

复杂性中的思维

物质、精神和人类的复杂动力学

[德] 克劳斯·迈因策尔著
曾国屏译

中央编译出版社

摇摇然而 整体也就只是通过自身的发展而达到完满的那种本质。

黑格尔《精神现象学》(康园)

中文版序言

《复杂性中的思维》第二版问世一年后，献给中国读者的中文版现在也问世了。复杂性和非线性是物质、生命和人类社会的进化中最显著的特征。本书考察了物理和生物科学、认知和计算机科学、社会和经济科学以及哲学和科学史中的复杂系统。

中国科学家已涉足所有这些研究领域。而且，中国是一个令人印象深刻的复杂社会的例子，它正以极大动力奔向 21 世纪。本书传达的思想是：自然科学、技术、经济学、管理和政治学中，线性思维显然已经过时。此外，中国文化总是具有自己的传统和特色，不同于西方的线性的机械论的世界观。因此，复杂系统探究方式就不仅能战胜自然科学和人文科学之间的隔阂，而且也能缩小西方文化和东方文化之间的距离。

我们生活在同一个复杂的非线性世界上，处在有序和混沌的边缘。因此，对自然和社会中的复杂性和非线性的管理，成为我们共同面临的世界范围的挑战。用德国数学家、计算机先驱和哲学家、对中国文化和科学充满敬意的莱布尼茨(1646—1716) 的话来说，我们必须保持全球性“多样化统一”的目标。

我要向译者曾国屏教授的细致工作表示感谢。一本跨学科的著作，涉及数学、计算机、物理学、化学、生物学和社会学、经济

学和哲学术语 翻译时需要特别的努力。他有效地掌握了这些。同样地 ,我还要向出版者——中央编译出版社(中国)和施普林格出版社(德国)表示感谢。它们使中文版的出版得以实现。

克劳斯·迈因策尔

1995年 10月于奥格斯堡

第一版序言

复杂性和非线性是物质、生命和人类社会进化中的显著特征。甚至我们的大脑也表现为受制于我们大脑中复杂网络的非线性动力学。本书考察了物理科学和生物科学、认知科学和计算机科学、社会科学和经济科学以及哲学和科学史中的复杂系统,引入了一种跨学科的方法论,以解释在自然界和精神领域以及经济和社会中有相同原理的有序的形成。

这些方法常常被认为是预示了 20 世纪科学发展特征的新的复杂性科学。本书批判地分析了这种探索方式的成功之处及其局限性,它的系统基础,它的历史背景和哲学背景。最后的跋中讨论了新的伦理学行为标准,这些行为标准是自然和神经、经济和社会的复杂问题所要求的。

本书的“核心”是一篇提交给关于复杂非线性系统的会议的论文,这次会议于 1985 年 10 月在比勒费尔德的跨学科研究中心举行,是由赫尔曼·哈肯和亚里山大·迈克赫罗夫组织的。同年 12 月,安格拉·馥勒海博士(施普林格出版社)建议我将该文的主题扩展为一本书。因此,我要向勒海博士的友好和有效的支持,以及对赫尔曼·哈肯在复杂系统和协同学上的多次合作表示谢意。我还要感谢德国研究基金对我的“计算机、混

沌和自组织”(1989—1990: 配葬愿因源原员)和“神经信息学”(1988—1989: 配葬愿因源原员)课题的支持。奥格斯堡大学的关于“复杂系统”的数学研究生项目和关于“经济和管理中的非线性”的经济学课程的教学使我得到了许多灵感。1989年和1988年,北莱茵原威斯特伐利亚(杜塞尔多夫)科学研究中心邀请我参加了两次关于计算机技术、神经生物学和精神哲学的文化影响的国际会议。

最后,我同样特别要向以英语为母语的罗斯(施普林格出版社)对本书的仔细阅读和校正,向胡塞尔和尤塔(奥格斯堡大学)为本书打字表示感谢。

克劳斯·迈因策尔
1989年 远月于奥格斯堡

第二版序言

《复杂性中的思维》一书,第一版不到一年即已告罄。显然,复杂性和非线性是自然科学和社会科学都关注的跨学科“热门”话题。伊安·斯图特(沃里克大学数学研究所)关于本书的一篇精彩的书评——《兴起中的新科学》(《自然》,1994年第357卷第5800页)对此进行了很好的概括:“非线性并非万能的答案,但往往是一种更好的思考问题的方式。”

