

清华大学科技哲学文丛



QINGHUADAXUEKEJIZHEXUEWENCONG

复杂性的科学 哲学探究

吴彤 著

内蒙古人民出版社

清华大学科技



QINGHUADAXUEKEJIZHIXUEWENCONG

复杂性的科学 哲学探究

吴彤 著

内蒙古人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

复杂性的科学哲学探究/吴彤著. —呼和浩特:内蒙古人民出版社, 2007. 12

(清华大学科技哲学文丛)

ISBN 978-7-204-09357-1

I. 复… II. 吴… III. 科学哲学—研究 IV. N02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194251 号

复杂性的科学哲学探究

作 者	吴 彤
责任编辑	常 青
出版发行	内蒙古人民出版社
地 址	呼和浩特市新城区新华大街祥泰大厦
印 刷	内蒙古德轩印务有限责任公司
开 本	880×1230 1/32
印 张	9.375
字 数	200 千
版 次	2008 年 1 月第 1 版
印 次	2008 年 1 月第 1 次印刷
印 数	1—3000 册
书 号	ISBN 978-7-204-09357-1/B·75
定 价	22.00 元

如发现印装质量问题,请与我社联系。联系电话:(0471)4971562 4971659

题 记

“我相信，21世纪将是复杂性的世纪。”

——史蒂芬·霍金

复杂性理论是“科学的下一个主要推动力”。

——彼特·卡罗瑟斯

目 录

引言	1
一、复杂性：正被解读和正在发生的革命	1
二、到了在哲学上研究复杂性概念的时候了	7
三、本书结构安排	13
第一章 复杂性的概念论研究	16
一、自然语言中的复杂性	17
二、自然科学和系统科学中确切的复杂性概念	23
三、对科尔莫哥洛夫复杂性概念以及随机性的种种误读	34
四、其他复杂性概念研究境况	56
第二章 复杂性的实在论研究	68
一、复杂性概念所指称的实在	68
二、复杂实在的测度与理论评价	72
三、目前复杂性研究中可以得出的关于实在论的观点	77
四、复杂实在的各种属性	79
五、实在中的复杂性与简单性	130
六、复杂实在演化研究仍然存在的问题	140
第三章 复杂性的认识论研究	143
一、一般人类认识活动的认识复杂性	143
二、基于主体间性的认识复杂性	159

三、认识复杂性研究的问题	174
第四章 复杂性的方法论研究	178
一、复杂性研究的方法论意蕴	178
二、测度复杂性程度、掌控复杂性的方法	182
三、建基于实验或者历史案例的实践隐喻方法	186
四、基于行动而不是基于理解的试错模拟实践方法	205
五、基于形象的概念绘图映射(concept mapping, 简称 CM)	
方法	214
六、复杂性研究方法的研究程序和实践特征	219
第五章 复杂性的科学哲学观	228
一、复杂性的说明与预测	228
二、科学知识的地方性特性: 复杂性研究提供的支持	239
三、多样性和反对现代性叙事: 后现代的复杂性研究	248
第六章 复杂性的社会论研究	257
一、SSK 和科学实践研究意义的复杂性的社会探索历程	
.....	257
二、复杂性与社会思潮	266
三、复杂性与社会治理和管理	273
四、复杂性与国际政治	280
主要参考文献	287
后 记	296

引 言

一、复杂性:正被解读和正在发生的革命

正如每个世纪都有自己的技术特征一样,每个世纪也都有自己的思想特征。例如:19 世纪在技术上被称为电气世纪,在思想特征上它则被德国著名物理学家波尔兹曼(L. E. Boltzmann, 1844~1906)称为“机械自然观”的世纪。20 世纪在技术上是一个电子的信息的世纪,而它的思想特征是什么呢?

