

对生物进化自组织理论具体机制的探讨

刘海龙

(中共中央党校哲学部,北京 100091)

摘要:达尔文的进化论是以自然选择学说为基础的渐变论,它无法解释物种非连续性的突然爆发现象。用自组织理论的观点来看,物种非连续性的突然爆发是一种必然的现象,这弥补了自然选择学说的不足。文章从生物学具体对象和规律入手,遵循自然选择学说的逻辑,对生物进化自组织理论的具体机制作了较为细致的探讨。

关键词:自然选择;渐变论;自组织理论;系统跃迁

中图分类号: N031 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 5680(2005)06 - 0036 - 04

达尔文的进化论很好地解释了生物渐进演变的机制,但不能对非连续性的生物大爆发现象给予合理的解释。后来,一些生物学家提出了生物进化的自组织理论,对生物的跃进现象进行了探讨。但由于其来源于热耗散学说等其他具体学科的理论,所以对于生态系统跃迁的具体机制,还没有从生物学本身的规律给出具体的解释。本文拟从生物学具体对象和规律入手,遵循自然选择学说的逻辑,对生物进化自组织理论的形成和发展及其具体机制进行一些较为细致的探讨。

一 达尔文渐变论的困难

达尔文的生物进化论是一种渐变论,渐变的机制由他的自然选择学说来提供。自然选择学说可以总结为以下几个环节:

(1) 过渡繁殖是选择的前提。生物繁殖产生的后代数目往往非常之多,经过自然选择之后,这其中只有一小部分能够存活下来。

(2) 遗传是物种保持稳定的保证,变异是自然选择的源泉。遗传保证了某个物种区别于其他物种并使其性状稳定向下一代传递。遗传过程中变异普遍存在,子代与亲代之间存在不同的性状,有共同来源的个体之间也存在不同的性状。这些变异中间有些可以遗传,有些不能遗传。能产生遗传的变异为生物进化提供了材料,遗传为变异的产生和发展提供了保证。

(3) 生存斗争是进化的动力。过渡繁殖产生的个体为了争夺有限的资源而生存繁衍下去,就要经过残酷的生存斗争。生存斗争包括生物和环境的斗争、种间斗争和种内斗

争。对生物生存有利的变异在生存斗争中保存了下来,对生存不利的变异被淘汰掉。

(4) 适者生存是选择的结果。经过生存斗争,变异得到逐渐积累,最后新物种得以形成。从以上过程可以看出,自然选择学说的论证是非常严密的,变异是新物种产生的根据,遗传是物种稳定的保证。按照自然选择的逻辑,物种是在自然选择的长期作用下,经过可遗传变异的逐渐积累而形成的。达尔文说:“自然选择只能通过累积轻微的、连续的、有益的变异而发生作用,所以不能产生巨大的或突然的变化,它只能通过短且慢的步骤发生作用。”^[1]这种机制就决定了达尔文的进化论必然是一种渐变论。渐变论得到了形态学、胚胎学、古生物学等方面的支持,对于解释种内进化、生物适应性问题是非常合理的。

根据达尔文的渐变论推断,现存的物种及已经绝种的物种之间必须有极大数目的过渡环节和中间型,然而,地质学家却没有找到所需要的大量的中间类型的化石,相反,他们发现在许多情况下,新物种或一组新的物种是突然出现的。

这其中使渐变论最头疼的是“寒武纪大爆炸”,几乎所有动物的“门”同时在地层中出现,动物界中所有不同体型构造,属于“门”一级的动物,同时一次性地、以爆发性的姿态出现,完全没有渐进的痕迹,从此以后再也没有新的“门”出现。^[2]按照自然选择学说的机制,这几乎是不可能的,这种事实如何解释呢?

二 自组织理论对跃迁的解释

对于渐进论遇到的困难,一直以来都有人试图对其进行

【收稿日期】 2005 - 05 - 31

【作者简介】 刘海龙(1973 -),男,河北涞源人,中共中央党校博士生,研究方向为科技哲学、管理哲学。

修正或补充。关于系统演化的自组织理论为解释渐变论遇到的困难提供了理论指南。

自组织理论(Self - organization theory)是指包括热耗散理论、协同论、超循环论等在内的有关系统演化的一系列理论。该理论描述系统演变的要点大致如下:一个开放的系统要不断地与外界进行物质、能量和信息的交换。当系统内部熵增与从外界引进的负熵绝对值相当时,系统处于平衡状态;当从外界吸收的负熵绝对值大于系统内部的熵增时,系统就进入了远离平衡态的非线性区。处于平衡态时,系统中的涨落相互抵消,不至于引起系统大的变化;而在非平衡状态时,系统对于某一涨落非常敏感,这种涨落有可能由原先所处的一个局部范围迅速扩大到整体范围并稳定下来,导致系统跃迁到某种新的宏观有序状态。