借此出第二版的机会,我对本书进行了修订和扩充。在第4章,补充了在超分子化学和材料科学中关于保守自组织的最新重要成果。文献中补充了一些从自组织角度对宇宙学进行的新讨论。对于活细胞中的耗散自组织的新成果,增加了一些评注(第3章)。对于神经技术中适应性神经修补术的成功和局限,也进行了更详细的分析(第5章)。原书的最后一章扩展为“关于未来、科学和伦理学的结语”,该章首先是关于传统预测方法的一个简短导言,接着从自然科学和社会科学受到非线性和复杂性制约的前提,讨论了传统预测方法的局限性和新的预测程序。特别是对科学和技术发展进行预测和建模的可能性,这是当代关于人类的未来和伦理学的争论中的兴奋点之所在。

非线性复杂系统的一般方法必须在与自然科学和社会科学的结合中、在特定的观测、实验和理论条件下加以发展。因此，我希望借此机会对以下这些同事的极有帮助的建议表示感谢：罗尔夫·埃克米勒（波恩大学神经信息系），汉斯·耶尔格·法和沃尔夫·普里斯特（波恩天体物理学系和马克斯·普朗克射电天文学研究所），赫尔曼·哈肯（斯图加特理论物理和协同学研究所），本罗·里斯（海德堡马克斯·普朗克医学研究所），库迪乌莫夫（莫斯科凯尔迪什应用数学所），蕾娜特·迈恩茨（科隆马克斯·普朗克社会科学研究所），阿希姆·米勒（比勒费尔德大学无机化学系）。最后，我同样还要感谢沃尔夫·拜格尔博克（施普林格出版社），他对本书第二版的修订给予了鼓励和支持。

克劳斯·迈因策尔

1995年11月于奥格斯堡

目摇摇录

中文版序言	I
第一版序言	III
第二版序言	V
员摇导言 :从线性思维到非线性思维	(员)
圆摇复杂系统和物质的进化	(员)
圆摇亚里士多德的宇宙和赫拉克利特的逻各斯	(员)
圆摇牛顿宇宙、爱因斯坦宇宙和拉普拉斯妖	(猿)
圆摇哈密顿系统、天上的混沌和量子世界的混沌 ...	(缘)
圆摇保守系统、耗散系统和有序突现	(苑)
猿摇复杂系统和生命的进化	(怨)
猿摇从泰勒斯到达尔文	(员)
猿摇波耳兹曼的热力学和生命的进化	(猿)
猿摇复杂系统和有机物的进化	(员)
猿摇复杂系统和群体生态学	(员)

源	摇复杂系统和心—脑的进化	(员源)
源	摇从柏拉图的灵魂到拉美特利的《人是机器》 ...	(员缘)
源	摇复杂系统和神经网络	(员愿)
源	摇大脑和意识的形成	(员猿)
源	摇意向性和脑爬虫体	(圆园)
缘	摇复杂系统和人工智能的进化	(圆员)
缘	摇莱布尼茨和通用数学	(圆圆)
缘	摇从图林机到基于知识的系统	(圆苑)
缘	摇神经计算机和协同计算机	(圆怨)
缘	摇神经仿生学和电子空间	(猿员)
远	摇复杂系统和人类社会的进化	(猿苑)
远	摇从亚里士多德的城邦到霍布斯的利维坦	(猿愿)
远	摇斯密的经济学和市场平衡	(猿愿)
远	摇复杂经济系统、混沌和自组织	(猿园)
远	摇复杂文化系统和通信网络	(猿元)
苑	摇关于未来、科学和伦理学的结语	(猿缘)
苑	摇复杂性、预测和未来	(猿缘)
苑	摇复杂性、科学和技术	(猿缘)
苑	摇复杂性、责任和自由	(源源)
	参考文献	(源源)
	译者后记	(源愿)