20 世纪发生过多科学理论、方法和思想方面的革命,例如,20 世纪初发生的相对论和量子力学取代牛顿经典科学的革命就是其中最为著名的一次革命。然而,在这个世纪即将结束时,我们发现将把我们带入 21 世纪的最重要的思想革命却是关于复杂性思想的革命。虽然这场革命还未完结,还在不断深化,但是建立起来的关于复杂性的新认识的思想也许是 20 世纪区别于以往世纪的最重要的思想特征,也许是 20 世纪的人类留给 21 世纪的最重要的思想遗产。

如果从这个思想革命的源头追溯,可以把 20 世纪 40~50 年代贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy, 1901~1972)、维纳(N. Wiener, 1894~1964)、申农(C. E. Shannon, 1916~2001)等人创立的一般系统论(general systems theory)、控制论(cybernetics)、信息论(information theory)等理论看做复杂性思想发展的 20 世纪先驱,而把普里戈金(I. Prigogine, 1917~2003)、哈肯(H. Haken, 1927~)、托姆(R. Tom, 1923~)、艾根(M. Eigen, 1927~)等人创立的耗散结构论(1969 年)、协同学(1969~1971 年)、突变论(1972 年)和超循环论(1971 年)看做这场思想革命大军中探索复杂性的开路先锋,那么洛伦兹(E. N. Lorenz, 1917~)、约克(James A. Yorke)、梅(May)、费根鲍姆(M. Feigenbaum, 1944~)、曼德布罗特(B. B. Mandelbrot, 1924~)等人创立的混沌理论(70~80 年代)和分形理论(70~80 年代)则是复杂性系统思想革命的主力军之一;大军开路,随之而来的就是对于复杂系统的研究、模拟和探索。于是,复杂系统(Complex Systems, CS)、复杂适应系统(Complex Adaptive Systems, CAS)、开放的复杂巨系统(Open Complex Giant Systems, OCGS)研究、自组织临界性(Self-Organized Criticality, SOC, 主要创始人 P. Bak, 1948~2002)以及人工生命的研究如雨后春笋般纷纷开始,一时间形成了复杂性研究百花齐放的局面。

20 世纪 40~50 年代产生的一般系统论、控制论、信息论等理论首先打破了机械的线性思维观点,建立了不同的因素相互作用的影响绝不是简单相加的观点,对信息内含的多重意义的渐次发现、对反馈作用的新认识和整体大于

部分之和的思想已经真正深入人心,在 2000 年前亚里士多德就说过此话。

而 20 世纪 70~80 年代产生的耗散结构论、协同学、突变论和超循环论则探索了复杂性产生的环境条件、动力、途径和耦合等问题。这些理论表明,在一定条件下,体系内通过各个要素相互竞争并相互合作,能够从无序和混乱中自发、自主地产生秩序;秩序一旦形成,不同层次的演化便超循环地相互缠绕起来,又加强了秩序本身;通过渐进与突跃,通过不同层次的相互嵌套,复杂性从简单中产生出来,而秩序也从混乱中诞生出来。科学家们发现了越来越多的复杂性特性。例如,人们可以把复杂性做如下比喻:复杂性是一只蝴蝶在巴西扇动翅膀,一个月后可能在美国某州引起龙卷风的所谓“蝴蝶效应”;复杂性是在不同度量尺度下海岸线的长度不同的特性;复杂性也是整体新的特性无法归结组成整体的部分的突现属性;复杂性还是宏观模式与微观子系统的相互作用;复杂性更是一种非整数维数(即所谓分形维数)和自相似的无穷嵌套;如此等等。复杂性于是开始与简单性一样进入思维领域,也日渐成为日常语言的一部分。有许多专栏作者、记者也加入到传播、阐释复杂性思想的行列,詹姆斯·格莱克的《混沌:开创新科学》成了世界性畅销书,沃尔德罗普的《复杂》也为中国人所了解。写作关于复杂性思想者心路历程的他们就像“部落的巫师”,使得艰深的复杂性走下自然科学和工程技术的圣坛,带着一种美丽的神秘而为世人所了解、欣赏。

在这场复杂性思想的革命中,使得复杂性能够被剖析,并且成为振荡人心的重要事件的,首推从不同角度但殊途

同归的一批发现浑沌现象和分形特性的科学家,他们可以排列出一大串名字。如在数学上发现简单的确定性迭代方程在一定条件下具有内在不确定性——即“周期3则乱七八糟(chaos)”的著名数学家约克和他的华裔学生李天岩,通过马蹄形迭代产生复杂性的数学家梅,在气象研究方面发现复杂性系统对初值变化的极端敏感性的“蝴蝶效应”的气象学家洛伦兹,通过研究英国海岸线有多长而找到用“分形”概念和方法描述非规则事物的数学家曼德布洛特,通过倍周期方式找到发生浑沌的普适常数的物理学家费根鲍姆,等等。

