

“新三论”的启示

——谈耗散结构论、协同论和突变论

ENLIGHTENMENTS FROM THEORY OF THE DISSIPATIVE STRUCTURE, SYNERGETICS AND CATASTROPHE THEORY

陈奎宁

一

当代,许多学科相互冲击汇合,许多学科不断分支演化,出现了纵横交错的新兴学科。知识的迅速增殖,使专业工作者也感到应接不暇。因此,在知识的背后探求方法,用方法来统领知识,就更加重要。近年来崛起的现代科学方法论“新三论”正愈来愈引起人们的广泛注意。

“新三论”是指继系统论、控制论和信息论之后,1969年由普利高津(I.Prigogine)提出的耗散结构论(Theory of the Dissipative Structure)、1977年由哈肯(H.Haken)建立的协同论(Synergetics)和1972年由托姆(R.Thom)提出的突变论(Catastrophe Theory)。“新三论”不仅为解决许多僵持的难题开辟了道路,推动了许多学科的发展,而且给人们提供了认识世界的新方法。许多人认为,耗散结构论、协同论和突变论代表了新的科学革命。

二

比利时布鲁塞尔自由大学教授普利高津从事不可逆现象热力学的研究,从1947年到1967年,整整耗费了二十年的心血,终于得到了“耗散结构”的概念,并在1969年一次理论物理和生物学国际学术会议上作了题为《结构、耗散和生命》(Structure, Dissipation and Life)的报告,提出了耗散结构理论。这个理论很快在不少学科

得到应用。普利高津因为提出这一理论荣获了1977年诺贝尔奖。

耗散结构论研究的是一个系统从混沌向有序转化的机理、条件和规律。它认为,一个远离平衡态的开放系统,在外界条件变化到一个特定临界值时,通过涨落发生突变即非平衡相变,就有可能从原来的混沌无序状态转变为一种稳定有序的结构。这种结构必须与外界交换能量和物质才能维持,所以称作耗散结构。

十几年来,普利高津把耗散结构论的锋芒指向了热对流、化学钟、材料的性能、昆虫的活动、大脑的机制、气候的变迁、宇宙的起源,他探索的足迹遍及物理学、化学、生物学、材料科学、气象学、天文学和社会学。谁能想到几十万年前冰川的演变与阿米巴虫的繁殖会有相似的机理;从应力作用下的材料一下子跳到活的细胞岂不是铤而走险;研究热对流得到的规律竟能在社会学中应用。然而这些正是普利高津成就之所在。各个不同的专业学科探讨自己研究范围内的专门问题,而普利高津把不同学科共同存在的耗散结构抽取出来作为自己的研究对象。耗散结构论抓住了不同系统中存在的共性,用共同的数学模型研究各个学科的不同问题,因而具有方法论的意义。这是耗散结构论,也是科学方法论给我们的启示。

耗散结构论的成果大大开阔了人们的眼界。人们习惯于认为,平衡则井井有条,不平衡则“天下大乱”。其实,在远离平衡的条件下,系统正可以实现新的更高水平的稳定有序结构。当然这得有条件。首先,系统必须是开放系统,必须不断地

陈奎宁 (Chen Kuining) 四川科学技术出版社副总编辑,美国马里兰大学物理科学与技术研究所研究员。

同外界交换物质和能量;其次,系统必须远离平衡态,离平衡态近了还不行;再就是必须以不稳定状态为前提,通过涨落波动使内部具有非线性关系的系统跃迁到新的稳定有序结构。

耗散结构论特别强调非平衡、非线性、不稳定性和对称破缺的重要作用。它指出,非线性和非平衡这两个要素使物质具有高度的灵敏性、表现出宏观的秩序并演化出多种多样的自组织状态。非平衡展现了隐藏于非线性之中的潜力,而在平衡态或平衡态附近,这种力量只能处于潜伏状况。由于对非平衡物理学的研究,发现了物质在远离平衡条件下的基本性质,这奇迹般地改变了我们对客观的看法。不稳定性是普遍存在的,由于不稳定性的存在,有关条件的微小变化都带来惊人的放大作用,对系统的状态产生不可忽视的影响,于是,不稳定性使导致内部差别和复杂行为的转变成为可能,使系统状态和结构的改变成为可能。而对称破缺则是系统各部分之间或系统与环境之间的本质差别的表现,它是一切复杂行为(包括星系原生物质凝聚,第一个生命细胞产生等)的一个首要条件。对称破缺还是信息生成的先决条件。