员遥导言 :从线性思维到非线性思维

在自然科学中 ,从激光物理学、量子混沌和气象学直到化学中的分子建模和生物学中对细胞生长的计算机辅助模拟 ,非线性复杂系统已经成为一种成功的求解问题方式。另一方面 ,社会科学也认识到 ,人类面临的主要问题也是全球性的、复杂的和非线性的。生态、经济或政治系统中的局部性变化 ,都可能引起一场全球性危机。线性的思维方式以及把整体仅仅看作其部分之和的观点 ,显然已经过时了。认为甚至我们的意识也受复杂系统非线性动力学所支配这种思想 ,已成为当代科学和公众兴趣中最激动人心的课题之一。如果这个计算神经科学的命题是正确的 ,那么我们的确就获得了一种强有力的数学策略 ,使我们得以处理自然科学、社会科学和人文学科的跨学科问题。

在这些跨学科的应用中 ,成功的原因何在 ? 本书表明 ,非线性复杂系统理论不可能还原成特殊的物理学的自然定律 ,尽管它的数学原理是在物理学中被发现的 ,并首先在物理学中得到成功应用。因此 ,它不是某种传统的“物理主义” ,不是用类似的结构定律来解释激光、生态群体或我们的大脑的动力学。它是一种跨学科方法论 ,以此来解释复杂系统中微观元素的非线性相互作用造成的某些宏观现象。光波、流体、云彩、化学波、植物、动物、群体、市场和脑细胞集合体 ,都可以形成以序参量为标志的宏观现象。它们不能还原到复杂系统的原子、分子、细胞、

机体等微观水平上。事实上,它们代表了真实的宏观现象的属性,例如场电势、社会或经济力量、情感乃至思想。有谁会否认情感和思想能够改变世界呢?

在历史上,社会科学和人文学概念往往受到物理理论的影响。在机械论时代,托马斯·霍布斯把国家描述成一台机器(“利维坦”),其公民就是机器中的嵌齿轮。在拉美特利看来,人的灵魂归结为自动机的齿轮传动装置。亚当·斯密用类似于牛顿的万有引力的“看不见的”力来解释市场机制。经典力学中,在牛顿或哈密顿运动方程意义上,因果关系是确定论的。保守系统以时间可逆(即对称性或不变性)和能量守恒为特征。天体力学和无摩擦钟摆是著名的例子。耗散系统是不可逆的,举例来说就像没有摩擦项的牛顿力。

而且,大自然原则上被看作一个巨大的确定论的保守系统,一旦确切知道了它的起始状态,就可以预测其未来或追溯过去的每一时刻的因果事件(拉普拉斯妖)。亨利·彭加勒则认识到,天体力学并非是一台可以透彻计算的机械钟,甚至在局限于保守性和确定论情况下亦如此。所有的行星、恒星和天体之间的因果相互作用,在其相互影响可以导致混沌轨迹的意义上,都是非线性的(例如三体问题)。在彭加勒的发现之后,几乎过了百年,苏联数学家科尔莫哥洛夫(员缘)、灾理诺德(员)和先援莫泽证明了所谓的运定理:经典力学的相空间轨迹既非完全规则的亦非完全无规的,但是它们十分敏感地依赖于对起始条件的选择。微小的涨落可能引起混沌的发展(“蝴蝶效应”)。

在这个世纪,量子力学成为物理学的基础理论[员]。在薛定谔的波动力学中,量子世界被看作是保守的、线性的。用哈密顿算符描述的量子系统,取代了最初用哈密顿函数描述的量

子化经典系统(例如对于电子和光子)。这些系统被假定是保守的,即非耗散的,对于时间逆转具有不变性,因而是满足能量守恒定律的。量子系统的状态用希尔伯特空间的矢量(波函数)来描述,希尔伯特空间的距离与其哈密顿算符的本征值相联系。量子状态的因果动力学由确定论的微分方程(薛定谔方程)所决定,该微分方程合乎叠加原理,因而是线性的,即如同经典光学的情形,该方程的解(波函数或态矢)是可以叠加的。量子力学的叠加或线性原理显示了组合系统的相关(“关联”)态,这在贝尔实验(贝尔,阿斯佩特,克劳泽)中得到了高度确证。在一个关联的纯量子叠加态,一次观测仅可能得到不确定的本征值。量子系统的关联态和测量仪器相应仅可能有不确定的本征值。但是,实验室的测量仪器却显示出了确定的测量值。因此,线性的量子动力学难以解释该测量过程。

