的时代。物理学在尺寸最大的宇宙和尺寸最小的基本粒子上真不知花费了多少精力，对人间周围的事情却研究得不够深。牛顿力学的辉煌成就促进形成了机械唯物论世界观，它统治 17~19 世纪的自然科学思想，这种观点否认偶然性，试图用确定论来解释一切，而各领域的技术需求也同时使自然科学逐渐走上按领

域分学科进行分析研究的道路。在这种世界观指导下,各领域中涌现了大量定理或定律,体现了经典理论的巨大发展。从 1660 年牛顿提出他的三个定律以来,在 17 世纪末直到 18 世纪这个工业文明的时代里,人们逐渐感到以前世界上所有那么多混乱纷杂的事情,借科学之助,都可以理清头绪了,连天上的星星何时出现都显得有规律起来。于是相信自然界就是一台牛顿定律所规定好了的钟(注意,17 世纪是钟表时代)。在那个时代,人们视野所及的事物都可以把它们还原成组成这些事物的原子、分子,通过三个牛顿定律就都可解释得通,于是还原论在 19 世纪自然科学领域中占了主要地位。在这理性主义思潮的影响下,亚当·斯密在《国富论》中提出市场维持平衡是这只“看不见”的手的经济学理论。这也是一个属于牛顿观点的科学理论,它的基本假设是利润递减原理,这是使市场恢复到平衡态的负反馈关系。但在这 500 年里,科学本身其实也在不断演化中,它像一把伞,既罩着真理,也罩着误解、曲解和怀疑。各种学说都用这把伞遮风挡雨,这把伞同时也常常挡住视线,使人误走弯路,甚至摔跤。譬如一直到 20 世纪的二三十年代,生命现象仍然只被解释成物理-化学现象:在分子层次上用化学作用力来阐明,物理作用则主要体现于能量、动量与质量的平衡上。这些已经确立下来的经典定律和学说可以用一个思路来概括:任何层次的现象都可以通过更低层次的各个组成部分的性质和相互作用即还原到原子分子来解释,这就是现代自然科学界的传统思路——还原论。不过,当时牛顿的永恒宇宙观点就已经受到热力学研究的严峻挑战,1816 年卡诺提出宇宙钟会逐渐停下来,克劳修斯提出的热力学第二定律更明确指出,宇宙将愈来愈无序。在蒸汽机时代的力学视野里,看来前景似乎的确如此。然而,如果观察自然界,欣欣向荣的有序化景象层出不穷,从宇宙苍穹间的星宿、银河,到人类周围的冰晶、雪花,千姿百态的动物、植物以及人类本身自远古以来所发展积淀下来的文化、文明,语

言,直至芸芸众生所从事的经济活动,都是活生生的实例。在当代,纳什(J. Nash)^[0.2]指出,按照宇宙学家所指出的,如果人类周围的物理宇宙现状完全取决于大爆炸时的初始条件,则为了使宇宙按热力学第二定律所认定的随机行走规律发展到当前的这个样子,大爆炸时的初始条件微调精度允许误差需达到 10^{-n} ,其中指数 n 的绝对值是123,而此值已超过宇宙中所有粒子的总和。同样令人费解的是,如果地球上生物物种的多样性的演化只是随机变异和自然选择的结果,那么发展到今天的物种现状所需的时间已远超过地球本身的年龄。所以,在当代达尔文的自然选择观点受到质疑,愈是高级的器官,愈不像是仅仅依靠随机变异所得到的后果。

总之,正如霍金在文献[0.3, 0.4]中指出的:“那时大多数学者相信有一个客观的实在(realism),观察者的感知和科学思维直接传递物质世界的信息。经典科学相信存在一个外部世界,这个世界是有限的,它的一切性质均与感知它的观察者无关。”这种满足于相信物质就是一切的观念还在20世纪就受到一系列新发现的冲击,其中最重要的就是相对论和量子理论。这两个冲击大大促进了电子通信技术、核技术和计算机技术的飞速发展,使人类社会进入了信息时代。

在这个背景下20世纪中期以来,原来以分析哲学为特色的西方哲学中出现了一种新的趋势,综合哲学开始发生和发展。在新思路的指导下,对原来的经典定理、定律和学说进行了一系列综合和探索。在许多要点中,第一个突出的特点是不再走由定律出发的演绎之路,而是从经验事实出发,从现象出发,也就是从事物之间的关系出发。研究的对象不再只是代表物质的基本粒子;物质的能量在20世纪曾成为研究焦点,但到下半叶,物质运动的信息流转移成为研究焦点。第二个特点是经典理论所用的确定性与当代理论的非确定性方法相辅相成地应用,因为只有这样才能处理

社会高度发展所形成的种种巨大而复杂的系统。这一趋势不仅已在现当代科学中,尤其在应用数学中显露出来,而且也是系统科学和当代逻辑科学中引人注目的发展趋势。在此背景下,“直觉”这个与逻辑无关的因素在科学研究中的显得愈来愈重要。

