

还原论、自组织理论和计算主义

郭垒

(国家教育行政学院 社会科学教研部 北京 102617)

摘要: 计算主义纲领关于生命现象或过程是可计算的主张,与关于生命现象的还原论是一脉相承的。生命科学与物理科学之间的还原性解释关系,要求解决两个层次的问题,即如何把生命科学中占核心地位的的目的性陈述转换为因果性陈述和如何把生命科学的术语与物理科学的术语联系起来,而还原论在此遭遇着难以解决的“无限”问题和复杂性的困境。计算主义在还原性解释中的地位,由自组织理论在还原性解释中的地位所决定,而自组织理论在还原性解释中的地位,则由前者在多大程度上能够克服还原论所遭遇的“无限”困境或复杂性困境所决定。

关键词: 还原论; 自组织理论; 计算主义

关于生命现象或过程的计算主义理解,是以康韦(J. Conway)证明细胞自动机与图灵机完全等价为契机而兴起的。细胞自动机是由冯诺伊曼(J. von Neumann)为了从算法的角度描述生物自我繁殖而提出的,之后,康韦关于特定配置的细胞自动机与图灵机完全等价的证明,被计算主义认为是关于从非生命到生命的演化、以及生命的自我繁殖过程完全可以由计算获得的证明。当斯蒂芬·沃弗拉姆(Stephen Wolfram)和克里斯·兰顿(C. Langton)引入混沌理论分析方法对细胞自动机可以产生复杂结构的机理进行分析之后,细胞自动机模型成为计算主义把生命现象或过程理解为可计算的复杂系统的工具。^[1]强计算主义纲领主张物理世界、生命过程、人类心智直至整个宇宙都是由算法支配的,因而是可计算的。关于这一主张,就生命现象或过程来说,与生命科学的还原论是一脉相承的,或者可以说,是建立在还原论基础上的计算主义。众所周知的是,生命科学的还原论主张面临着一系列的困境^[2]。既然计算主义承继的是还原论的主张,那么,前者是否能够克服了后者的困境,或者,前者能够在多大程度上否克服后者的困境?

一、生命科学与物理科学之间还原性解释的两层关系

关于生命科学与物理科学之间的还原性解释关系,在还原论看来,是如何在经验发现的基础上构造解释体系的逻辑问题。这实际上要求解决两个层次的问题:第一个层次是如何把生命科学中占核心地位的的目的性陈述转换为因果性陈述,第二个层次是如何把生命科学的术语与物理科学的术语联系起来。在两个层次中,都包含着关于经验的认识论问题和语句或陈述之间关系的解释问题。

1. 第一个层次:目的性陈述向因果性陈述的转换问题

生物学中之所以普遍使用着目的性陈述或功能性陈述作为解释的表述方式,是因为生命系统在经验上呈现了一个基本特征:有机体能够自我调节、自我维护,以及自我繁殖,它们的活动似乎指向未来所要达到的目的。生命现象在经验上呈现出这种**目标定向性**,使得生物学理论在语言表述上使用了意指“手段—目的”结合关系的表述方式,表述中往往包含“有……的功能”、“有……的目的”、“为了……缘故”、“为了……”等等术语(物理科学陈述中一般不出现这类术语),即所谓功能性陈述(或目的性陈述)。这种表述方式,对于一个

处于一个特定的环境中的生命系统 S 来说，体现了如下的解释关系^[3]：

无论何时，一个 S 型系统，处于一个 E 型环境中，具有一个 G 型目标，行为 B 之所以发生，是由于它引起（或倾向于引起）目标 G。

对此，可以称其为功能性规律的陈述形式，它表述了系统在现象上呈现出的“目标定向”行为。这种陈述形式，可以与因果性规律的陈述形式“对任何一个 x，如果 x 是 A，则 x 是 B”相对应。

对于功能性陈述，还原论的主张是将其转换为因果性陈述，消解其中的“目标”、“功能”等术语，企图用一种普遍性的但又是精确的术语表述出“目标定向”系统的特征性结构，而这种表述又是不涉及“目标”、“功能”等术语的非目的性条件句或因果性陈述；同时这些非目的性条件句(因果性陈述)等价于目的性表述。

控制论的确立使这种企图成为可能。控制论表明，多个要素或子系统之间的互为因果的交互作用产生了在观察者看来是目的性的表面现象，因此，对具有“目标定向”行为的系统，可以使用诸如“负反馈”等普遍性术语，来消除“目的”或“目标”、“功能”等术语，使呈现出目标定向行为的系统被表述为受控于许多要素的互为因果的交互作用。而这样的系统可以被描述为“定向组织”系统。^[4]