在玻尔、海森伯等人的哥本哈根诠释中,测量过程是用所谓的“波包坍缩”来解释的,即把叠加态分裂成两个独立的具有确定本征值的测量仪器和被测量子系统的状态。显然,我们必须将量子系统的线性动力学与测量的非线性作用加以区分。这个世界的这种非线性,有时被解释成人的意识的出现。尤金特·威格纳(威格纳)建议,薛定谔方程的线性对于有意识的观察者可能会失效,需要代之以某种非线性程序,使两个问题都可能得到解决。但是,威格纳的解释迫使我们相信,线性的量子叠加性仅仅在宇宙的那些出现了人的或类似人的意识的角落才会分裂成独立的部分。科学史上,拟人的或目的论的论证往往表明,科学解释在此软弱无力、难以奏效。因此,一些科学家如罗杰·彭罗斯提出,量子力学的线性动力学不适合于用意识的出现来解释宇宙的进化。他主张,至少是一个把线性量子力学和非线性的

广义相对论统一起来的理论,才可能解释这个世界中的宏观系统的独立状态。一台测量仪器是一个宏观系统,测量过程是远离热平衡的不可逆过程。因此,一种解释只有在一种统一的非线性理论中才可能成功。甚至把薛定谔波动方程推广到量子场论,它也是非线性的。量子场论中,有所谓的二次量子化,场函数被场算符所代替。例如,对于两粒子势场,量子场方程包含有一个非线性项,它相应于基本粒子对的形成。一般地,量子场论中基本粒子的反应本质上是非线性现象。基本粒子的相互作用导致了其量子态只具有有限的寿命,从而破坏了时间的可逆性。因此,一般地,甚至量子世界自身同样既不是保守的也不是线性的。在系统理论中,复杂性不仅仅意味着非线性,还意味着大量的具有许多自由度的元素[员圆]。所有的宏观系统,如石头或行星、云彩或流体、植物或动物、动物群体或人类社会,都是诸如原子、分子、细胞或有机体这样的组元构成的。具有大量自由度的复杂系统中的单个元素的行为,既无法被人预见,也无法被人追踪。对单个元素的确定论描述,必须代之以概率分布的演化。

第二章分析了“复杂系统和物质的进化”。前苏格拉底时期以来,自然哲学的一个基本问题是,有序是如何从复杂的、无规的和混沌的物质状态产生出来的。赫拉克利特认为,一种产生有序的能力(逻各斯)协调着无规的相互作用,创造出有序的物质状态。现代的热力学以数学的统计力学概念描述了有序的形成。我们区别两种形成有序的相变(自组织):保守自组织和耗散自组织。保守自组织意味着热力学平衡态的可逆结构的相变。典型的例子是雪花晶体的生长或使铁磁体系统退火到临界温度值时磁性的形成。保守自组织主要是造成低温低能的有序结构,这可以用波耳兹曼分布来描述。耗散自组织是远离热平源

衡的不可逆结构的相变(员)。当耗散(“ 开放”)系统与其环境的能量相互作用达到某个临界值时,微观元素的复杂的非线性合作产生出宏观模式。从哲学上看,所形成的结构的稳定性是由某种非线性和耗散的均衡来保证的。过强的非线性相互作用或耗散作用会使结构遭到破坏。

由于耗散相变的条件是十分普通的,这就使之有了广泛的跨学科应用。物理学中,激光是一个典型的例子。化学的贝洛索夫-原札鲍廷斯基(月)反应中,当特定的混合在一起的化学物质处于临界值,就出现了浓度环或螺旋卷。各个环波之间的竞争非常清楚地显示出这些现象的非线性,而叠加原理成立时这些环波应该相互穿透,如同光波那样。

非线性的耗散复杂系统的相变由协同学来解释。我们可以更定量的方式说,旧的结构变得不稳定,并由控制参量的改变而被打破。在微观水平上,旧的状态的稳定模是受到不稳定模的支配(哈肯的“ 役使原理”)(员)。它们决定着描述系统的宏观结构和系统的序参量。相变的种种不同的最终模式,对应于不同的吸引子。种种不同的吸引子可以形象地描述为流体,其速度被逐步加速。在最初的水平上,显示的是均匀平衡态(“ 不动点”)。在较高速度的水平上,可以观察到两个或两个以上的螺旋,它们是周期的或准周期的吸引子。最后,有序退化成确定论混沌,这是一种复杂系统的分形吸引子。从哲学上看,我希望进一步强调,协同学中物质的微观描述有别于宏观有序状态。于是,协同学的有序概念使我想起赫拉克利特的“ 逻各斯”或亚里士多德的“ 形式”,它们在物质的转变过程中产生出自然的有序态。当然,古人在这里用的不是数学描述。