其次,在这场复杂性的革命中,做出主要贡献的科学家和思想家,也同样值得我们尊敬、追随和宣传。在其中,美国圣菲研究所的一批又一批的科学家发挥了重要作用和影响。例如,霍兰等人提出“涌现”(emergence)概念,提出了适应性造就复杂性的思想;阿瑟等人研究了经济学中关于路径依赖(path - dependence)思想、报酬递增思想的研究,创造了新的复杂性经济学框架;圣菲研究所关于元胞自动机(cellular automata)和人工生命(artificial life)的探索,创造了新的计算机模拟方法,打开了复杂性研究的新视野等等。总之,复杂性思想的提出是一种会聚的过程,就像百川归海一样。有两个图示可以说明这种会聚。第一,涌现概念的提出,实际上来自于多种学科(图0-1)。第二个例子是复杂性学科研究的会聚,它们通常来自于四个方面:系统科学(系统科学传统和自组织理论簇,其中也有以钱学森为代表的中国科学界的贡献);非线性科学;数学和计算机科学(博弈论和计算复杂性理论);遗传算法和人工生命研究(图0-2)。

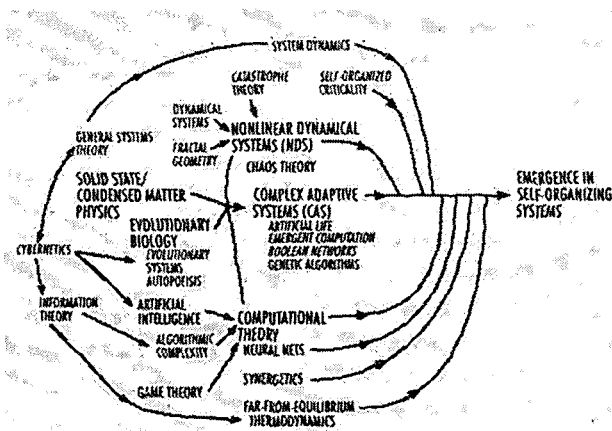


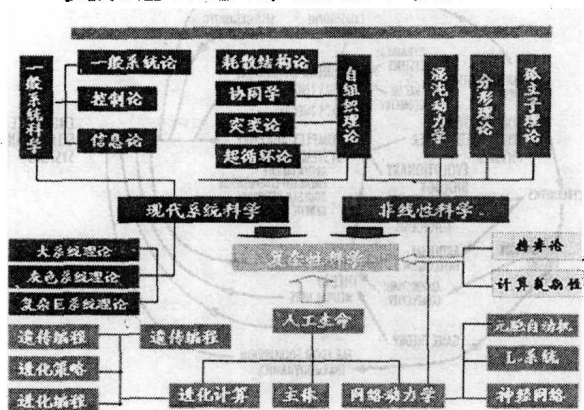
图 0-1 复杂性的涌现概念的数学和科学之根^①

20 世纪 70 年代以前,人们总认为,简单系统行为一定简单,复杂行为一定意味着复杂原因,而人们词汇中的复杂常常是认识能力不足的代名词或避难所。不是吗?大家想想,我们不是常说某某事情太复杂了,从而至少给现在不去探索它找到了一种托辞。

现在一切全变了,从 20 世纪 80 年代起到现在,在这 20 年间,物理学家、数学家、生物学家和天文学家创立了另外一套思想。简单系统能够产生出复杂行为,复杂系统也能够产生简单行为。事物通过分层、分岔和分支,然后被某种发展所锁定,然后再被放大,于是一种原来谁也没有当回事

^① Jeffrey Goldstein, *Emergence as a Construct: History and Issues*, Emergence, 1999, Vol. 1, Issue. 1, pp. 49~72. 该示意图是该文献的图 2,表达了在自组织系统中的涌现概念来源。

复杂性理论研究的基本框架

图0-2 复杂性学科研究的会聚^①

儿的小事演化成为趋势、时尚，演化成为不可一世的状态。非线性的发展或演化过程就是这样神奇而不可预测。想想我们自己的发展，我们每一个人都可以在自己身上找到分岔、混沌发展、不可预测的影子。一个孩子儿时梦想成为科学家，成人后却成为足球先生；一个贫穷至极的人，可以成为富翁；一个富翁也可能顷刻之间成为乞丐。这样的例子不是比比皆是吗？人们发现，问题就出在时间之箭上，如果一个政府今天设法减少了出生率，那么10年以后就会影响到学校的大小和多少，20年以后就会影响到国家的劳动力，30年以后就会影响到下一代的人口，60年以后就会影响到退休的人数，甚至社会的结构。决定论中也存在内在的貌