耗散结构论从分析客观事例出发,以有力的论述,简洁的数学表达和深刻的启示,大踏步进入了各个自然科学领域,进入了哲学,也正在进入我们的社会改革之中。

三

联邦德国斯图加特大学教授哈肯从60年代起研究激光理论。他发现,激光是一种远离平衡态时由无序向有序转化的现象。当激光器的输入功率较小时,受激原子彼此独立地发出不相干光波列,它们的相位和方向是完全无序的。但当输入功率增加到某一临界值时,情况完全变了,受激原子全部做同相振荡,发出相位和方向都整齐一致的单色波,并且输出功率随输入功率的增加而急剧增加。是什么使这么多的受激原子整齐一致地协同动作呢?哈肯又研究了其他在临界点发生从无序到有序突变的现象。经过十几年的努力,在1977年出版了《协同学导论(Synergetics-An Indrodnetion)》一书,建立了协同论。

协同论是一门研究完全不同的学科中存在的共同本质特征的横断学科。它通过分析类比,来描述各种系统和运动现象中从无序到有序转变的共同规律。它认为,各种系统千差万别,如激光中的原子和光子,生物系统中的动物和植物,社会系统中的工厂、农村、团体和个人,他们的性质完全

不同,但他们从无序向有序转变的机制却是类似的,甚至是相同的,遵循共同的规律。

协同论是从研究系统内各部分之间的自身协同作用入手的。协同,表现了事物的整体统一性,符合贝塔朗菲一般系统论的第一基本原则——整体原则。系统内各部分之间的协同表现了事物内部的统一性。不同系统在相变时具有共同规律表现了事物之间的统一性。可以说,协同的概念和系统论的思想同源,而协同论的建立又推动了系统学的发展。

协同论所采用的一个主要研究方法是类比。根据不同系统间存在的相似性进行类比,已经启发人们在许多新的领域建立起新的科学理论,哈肯也正是把不同系统中的相变同激光类比建立起协同学。哈肯认为,类比的好处是显而易见的,一旦在一个领域里解决了一个问题,它的结果就可以推广到另一个领域,一个系统可以作为另一个不同系统的模拟计算机。普利高津进一步指出,分析问题包括两个步骤,首先,把对被研究系统的观察结果与“参与”系统的性能加以类比,就能确定最适合的模型类别;然后,越过简单类比的阶段,在所选用的模型的框架内去认识每一个问题的细节,并进行具体的描述。由于协同论和耗散结构论这样的横断学科反映了不同学科的共同规律,正确地运用类比,就易于从一个已知领域进入未知领域,把一个学科的成果推广到另一个学科。

四

突变是普遍存在的。我们知道狗被激怒时会进攻,被惊吓时要逃跑,但当激怒与惊吓俱增时,狗可能突然猛扑过来,也可能突然落荒而逃,很难捉摸。火山的爆发、地震的发生、军队的倒戈,往往都很突然,所以突变论中的“突变”(catastrophe)原意带有灾变的意思。其实突变论所研究的远远不仅限于灾变。在自然现象、社会活动以及人的行为决策中,突变比比皆是。那些突然发生的事件,因为其往往具有巨大的影响和重要的后果,带有转折意义,所以历来都是各自学科研究的重点问题。

法国著名数学家托姆(R. Thom)在1972年出版了他的《结构稳定性与形态形成学(Stabilité Structurale et Morphogenèse)》一书。这本书已成为突变论的奠基性著作。在此书中,托姆的笔锋在热力学、量子场论、天文、地质、生物化学、生态学、形态形成学等众多学科的广阔领域里纵横驰骋,运用拓扑、尖点理论等数学工具,从

结构稳定性出发,推导出系统渐变和突变的条件,归纳了在不同控制参数下的各类基本突变模型,建立了通过描述系统在临界点的状态来研究非连续性突然变化规律的突变论。

根据突变论的研究,突变都是在临界点发生的。当控制参数不多于4小时,共有7种不同的基本突变类型,即:折叠型、尖顶型、燕尾型、椭圆脐点型、双曲脐点型、抛物脐点型和蝴蝶型,可以求出其势函数、分支集和平衡曲面的方程,画出直观的数学模型图,基本突变类型的名称就是由直观模型的形状而来的。有了上述方程和直观模型,我们就能比较方便地对系统在突变临界点附近的状态进行定性和定量的分析了。当控制参数多于4小时,我们得到的数学模型往往是高维超曲面,需要用超曲面的拓扑性质来求解。