用更数学化一些的语言来说,复杂系统的微观观点是用态

矢的演化方程来描述的,方程中每一分量都依赖于空间和时间。这些分量可以代表流体的速度分量,它的温度场,或化学反应中的化学物质的浓度。协同学的役使原理允许我们消除代表着稳定模的自由度。在主要的近似中,相应于这些系统的非线性,演化方程转变成特殊形式,在此出现了模式之间的竞争。不稳定模的主导项的幅度称为序参量。它们的演化方程描述了宏观模式的形成。最后的模式(“吸引子”)通过相变而实现,此过程可以被理解为某种对称破缺(对称破缺)。从哲学上看,物质的进化是由赫拉克利特早已提到的对称破缺引起的。

第三章分析“复杂系统和生命的进化”。科学史和哲学史上,人们曾相信“死”物和“生”物之间是界线分明的。亚里士多德把生命解释为一种自组织的力量(隐德来希)*,它推动着植物和动物朝向其最终形式生长。一个活系统能够靠自己来运动,而一个死系统只可能从外部来推动。生命用目的论来解释,即用指向某种自然目标的非因果力(“生命力”)来解释。18世纪,康德揭示了活系统的自组织不可能用牛顿物理学的机械系统来解释。他在一段著名的话中说,能够解释青草叶片的牛顿还没有出现。19世纪,热力学第二定律描述了封闭系统朝向最大熵状态或无序态的不可逆运动。人们又如何来解释在生命的达尔文进化中的有序的形成呢?波耳兹曼强调,活的有机体是开放的耗散系统,与其环境发生着交换,这并不违背封闭系统的第二定律。但是,在从波耳兹曼到莫诺的统计解释中,生命的出现仅仅是一种意外的事件,是“在宇宙边缘”的局部宇宙涨落。

* 隐德来希(entelechy)亚里士多德用语,他认为每一事物的要达到的目的就是“隐德来希”,而这也就是潜能的实现。——译者注

在复杂系统的框架中 ,生命的形成不是偶然的 ,而从耗散自组织意义上讲是必然的和合乎规律的。宇宙中 ,只有生命出现的条件(例如出现在行星地球上)才可能是意外的。一般地 ,生物学中将个体发生(有机体的生长)与种系发生(物种的进化)加以区别。在任何一种情形下 ,我们遇到的都是复杂的耗散系统。这种系统的发展 ,可以用远离热平衡的相变来解释 ,即由分子、细胞等等的非线性(微观)相互作用引起的(宏观)序参量的演化得到解释。生物系统(植物、动物等等)的形式用序参量来描述。亚里士多德关于自然目的的目的论 ,用相变的吸引子来解释。但是 ,这里不需要任何特殊的“生命力”或“目的力”。从哲学上看 ,生命的出现可以在非线性因果性和耗散自组织的框架中得到解释 ,尽管出于启发式的原因 ,它可能会使用目的论语言来描述。

我要向读者指出 ,生物大分子的前生物进化已经由曼弗雷德·艾根等人进行了分析和模拟。斯宾塞以复杂性增加为标志的生命进化思想 ,可以在耗散自组织理论中得到精确化。众所周知 ,图林分析了有机体数学模型 ,将其表示成复杂元胞系统。格里斯奇、迈恩哈特等人用关于细胞聚集的演化方程描述了有机体(例如软泥霉)的生长。对于阿米巴 ,当环境中细胞营养物处于某个临界值 ,其非线性相互作用引起了如软泥霉的宏观有机体的形成。序参量的演化对应于宏观有机体相变过程中的聚集形式。成熟的多细胞体可以解释为机体生长中的“目标”或(更好的)“吸引子”。

甚至生物群体的生态生长也可以运用协同学概念来说明。生态系统是复杂的耗散系统 ,包括植物或动物之间以及与其环境之间的相互的非线性代谢作用。两种群体与其营养源的共生 ,可以用两个耦合的微分方程来描述 ,爱德华·洛伦兹已经用