^① 该图引自中国科学院地理所孙战利博士论文《基于元胞自动机的地理时空动态模拟研究》答辩的PPT，引用时有所改动和增加。

似随机的行为,这就是演化复杂性的一种特定属性。初始状态失之毫厘,最终状态就会谬以千里。初始状态微小的差别随系统的演化越变越大。极其简单的动力规律能够导致极其复杂的行为表现,譬如无数细小的碎片所产生的整体美感,或无数翻沫所形成的汹涌的河流。羊齿草,喀斯特地貌,地老天荒的宇宙,纳米级的微小世界,还有属于生命的血管、心脏和大自然的河流、闪电,它们就是这样演化成为复杂的样态的。而运用计算机科学技术和分形理论的方法,今天的科学家已可以模拟出这些复杂事物的样态。

事实上,近 20 年来,混沌理论和分形理论已经动摇了传统经典科学的根基,复杂性的探索使人们认识到,这个世界并不稳定,它充满了解构和结构化的过程,它一面发散,一面内聚,它通过复杂系统自我组织的内聚性进化,使得整个世界发生动荡,产生着令人震惊的事情。

由此看来,我们可以这样说,世界是可以预测的,又是不可预测的,复杂性正在被解读,这些就是复杂性思想的研究者给我们留下的一个未竟的结论。复杂性的研究还远未完成,复杂性的革命也还在进行。即将跨入 21 世纪的人类将在 20 世纪人类思想巨人的肩头,高举复杂性认识论和方法论的火炬,照亮 21 世纪的思想时空,开拓和探索极为复杂的新处女地,开垦 21 世纪的思想处女地。

二、到了在哲学上研究复杂性概念的时候了

过去,复杂性是日常语言中一个认识的避难所,凡是不好认识、难以认识的东西,我们常常一言以蔽之,归约为:它太复杂了。今天,复杂性成为自然科学和工程技术领域当

中一个使用频率极高的科学词汇。2000年,查阅“Encyclopaedia Britannica”时,就至少有878个条目、962处涉及“复杂性”,除了一些条目涉及研究复杂性问题的人物外,它几乎没有不涉及的领域;另外有98个条目、213处涉及“非线性”;有6处涉及“分形”。^①国际上还有专门的“复杂性”(Journal of Complexity)研究杂志,^②它的研究领域主要包括:应用数学,数字分析,近似理论,代数方程系统,微分方程,最优化,控制理论,决策理论,实验设计,分布计算,景象和图像理解,信息理论,预测和估算,地球物理学,统计学,经济学等。另外,在INSPEC资讯、物理、电机工程尖端科技数据库中,从1969年到1999年关于“复杂性与简单性”的条目出现了748处,“复杂性和非线性”出现了2598处。而1999年的“Science”,几乎成为关注“复杂性”研究的专辑,其中包括了“太阳系外混沌的起源”(Science 1999 March 19)、“流线型复杂性”(Science 1999 March 19,生态学领域)^③、“复杂性和神经系统”(Science 1999 April 2)、“化学中的复杂性”(Science 1999 April 2)、“混沌后的生命”(Science 1999 April 2)、“生物信号系统中的复杂性”(Science 1999 April 2)、“复杂性与经济学”(Science 1999 April 2)、“复杂性、图式和动物聚合中的进化性平衡”(Science 1999 April 2)、“来自复杂性的简单教训”(Science 1999 April 2)、“复杂性与气候”(Science 1999 April 2)、“自然地形中的复杂性”(Science 1999

① <http://www.eb.com>

② <http://www.apnet.com>

③ Science 1999 March 19.