2. 第二个层次：生命科学的术语与物理科学的术语关联问题

目的性陈述转换为关于“定向组织”系统的因果性陈述，仅仅是对目标定向系统给出了因果性语句的描述，而没有赋予任何语义，无论是物理学的还是生物学的。因此，第二个层次所关注的是“具有目标定向行为的生命系统的行为过程是否能全然以物理化学术语来描述”这样具有实在性意义的论题。

在功能性陈述转换为因果性陈述之后，如果存在描述生命现象的生命科学的术语（不为物理科学所具有），那么，给出生命科学的术语与物理科学的术语关联，则是还原所必需的。这是因为，当生命科学含有某个术语“A”，而物理科学的理论中却未包含它，那么，由物理科学还原性地解释生命科学则是不可能进行的，即使生命科学中的功能性陈述或目的性陈述都转换为因果性陈述。除非在生命科学的术语与物理科学的术语之间构造出满足以下条件的关联：在“A”所指称的生命事件或意义（如“细胞”、“有丝分裂”、“遗传”等）与物理科学的术语所指称的意义（如“长度”、“电荷”、“自由能”等）之间，构造了一种适当关系，借助于这种关系，所有生命科学的陈述，能够从物理科学的理论规律中逻辑地推导出来。这种术语之间关联性的构造，表面上是语句或陈述之间的逻辑问题，实际上却是一个经验发现的问题。在科学实践中，生命科学的术语与物理科学的术语之间的关联通常是这样构造出来的：借助于经验发现或经验假设（如果是经验假设，则需要以后的经验证实），使得任何由生物学术语所指称的事件的出现的充分条件（或者是必要条件），能够用物理科学术语陈述出来，例如，根据经验发现以及相关的物理科学理论，可以用物理科学术语来表述“染色体”这个生命科学术语：“如果 x 是 DNA 双螺旋及蛋白质分子构成的物体，则 x 是一个染色体”。在此，关键是通过经验或实验的发现，使我们认识到物理科学术语（DNA 双螺旋及蛋白质分子构成的物体）与生命科学术语（染色体）具有着共同的指称，并由此在表述它们的陈述之间确立一种“如果……则”的条件句式关联。这意味着，还原性解释在于，用物理科学术语表述出某些条件，且这些条件是可能发生的事实或者说有经验证据支持，而在这些条件下，发生了一个用生命科学术语表述着的生命现象^[5]。

二、还原论的困境

在上面的讨论中，关于还原性解释所需要解决的两层关系，只是给出了抽象的描述，但

是，我们既不能先验地保证对任何目标定向系统都能够给出一个定向组织性的描述，也不能先验地保证对任何生命科学的术语都能够建立一个与物理科学术语的相关性。这是因为，在科学实践中，对这两个问题的解决，面临着一个难以解决的“无限”问题和复杂性的困境。

从原则上讲，还原论能否成立，取决于自然有限论是否成立。“如果生命有机体乃至宇宙由之构成的基本物质的数目是有限的，进而宇宙中可能发生的事件的数目就是有限的，并且，自然界发生的事件相互关系可以用因果关系进行表述，那么，原则上，对于任何一个目标定向系统，都可以找出它的所有内在组成部分，这些组成部分的相互因果关系，决定了该系统的指向目标行为的持续性和适应性；同时，如果自然界可能发生的事件的数目是有限的，那么实现系统的目的性过程的不同方式的数目也相应地就是有限的；进一步，如果每一个事件因果性地与有限类别的事件有关，那么，在一种情况下一个系统的指向目标行为可以由它的内在子系统的非目的论机制实现，在另一种情况下，只要初始条件相同，就也能做到这一点。”^[6]然而，自然是否有限，既不是一个能够通过经验进行证实的问题，也不是一个逻辑或必然性的证明问题。下面，给出具体论述。

首先是第一个层次，即对一个目标定向系统给出一个定向组织性的因果性描述。生物体在结构和机能上是极其复杂的，存在着许多反馈过程和多种可能的反馈途径，在生物学实践中，我们既不能先验地保证必然能够发现有限数目的相关组成部分，也不能先验地保证对它们能做出完全的描述。因此，我们在用定向组织系统描述生物体的目标定向行为时，所给出的组成部分对于目标的获得是不充分或不完全的。