突变论的成果使我们有可能对突变进行预测和控制。在求出状态与控制参数之间关系、知道了势函数、分支集和平衡曲面方程的基础上,能够主动地控制演化过程,绕过突变的临界点,避免突变发生;引导系统向人们所希望的方向演化,通过不稳定状态到稳定状态的突变,达到新的更高级的稳定态。从历史的角度看,自然发展和人类变革的步伐体现为一个一个的突变事件,发生突变的临界点(也常常是转折点)之间的连线所描绘的就是历史前进的痕迹。突变论的成果给了我们信心,我们可以在将来这个未决的世界中,更主动地做出我们的贡献。

五

耗散结构论、协同论和突变论之所以能有那么广泛的应用,对于形形色色看来毫不相同的问题进行如此深刻的把握,正是因为它们包含着科学方法论这个核心。耗散结构论、协同论和突变论都紧紧围绕临界点进行深入分析,耗散结构论和协同论在描述临界现象时都采用了突变论的方法。它们在建立过程中甚至分析了一些相同的典型事例,如激光、本纳德水花、贝洛索夫——扎博廷斯基反应(化学钟)以及盘基网栖菌类阿米巴虫等等,作为其立论的根据。它们在同一年代里诞生,并在探索纷繁复杂的世界中互相支持着成长起来。

最近,普利高津和同事尼科里斯完成了他们的学术新著《探索复杂性》。这本书深入浅出地介绍了耗散结构论的最新成就,阐明了复杂性是怎样在自然界中出现的,能被探索和掌握到什么程

度;论述了他们在生物学、宇宙学、地质学、气象学、材料科学、脑科学、符号动态学及人文科学等方面运用耗散结构论的新尝试。作者对中国人民怀着深厚的感情,希望能在美国和中国同时出版《探索复杂性》的英文版和中文版。中文版是作者委托罗久里和我从英文原稿翻译的,已在今年8月由四川教育出版社出版。普利高津在中文版序言中说:“除了本学科专家外,我们期望具有一般科学背景的读者,如物理学家、化学家、数学家、工程师、生物学家、地质学家或药剂师,都能跟上这一重要的进展。我们也希望书中的范例将给他们提供一种有用的启示,以便他们把各自专长领域内面临的复杂现象模型化。”

在本世纪之初,人们一致认为宇宙的基本定律是决定性的和可逆性的,必然和偶然、决定性和随机性之间存在着根本的区别。在今天则已经有越来越多的人认识到,那许许多多塑造着自然之形的基本过程本来就是不可逆的和随机性的,而那些描述基本相互作用的决定性和可逆性的定律不可能为人们揭示自然界的全部真象。对于临界点的分支分析表明,在临界点发生分支、产生突变,这是必然的、决定性的,至于哪一根分支被选择,系统将走向哪个分支,则由偶然的会通过随机性的涨落来决定。偶然与必然、随机性与决定性在这里实现了辩证的统一。所以普利高津说:“可逆性、决定性只适用于有限的简单的情况,不可逆性和概率论才是世界的规律。”

在对于复杂世界的探索过程中,人们建立了为数众多的学科,可惜的是,各学科之间“隔行如隔山”。而耗散结构论、协同论、突变论正在这大山之下挖掘通道,把各学科沟通,把硬科学和软科学沟通,把自然科学和社会科学沟通。“新三论”之间的关系,就象他们是从不同的地点出发,有时殊途同归汇合到了一起,时而还相互借用一段通道,但常常觉得别人开掘的通道比较狭窄弯曲,便又另辟蹊径向前掘进了。

在科学发展史中,曾有这样一些时候,经典科学似乎已经功德圆满,探索的疆域似乎已经尽收眼底。但每每在这个关头总发现一些现象无法用已有的理论解释,于是,方案又必须扩大,探索的疆域又变得宽广无际,探索着的人们又在呼唤新的理论了。系统论、控制论、信息论是这样建立起来的,耗散结构论、协同论、突变论也是这样建立起来的。他们的诞生和发展,都标志着人类探索复杂性的一步深入,记载了人类认识世界和改造世界的一个个历程。