

DOI: 10.13376/j.cbls/2024031

文章编号: 1004-0374(2024)03-0283-02

睿 ● 观 ● 家

## 走向新的综合

吴家睿

(中国科学院分子细胞科学卓越创新中心, 中国科学院系统生物学重点实验室, 上海 200031)

1984年5月,在美国新墨西哥州一个名叫“圣塔菲”的小镇诞生了一个私立研究所——圣塔菲研究所(Santa Fe Institute)。这个小小研究所的出现成为了现代科学史上的一个里程碑,值得大书特书。美国科学作家米切尔·沃尔德罗普(Mitchell Waldrop)用《复杂》这本书很好地完成了这个任务。作者在书中用清晰生动的文字,刻画了圣塔菲研究所的众多核心人物和相关研究活动,为广大读者展现了一幅波澜壮阔的科学思想革命运动。

作者在书中开宗明义地指出,自牛顿时代以来,线性还原论思维一直主导着科学界,但如今在解决现代世界的问题时已经力不从心;而圣塔菲研究所的愿景就是要打造替代线性还原论思维的科学新方法。对研究所创始所长乔治·考温(George Cowan)而言,“圣塔菲研究所不仅代表着一项使命,更代表着整个科学界实现救赎和重生的机会”。

这个研究所汇聚了来自经济学、物理学、计算机科学和生物学等不同学科的研究者,他们拥有一个共同的目标,即探索复杂系统的方方面面——任何内部存在大量密切相互作用的系统,从凝聚态物理到生物体,从经济学到整个社会。在研究所创始人,诺贝尔物理学奖得主默里·盖尔曼(Murray Gell-Mann)看来,“我们必须给自己设定一个非常大的任务,那就是应对伟大的、正在涌现的科学大综合——它涵盖众多学科”。考温所长也持有同样的看法:“这将是一种认识世界的新方式,生命科学和物理科学之间、自然科学与历史或哲学之间,都几乎不再加以区分”。他们把这门新的“大一统”科学命名为“复杂科学”(Sciences of Complexity)。在考温所长看来,“这个名字比之前使用的任何其他词语,包括‘涌现的综合’,都更能全面地涵盖我们所做的一切”。

### 化简单为复杂

在《复杂》一书中,作者描述了经典科学的特

点,即认为世界处于一个均衡的、确定的状态下,偶尔出现的微小扰动也会在“负反馈”机制的控制下被消除;这是一个让研究者可以进行准确预测的简单世界,“正如物理学家能预测一个粒子在任何给定的力的作用下如何反应,经济学家也能预测经济人在任何给定的经济情形下如何反应”。

那么真实世界是这样一个简单化的图景吗?“宇宙中的无序之力,和宇宙中同样强大的秩序、结构和组织之力,是否势均力敌?如果是这样,这两个过程如何能同时进行?”带着这样的困惑,圣塔菲研究所的研究者们开始了他们的探索之旅。作者在书中通过对那些试图从简单图景中研究复杂问题的研究者之详细介绍,再现了其心路历程和研究成果。

例如,该书的第一章就可以看作是经济学家布莱恩·阿瑟(Brian Arthur)的学术小传。作者不仅描写了阿瑟的个人经历和学习过程,而且刻画了他提出基于“正反馈”调控机制的“报酬递增”理论之思考路径。这个理论一反那种追求市场稳定性以及供需平衡的经典经济学理论,强调市场里的微小扰动或者偶然事件也能够对市场的未来产生重大影响。显然,阿瑟的“报酬递增”理论受到了正统经济学家的抵制;在他们看来,科学必须具有确定性从而可以预测未来——“真正让阿瑟的批评者感到愤怒的是这样一种概念,即经济将自己锁定在一个不可预测的结果之中。他们问道:如果世界可以自组织成许许多多可能的模式,如果它最终选择的模式是出于历史偶然性,那么你怎么能预测任何事情呢?如果你无法预测任何事情,那么你正在做的事情怎么能被称为科学呢?”