20 世纪 30 年代,始于柯尔莫哥洛夫(A. N. Kolmogorov),成形于诺依曼(J. V. Neuman)的复杂论(Complexity Theory)开始出现,在以后几十年间,它吸纳了仙农(C. Shanon)的信息论、贝达朗非(L. V. Bertalanfy)的系统论、维纳(N. Wiener)的控制论以及普里戈金(I. Prigogine)的非线性动力学的成果,迅速地发展起来了。在这些横断学科研究成就的基础上,人们开始觉察到,“实在”概念的形成很有可能与感知者的头脑有关。那么人们所认识的世界就不仅是人们利用他所感知的数据作为原料构建起来的,而且是由头脑的陈述功能结构来成形(赋予一个空间形象,即赋形)的。譬如,量子理论中的“实在”就和经典理论中的“实在”完全不同。在量子理论的框架里,粒子既无固定的位置也无一定的速度,只决定于观察者量到哪里就是那里,量到哪个速度就是那个速度。这样,量子理论也就涉及人们对“过去”的理解。在经典物理中,认为“过去”是已发生事件的时序,因而是有限的,而未来仍在前面是无限的。但量子理论认为过去和未来一样,都是无限的,只不过是一张概率谱图的两个走向。这样一来,持经典理论观点和持量子理论观点的观察者所感知的“实在”显然是不同的。这种观点打开了理性主义统治下封闭的还原论思路和机械唯物主义世界观的视野,自 20 世纪中叶以来,不论在物质或精神方面人类文明都有飞速的发展。

因此,在当代的科学概念中,没有独立于理论之外的“实在”,而只有相关于某一理论的模拟“实在”的概念(model-dependent realism),它是模型(一般体现为数学形式)形式以及一组将模型中的各参数与观察结果联系起来的程序。按照这种思路,问模型是

否真实是无意义的,只能问它与观察是否相符。如果不同模型都与实际相符,只要用起来方便,无论用哪一个都可以。在今天的大数据时代,以数据驱动(data driven)的科学研究方法论,就是在这样的思想下发展出来的。

20 世纪 80 年代也许可以算是文明史的一个转折点。在此之前的 70 年代,运动中存在不变性这个前提曾是物理学家的指路灯,利用对称、平衡、不变性等这些理性概念建立了想给宇宙万物一个统一理论解释的标准模型(gauge theory),在这类模型中时间变量隐退了。但紧接着在其后的十年内,人们的注意力就转向对称破损、混沌等这些复杂现象,而不变性则退居次要位置;于是时间变量又重新出现,成为重要的变量,这个自希腊古典哲学以来就出现的争论现在重新燃起。1985 年美国在重要核科学研究基地之一,Los Alamos 国家实验室的基础上,新建了以复杂性科学为研究对象的 Santa-Fe 研究所(SFI)。它的研究领域遍及经济、生物、环境生态、社会演化、科技生态等方面。显然,这些都是经济全球化背景下有关国家和人类命运的重大课题。M. Mitchell 在文献[0.5]中细述了 Santa-Fe 研究所创建二十余年以来的研究思路发展历程,他在第八章用“等待卡诺”这四字标题形象地概括了他们致力于研究生命起源、经济理论和演化(包括海洋生物的、人类的、社会的)等复杂系统的期望理论目标:把热力学第二定律发展成为理论物理的基本原理,使理论物理的两个分支——热力学和动力学——建立在统一的基础上,而这也正是普里戈金一直追求的目标^[0.6]。1989 年以柏林墙倒塌为标志事件的全球化浪潮则使地球变得愈来愈平坦,正如 T. Friedman 在文献[0.1]的标题上所点明,他指出,地球自生成之日起,物理演化、生物演化及人类文明演化的交织至今,已经使人类不得不面对极为复杂的生态、政治、经济、社会问题的挑战阶段,地球成为政治、文化、国家安全、金融、环保、科技交互关联的空间。为了解决这个复杂系统中的问题,显

然,自然科学和社会科学必须有共同的基础。把自然科学和工程技术领域飞速发展中日益成熟的经验理性方法自觉地融合到社会科学领域中,很自然地成了首选思路,经济学和生态学于是成了物理学家深入涉足的学科。

几粒沙子只能是互不相关的一摊散沙,而大量沙子却能成为一个具有一定锥度的沙堆。飘落的雪花何等温柔,但冰山上堆积起来的积雪一旦坍落,却会形成凶猛的雪崩。清澈的小溪中,水流形成的旋涡处处可见,但一旦把水舀上来,旋涡就消失了。可见,不论是自然界或是人世间,单独的个体行为与大量同样个体的集群行为是截然不同的。

组成系统的众多参与个体之间的自组织行为使系统成为复杂系统,通过相互组合,它可以发展得很快。结晶、雪崩、龙卷风都是自组织系统的实例。它们有一定的随机性,但仍可识别其结构系列,譬如虽然每片雪花都各不相同,但人人皆知,那都是雪花。而且比起大量无结构约束条件的系统来,在同样环境条件下,有结构约束的系统要受惠些。以结晶过程为例,在容器里受约束的晶体总要比在不受约束的环境条件下成长的晶体发育得好。复杂性虽然会限制形态的多样性,却加速其演化过程。