Aril 2)^①、“宇宙的分形是什么”(Science 1999 Aril 16)^②、“生命的第四维:分形几何和机体组织的变异标度”(Science 1999 June 16)^③等研究论文,此外还包括了一些有关“复杂性”的通信、评论以及有关计算复杂性的文章。郝柏林院士指出,美国国会图书馆 1975~1999 年 2 月 25 日入藏书目中光标题里含“Complexity”一词的就有 489 种。其中涉及算法复杂性、计算复杂性、生物复杂性、生态复杂性、演化复杂性、发育复杂性、语法复杂性,乃至经济复杂性、社会复杂性等。^④通过雅虎搜索引擎,我们发现复杂性的各种网络资源有 1660665 处(其中有重复)。^⑤在 Google 搜索引擎键入 complexity 进行查询,约有 95 100 000 项符合 complexity 的查询结果(2007.2.3)。

在中国期刊网上,1979 年以前篇名含有“复杂性”的文献只有 25 篇;1981 年到 1990 年,篇名含有“复杂性”的文献增长到 307 篇;而 1991 年到 2000 年这 10 年里,篇名含有“复杂性”的文献增长到 1098 篇,翻了 3 倍。而进入 21 世纪的前 5 年,该数字就到了 1632 篇。1981~2006 年的每年篇数如表 0-1 和图 0-3。

① Science 1999 Aril 2.

② Science 1999 Aril 16.

③ Science 1999 June 16.

④ 郝柏林:复杂性的刻画与“复杂性科学”,《科学》,1999 年第 51 卷,第 3 期,3~8 页。

⑤ <http://www.yahoo.com>

表 0-1 1981~2006 年篇名含有复杂性的文献

年	篇数	年	篇数	年	篇数
1981	13	1991	60	2001	204
1982	12	1992	55	2002	326
1983	12	1993	49	2003	324
1984	23	1994	90	2004	362
1985	29	1995	84	2005	416
1986	26	1996	107	2006	493
1987	40	1997	133		
1988	47	1998	138		
1989	44	1999	171		
1990	61	2000	211		
每 10 年	307		1098		

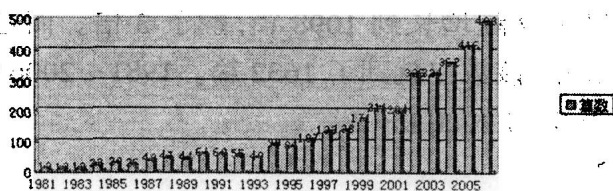


图 0-3 1981~2006 年中国期刊网包含“复杂性”的文献增长情况

复杂性的研究在自然科学和工程技术领域已经轰轰烈烈地展开。那么是否到了在哲学上分析和研究复杂性的时候了呢？我们知道，科学哲学就是把科学作为自己的对象进行哲学和文化的研究的学科，但是以往的传统科学哲学都是把成熟科学(mature science)作为自己的研究对象，因

传统科学哲学是以物理学作为范式基础的。所以,在传统科学哲学看来,复杂性研究并不是成熟的科学。在传统科学哲学看来,复杂性研究中的复杂性概念就多达 50~60 种,这本身就表明,复杂性研究甚至还没有统一成为一种统一科学(united science)。另外一方面,事实上也存在这样的疑问:科学哲学是否能够研究这种并不统一,也不完善,还在建构过程中的科学?建构过程中的科学是否能够表征这种科学的特性?

传统科学哲学由于立足于逻辑和表征,它把科学仅仅看成是知识的体系,它仅仅想重建科学的逻辑构成,它是表征主义的科学哲学,理论优位的科学哲学。因此,在传统科学哲学看来,复杂性这种正在建设过程中,还未形成体系的学术和技术研究,还是在实践探究中的科学活动,不能成为科学哲学的研究对象。

但是,在科学实践哲学看来,只要把科学看成一种实践活动,采取实践优位的观点看待科学,那么越是具有实践活动特征的科学活动,就越具有分析和理解的价值。因为其中可以看到科学家和工程师是如何建构它,从而看到探究的实践活动是如何参与科学,建构我们身处其中的世界的。因此,在科学实践哲学看来,类似复杂性这种科学研究提供了丰富的实践研究范例。未成熟的科学作为真实的、还未脱掉实践脚手架的科学活动,能够更为清晰地表现出科学实践特性,便于我们从中发现科学的实践维度是如何决定性地对科学知识的建构发挥作用。

对未成熟科学进行科学哲学研究,还对科学哲学的另类发展具有特殊意义。我们知道,以往的科学哲学是以成