最明显的方面是，系统的功能一般都是可以多重实现的。也就是说，对于某一目标，自然界往往具有许多可能的途径，在不同物种中给出了对于某种目标的许多不同的目标定向系统类型。如果对于某个目标定向系统S不能给出关于其定向组织描述的充分性或完备性的先验保证，那么，就意味着没有对S的目的性给出一个完全的非目的性或因果性解释。也就是说，所描述的内在组成部分对于所指向的目标，在因果性上或条件句形式上是不完备的，还有其他可能的内在组织部分和联结方式来达到所指向的目标。这就意味着，对某个目标定向行为或某个目标定向系统的非目的论的说明，只给出一种定向组织系统的因果性说明是不完备的，必须给出所有能达到目标状态的每一种可能的定向组织系统及其可能的因果性运转过程。

由此派生出进化描述的“无限”困境，即，在达到目标G的诸多的可能性中，为什么只有某类型系统S成为现实呢？为什么在现实中唯一地实现了系统S，使S成为G的唯一充分条件呢，或者称“经验上的充分必要条件”呢？对这个问题进行回答，则进入一种历史的追索，即S的唯一实现是如何演化的，是如何被环境选择为关于G的唯一充分条件的。由此而进入了进化论的讨论。

进化理论使用了“适应”这样的术语来解决某类型系统S成为现实的充分性的问题，并由此使用因果性陈述来消解“功能”和“目的”或“目标”。对此，进化理论是这样表述的：系统S成为现实，可能是一个有机体表明自己的存在以及由此能够存活及产生后代的一种适应，或者是该有机体促进其血缘群体存在、局部种群量增加，是物种或生态系统存在的一种适应。可以看出，使用“适应”来陈述系统S成为现实的充分性，至多提供一个这样的承诺：系统S成为现实是变异和选择的结果，但仍然存在许多不同的途径。因此，使用“适应”来陈述系统S成为现实的充分性，仍然没有解决系统S如何成为现实的问题。实际上，系统S形成的进化机制就是适应过程的发生机制。而还原性解释就是要找出这种机制，并且是因果性的。自然选择理论是根据古生物的适应性来解释系统S如何产生的，因而，对于当下的成为现实的系统S，自然选择理论所能说的只是：系统S是遗传物质中变异所产生的表现型以及这些表现型在过去提供了选择优势。然而，我们现有的知识不可能说明，相对于许多其他方案，自然选择如何在器官、细胞、线粒体及液泡等细胞器、乃至血红蛋白以及

DNA 等生物大分子的结构上最终产生当前形式的详尽细节以及为什么发生这些细节。这种进化过程的详细机制，其中的各种因果关系，几近“无限”复杂，由此使因果性描述陷入困境。

实际上，对于当下的有机体而言，现代生命科学采取以分子水平为基础，从发育角度用遗传程序的运作来因果性地描述功能和目标状态的形成。在此，“功能”或“目标”的形成，或“某一行为 B 之所以发生是因为它引起目标 G”这一断言，被理解为关于遗传物质规定的发育程序的一个省略断言：核苷酸序列包含着产生一个导向目标 G 的过程的指令。可以看出，这种描述方式，是把“功能”或“目标”归结到遗传程序和遗传信息的形成上。而遗传信息形式的产生，是一个进化问题。尽管遗传物质为许多功能性现象的呈现和目标状态的形成进行了遗传编码，但是，这种描述方式并未真正地使我们对功能性断言有了进一步的理解。如果遗传程序预见到它们确保能够达到的终态，而这恰恰又因为它们是被自然选择的力量所塑造，那么，诉诸于遗传程序几乎等于直接诉诸于“适应”去解释“功能”或“目标”。

关于第二个层次，即生命科学的术语与物理科学的术语之间的相关性，由于我们公认生命有机体最终是由物理性的原子或分子构成，因此，术语相关性的建立，关键在于用实验的方法发现诸如“器官”、“细胞”、“细胞核”、“基因”、“有丝分裂”、“遗传”等等这些术语所指称的事物或过程与原子或分子层次上的组成、结构和过程之间的关联。但是，就当前的生物学来说，生命科学的术语与物理科学的术语之间的相关性还远未完备地构造出来，生物体的每一组成部分和过程、以及这些部分在任何时刻的分布和排列，远未能够为物理科学的术语穷尽地表述出来。例如，我们还不知道细胞、细胞核的详尽化学成份和结构，因此，我们就不可能全然使用物理科学术语表述出其中生物学现象发生的条件，我们目前也不能以物理科学的术语表述出诸如细胞、细胞核等系统的详细结构。因此，就当前的生物学知识来说，用纯粹的物理科学的假设来还原性地解释生物学规律及其理论体系，这在逻辑上还不可能。