经济系统和生态系统是人们最常见的宏观系统,它们有众多个体参者,它们的集群特性截然不同于参与个体的行为,两者之间有本质的不同。从生物界、经济界等复杂系统的实例可以看出,复杂系统演化的条件是有大量相互作用的个体,系统内的相互联系必须足够复杂以支持正负反馈网络的建立,这样才能提供足够的能量和信息交换,如此方能使系统具有自调节功能,使系统能自适应于环境的变化。

系统复杂与否取决于观察者,因为层次之间的变异(emergence)是由观察者提出的假设,它是观察者构建实际过程模型时的思维产物。所以复杂系统强调观察者本身是系统的参与者,从此研究

复杂系统的目的不能再是控制或预测某种现象了。首先,由于系统的行为对初始条件十分敏感,使控制和预测变得十分困难。此外,复杂系统的变异行为也不可能根据其组成部分的特性来预先确定。其次,这种变异的实质机理只可能通过更高层次的概念来解释和掌握,而观察者对此却无法规定也无法预设。所以,复杂性科学和以控制和预测为目标的传统科学根本上不同。参照文献[0.10]的观点,似乎可以说复杂性科学研究的目的之一是通过经验梳理的方法,理解自然界和人世间存在着的一切宏观系统,建立真实复杂系统与人工复杂系统之间转换界面或桥梁。

由于认定在世纪交替的当代,任何宏观事物,不论它是自然现象或社会现象,也不论在现代科学体系中它原本属于哪一个领域,是物质运动抑或是精神活动,都是全球一体化过程的种种表象,每个人的世界观都是在认识和适应这一切表象的过程中建立起来的,外来的灌输往往造成假象或误导。人们熟知的真理、定律等都是根据在一定的空间局域内而且在一定的时段内发生的事实经过人的归纳和推理而得的,而人的认识则是代代传承,不断进化的,所以它们并非永恒。所以本书第1章的讨论从人活在天地之间这个经验事实出发,通过人人熟知的发生在身边的不可逆现象,揭示人世间各种宏观事物的复杂性。在这个基础上,将经典热力学所惯用的状态空间(state space)转为流空间(flux space),把系统中的不可逆弛豫时间和系统的本征时空特征密切联系起来,通过人对这个事实的认识过程展现科学的进化。

复杂系统既引进了时间变量,它就必须面对信息的统计性,从而使复杂系统不再具有确定性的解。非线性使系统的时空结构不再连续可积,而断裂成为若干层次,在层次与层次之间只能引进“变异”这样的概念来连接。这种变异只能由观察者提出,这样复杂系统就必定包括观察者在内。观察者的思维势必介入到复杂系统中来,观察者在系统之外的经典思维模型必须变成观察者在系

统之内的复杂思维模型。这样一来,主观与客观、精神与物质,谁先谁后的哲学答案似乎不可能那么截然分明,欧美哲学体系的主客观分离和中华哲学体系的天人合一前提之间的分歧并非不可沟通,复杂论可能成为它们彼此间相互融通的桥梁。这样,儒道学说中强调人立于天地之间,参天地、赞化育的命题就和启蒙 600 年以来世界文明的丰富成果相通而得到最有力的支持。因为它给出了一个从经验上看来比较容易接受的哲学答案。第 2 章是 SFI 的研究工作综述^[0.7, 0.5],它以宏观世界(包括生物界和人间)各种时空结构的自组织过程实例来阐明复杂系统中多样性和遗传基因的作用,并且在阐述过程中,引入了网络思路和模型。在此基础上,3 000 年前老子在《道德经》中“道可道,非常道”的道就是众参与者以冗余模式自组织成复杂系统的象思维概括,以泛流于大地向低处汇集的水流来作为道的隐喻,因此也就容易理解生命是处于混沌边缘的自组织、自适应、自复制的复杂系统。

自然科学与社会科学的融合和技术科学的发展要求对所有的宏观过程有统一的理论基础,这样才能对各种现象做相互一致的描述。本书第 3 章对复杂性科学中的势、流和流空间的概念做了不可逆热力学的理论阐释。不可逆热力学是 20 世纪中建立起来的物理新学科,直到 1960 年前后才基本成形,关于它的重要性,只需提醒一句就够了:在自然界中所有的宏观过程都是不可逆的。把网络作为场论和不可逆热力学的工程描述方法,可能是把热力学和动力学结合起来的桥梁。在实现这个思路的历程中,本书力图在沟通自然科学研究方法与社会科学研究方法的途径上做些尝试。重点放在用信息流观点研究思维、意识、经济等非物质系统的方法上。它的主要参考文献是^[0.8, 0.9, 0.12]。通过这种分析,应当认为热力学第二定律不仅概括了宇宙中的能量转换过程,而且可以概括人类创造文明的所有活动。第 4 章关于形态的讨论重新回到第 1 章提出的时空结构问题上。自然界的千姿百态,人世