更重要的是,阿瑟发现,这种复杂性不仅存在于经济学领域,而且还同样存在于物理学和生物学等差别很大的学科领域,“物理学家通常研究的原子和分子比蛋白质和DNA要简单得多。然而,当

你观察这些简单的原子和分子大量地相互作用时，你会看到相同的现象：微小的初始差异会导致迥然相异的结果。简单的动力学产生了惊人的复杂行为”。这也同样是研究所另一位研究者——克里斯·兰顿 (Chris Langton) 的看法，“在计算机上模拟复杂的物理系统，我们从中学到的最令人意外的经验是，复杂的行为不必然有复杂的根源。……极其有趣、吸引人的复杂行为可以从极其简单的组件的集合中涌现”。

可以这样说，作者在书中通过对阿瑟和圣塔菲研究所其他研究者的“学术画像”，传递出了这个研究所的核心研究目标和主要研究任务，即把曾经被认为的简单系统——无论是物理的还是生物的，无论是经济的还是社会的——从复杂系统的视角去进行研究，去探寻贯穿于这些不同类型的复杂系统之一般性理论和基本规则。

### 从复杂找简单

人类的天性是尽可能回避复杂的事物和复杂的场景；另一方面，当人们遇到难以处理的事情或者难以回答的问题时，又往往会用“复杂”作为一个掩盖能力欠缺或知识匮乏的借口。在经典科学时期，真正直面复杂并能够对其进行深入分析的研究者并不多见。可以说，一个研究所把“复杂”确定为基本研究目标这件事情本身就足以在科学史上大书一笔。圣塔菲研究所的研究者们不仅跳出了他们曾经熟悉的、针对简单系统的“研究舒适区”，而且对各种复杂系统进行了一系列卓有成效的研究，并取得了众多具有普适性的创新成果。作者在书中对这些研究工作和成果用许多笔墨进行了详细介绍。

复杂系统的一个典型特征是“涌现”(emergence)，即系统内各种组分相互作用通常会导致某种全新性质的出现，如生物大分子之间相互作用产生的生命活动；这是“一种植入自然本质的深层、内在的创造力”。作者在书中，通过对圣塔菲研究所的斯图

尔特·考夫曼 (Stuart Kauffman) 博士对生命起源的探索过程之详细描写，再现了研究者是如何找到“在这个似乎由偶然、混乱和盲目的自然法则所支配的宇宙中，我们何以成为有生命、有思想的生物的解释”。在考夫曼看来，生命就是一个关于“秩序”的故事：“秩序自然产生于物理和化学定律。秩序自发地从分子混沌中涌现，并表现为一个不断增长的系统”。

复杂系统之所以“复杂”，不仅在于其内部元件之间的相互作用，而且在于系统本身与其环境之间的相互作用，如生物体与其生存的环境、经济体与其社会或自然环境等等。后者正是圣塔菲研究所的约翰·霍兰 (John H. Holland) 的主要研究内容。霍兰提出了“复杂适应系统”这一概念来描述这种“内”与“外”之间的相互作用：“这些系统都是由许多‘主体’并行运作的网络。每个主体都处于一个由它与系统中其他主体的互动所构成的环境中。主体不断地行动，并对其他主体的行为做出反应”。霍兰认为，“复杂适应系统如何处于平衡状态基本上是没有意义的：系统永远无法真正达到平衡。它总是在发展，总是在变化。事实上，如果系统真的达到了平衡，它就不仅仅是稳定的，而是已经死亡。……设想系统中的主体可以‘最优化’其适应性或效能等，都没有意义。可能性的空间太大，它们无法实际找到最优解”。

可以说，作者在这本近 500 页的书里，通过对圣塔菲研究所众多研究者的学术画像，详尽地展示了这个研究所的研究者是如何认识“复杂”，如何研究“复杂”。正如书中的主人公之一阿瑟对其博士生导师的回忆：“他教会我不要去解决复杂的方程式，而是去不断简化问题，直到找到可以解决的问题。要寻找问题的根源，寻找关键因素、关键成分、关键解决方案”。

该文摘自《复杂：诞生于混沌与秩序边缘的科学》一书，该书已于 2024 年 2 月由中信出版社出版。