当然存在着这种可能，如果对于生命有机体中的某个目标定向系统 S 描述完全使用的是物理科学术语，那么，就只需要解决如何给出一个关于系统 S 的定向组织性的描述的问题，而不存在生命科学的术语与物理科学的术语之间的相关性问题。在分子生物学中，已经有着一些案例表明，对于某一局部的生命现象来说，可以完全用物理性的原子或分子来描述它们，并且，如果这种描述是目的性的或目标定向性的，那么，也可以转换为定向组织性描述。但是，这种情况，在分子层次上对于一个有限的结构来说，是可能的，然而，当我们上升到细胞水平以上时，用物理科学的术语或分子水平的语言描述出定向组织系统的完整内容的能力就会变得越来越弱，因为获得实现目标状态机制的分子层次的子系统的数目将迅速地增加，在组织的一定复杂程度之后，对定向组织的子系统的详细描述实际上将是不可能的。这意味着，对于生命系统或生命现象来说，在细胞水平以上，由于复杂性困境，大多数关于目的性现象的完全非目的性的解释，在实践上还不可能。

三、自组织理论在什么意义上克服还原论的困境

对于还原论的主张来说，给出定向组织系统的因果性描述和术语相关性的认定，主要目的是从物理层次事物（原子、分子）的性质和规律推导和预言生命现象和行为。这里的“预言”意味着对公理（规律）系统的逻辑推论和动力学演化过程的计算结果能够进行经验的检验，具有实验的可操作性。由于上述的复杂性困境，即构成生命系统内部子系统的数目和复杂性虽非无限的但却非常巨大，因而，即使我们承诺了自然有限论的观念，对这些内在的因果性机制的预言的直接的经验检验和实验操作来说，即由无机要素合成生命，哪怕是最简单的生命现象，其中的困境是不言而喻的：对于直接的经验检验和实验操作来说，由无机到生命的演化，经历了漫长时间，并且，生命的产生和演化是在十分优越的条件下选择了唯一快捷的途径而发生的，以人类的有限生命和历史没有能力进行这种检验和操作。另一方面，耗散结构理论以及在其基础上发展起来的自组织理论，提供了一种间接的经验检验和实验操作

的途径，即理论上的计算操作。

在经典的物理学中，所处理的数学模型一般都是线性的，然而对于复杂的过程来说，例如具有多重负反馈因果关系的定向组织系统的运作和演化过程，所构造的数学模型是非线性微分方程，它的特点是很难求解，也就是说，存在计算操作的困难。自组织理论就是处理以非线性微分方程为数学模型的复杂系统的运作和演化过程。对于生命现象或系统的间接经验检验和实验操作，就是以物理——化学诸要素，通过在无机背景下取得的参数，进行自组织理论的非线性过程计算，来描述无机与生命之间的推导和预言的逻辑关系。自组织理论的结论是，从无机到生命的历史演化过程，是程非线性的不可逆过程，其中有许多偶然性或随机因素起了决定作用并已作为“信息”储存于生物大分子的结构中。这意味着，由于偶然性或随机因素的不可重复，使时间不可反演，因而整个过程是可重复概率极小，演化过程是不确定的，由此使得对任何理论预言无法进行实验检验。这样一来，自组织理论虽然为还原论摆脱困境提供了一个途径，却仍然没有解决从物理层次事物（原子、分子）的性质和规律推导和预言生命现象和行为的难题。

四、计算主义在什么意义上克服还原论的困境

还原性解释的以上困境，在我们拥有强大运算能力的计算机之前，看起来是令人绝望的。在康韦(J. Conway)证明细胞自动机与图灵机等价之后，具有强大运算能力的计算机和计算机仿真实验成为解决还原论困境的突破口。

1980年代，斯蒂芬·沃弗拉姆(Stephen Wolfram)对细胞自动机的行为结构的演化进行了全面的研究，发现在一定的情况下细胞自动机的行为结构具有随机性、收敛性、周期性、混沌性、局域化的有序结构性及其突现性和网格传播性等复杂系统的自组织特性^[7]。在此基础上，克里斯·兰顿(C. Langton)引入自组织理论的分析方法，定义了一个参数 λ 作为细胞自动机活动性的一个测量以解释细胞自动机产生有序结构的机理： λ 的值越高，细胞自动机的细胞转换为活的状态的概率也就越高，反之，细胞自动机转为活的状态的概率就越低。兰顿用不同的 λ 值做了一系列试验，结果发现，参数 λ 的某些确定范围决定着细胞自动机的行为结构演化特征，当参数 λ 值较低时，即细胞自动机活动性较低时，细胞自动机倾向于收敛到单一的、稳定的模式；当参数 λ 值较高时，即细胞自动机活动性较高时，细胞自动机倾向于发生无组织的、混沌的行为；只当参数 λ 值处于中间值时，即细胞自动机活动性处于中等水平时，才会出现局域化的结构和周期的行为，并可以通过网格传播，而结构传播的存在意味着局域化的周期性结构和传播性的周期结构之间可能有任意复杂的相互作用。兰顿在此把突现出有序结构的细胞自动机的行为状态看作是表达了部分发展了的混沌行为，称之为处于“混沌边缘”的细胞自动机。兰顿认为，在混沌的边缘，既有足够的稳定性来存储信息，又有足够的流动性来传递信息，而这种稳定性和流动性使得计算成为可能。这意味着，如果生命起源于混沌的边缘，那么，生命的起源和演化也是可计算的。^[8]

但是，计算主义关于生命的可计算性以及计算解释，并非完全地支持还原论，它所主张的从部分到整体的突现过程可计算性，实际上弱化了还原论。可计算性与还原论的可预言性是不同的，在计算机中的一个“非线性”计算过程的结构可能是不确定的，因而是不可预言的，但却可能是可计算的。也就是说，可计算的不一定是可预言的，而可预言的则一定是可计算的。计算主义在还原性解释中的地位，由两个方面所决定：第一，计算主义在自组织理论中的定位；第二，自组织理论在还原性解释中的地位。而自组织理论在还原性解释中的地位，则由前者在多大程度上能够克服还原论所遭遇的“无限”困境或复杂性困境所决定，这种困境具体为：第一，提供的因果性解释是不是完全的，是不是穷尽所有可能的方式；第二，提供的因果性解释是完全的，但却是不确定的（这为自组织理论提供了契机），这样，我们就不知道子系统之间的相互作用会产生什么样的结果（不可预测，但可计算）。

参考文献

- [1] 李建会. 与真理为友—现代科学哲学的追思[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2002. 129-130.
- [2] 郭垒. 现代自主论和还原论的各自困境[J]. 科学技术与辩证法, 1997(4): 4.
- [3] Alexander Rosenberg. The Structure of Biological Science [M]. Cambridge University Press 1985. 49.
- [4] Ernest Nagel. The Structure of Science [M]. Hackett Publishing Company, 1979. 411.
- [5] Ernest Nagel. The Structure of Science [M]. Hackett Publishing Company, 1979. 364-365.
- [6] 李建会. 功能解释与生物学自主性[J]. 自然辩证法研究, 1991(9).
- [7] S. Wolfram. Universality and Complexity in Cellular Automata [J]. Physica D, 1984(10): 1-35 (转引自李建会《与真理为友—现代科学哲学的追思》上海科技教育出版社, 2002. 142)
- [8] C. G. Langton. Artificial Life [C]. SFI Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. VI. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1989. Reprinted in Boden (1996) (转引自李建会《与真理为友—现代科学哲学的追思》上海科技教育出版社, 2002. 141)

Reductionism , Self-organization Theory and Algorithmism

GUO Lei

(Department of Social Science, National Academy of Education Administration, Beijing, 102617, China)

Abstract: Algorithmism asserts that phenomena and process of biosis are computable, and this assertion has gone on with Reductionism. The explaining of reduction between biological science and physical science has been needed to solve two problems, the first is how to transform the teleonomy statements that are of core position in biological science into causality statements, the second is how to establish the relationship between the terms of biological science and physical science. The Reductionism has been fallen into infinite puzzledom and complexity puzzledom in the course of solving the two problems. The position of Algorithmism in Reductionism is decided on the position of Self-organization Theory in Reductionism, and the latter is decided on how degree it gets rid of the puzzledom that Reductionism has encountered on.

Keywords: Reductionism ;Self-organization Theory; Algorithmism

收稿日期: 2003年10月10日

作者简介: 郭垒(1963—), 男, 辽宁大连人, 哲学博士, 国家教育行政学院社会科学教研部副教授, 主要研究领域为自然科学中的哲学问题、科学哲学、科学方法论和科学思想史。