自组织理论阐述了系统演变过程和机制,可以说是一种天然的进化理论。据此,生物化学家考夫曼(Stuart A. Kauffman)提出了生命物质生成的“自组织理论”^[3]:在早期地球化学反应的系统中,只存在简单的小分子块;通过小分子块之间的相互作用,产生了具有“催化”作用的分子模块;催化分子块产生以后,就加速了其他大型分子块的形成;然后一系列的分子块体相互作为彼此的催化物,形成了所谓“自守催化系统”;该系统能够吸取系统外部的分子,把它变成自身的分子之一,这个过程使系统里的分子块变得越来越复杂,最终造成其中一些分子块本身变成了“自守催化系统”。到此时刻,这样的分子就叫作催化分子,例如DNA。于是,具有自我复制能力的分子团块便这样产生了。这样,经过一步步的跃迁,生命体就形成了。

生命产生以后形成的生态系统同样是复杂的开放系统,这个系统可以在平衡态和非平衡态两种状态之间发生相变演化。当处于平衡态时,整个地球生态系统秩序井然,各种生物各得其所,安然地繁衍生息;当系统进入非平衡状态时,环境和生物的种类和种群就会发生巨大的变化,整个系统由此跃迁到另一种状态。在系统跃迁的过程中,就可能出现物种的大爆发等现象。这从理论上说明了非连续性的生物大爆发是必然的。

需要指出的是,自组织理论提供了解释非连续性的生物爆发现象的理论依据,但并没有否定自然选择学说。自然选择学说从个体水平给出了个体新性状形成的机制,而自组织理论则不能把个体作为对象来研究生物进化,因为任何一个个体都会因为死亡而消失,无法完成进化意义上的“系统跃迁”。它只可以从更大的生态系统着眼,阐述生态系统进化的机制和过程。对于生物的进化问题而言,两者是不同层面上的理论,但可以相互补充,互为映证。

在自然选择机制中,轻微变异的逐渐积累是新物种产生的根据,遗传是物种保持稳定的保证。自组织理论虽然为解释物种的非连续性爆发提供了理论上的可能性,但目前的研究只是一种粗线条的勾勒,对于系统跃迁时新物种如何迅速产生以及系统如何保持稳定缺乏具体的论述。

三 新物种迅速产生的可能性和来源

生物进化自组织理论中系统跃迁的首要问题在于新物

种是如何在短时间内从无到有迅速形成的。在自然选择学说中,基因的变异和逐渐积累是新性状形成的来源,并不能说明快速形成的原因。现代生物学的发展表明,对于跃迁过程中新物种的迅速形成主要有以下几个方面的可能性和来源:

(1) 可能发生的大突变

达尔文限于当时生物学发展的水平而无法解释大的突变的产生,他固执地认为自然选择是一个靠非常微小的变异逐渐积累的异常缓慢的过程。他宣称:“自然选择的工作必须靠微小并对生物有利的遗传改变,经过长期不断的积累而成。”^[4]而现代分子生物学的研究表明,控制生物性状的基因中,有一些发挥主导作用的基因,称为主基因,它们身上发生的突变就可能造成个体极大的变异。比如在多种生物中有一种基因称为“同源异形”(homeosis)基因,在发育过程中控制生物体各部分形成的位置。这种基因在大部分动植物中都存在,调控的机理也非常相似。如果同源异形基因发生突变,能够导致生物体结构发生重大的改变,使生物体某一部位的器官变成其他部位的器官。比如果蝇身上的同源异形基因发生突变,能使果蝇的身体到处长眼睛,在该长眼睛的地方长出翅膀,或者在该长触角的地方长出了脚。如果某种植物的“同源异形”基因发生了突变,就可能在该生花瓣的地方生了花蕊,在该生雄蕊的地方生了雌蕊。

(2) 环境对生物性状的塑造

上面所述的是生物适应环境变化的方面,另一方面,环境中的一些因素(比如紫外线、放射性辐射等)除了对变异起选择作用外,还能直接诱导生物性状发生巨大的变化。看看现代生物学研究中的例子就可以明白环境是如何诱导生物性状发生变异的,地球上的植物种子或动物的受精卵经卫星搭载到太空中经受一些射线的辐射后,回到地球上就产生了新的性状,比如结实率上升,籽粒变得更加饱满,畸形动植物等。发生这些变异的机理可能在于太空中的辐射造成了基因突变。太空育种、辐射育种就是利用的这个道理。这可以证明,系统中环境变化形成的巨涨落,能够诱导生物产生出新的性状或新的类型。

(3) 生物的多样性和适应性

生命自产生的那一刻起,就逐渐适应了各种各样的环境。上到空气稀薄的大气层,下到几千米的大洋底部,冷到南北两极的冰川,热到温泉甚至火山口的喷发物,不管多么恶劣的环境,都能发现生命形式的存在。这样当环境发生巨大的变化时(如冰川、海啸、彗星撞击等),总可能有一些生命形式由于适应环境而存活下来,并迅速繁衍生殖,使整个系统又得以出现有序的状态,完成系统的跃迁。比如恐龙灭绝后,一些经过严酷环境考验的生物又得以生存下来并重建地球生态系统。冰川过后情形也是如此。

当生态系统由于某种因素发生巨大变化而进入非平衡状态时,上述因素可能成为生物非连续性大爆发的来源。比如,环境因素的巨大变化诱发了多种生物大突变的发生,形成新物种的大爆发;或者,随着环境发生的巨大变化,许多物种由于不适应而灭绝了,但总有一些能够适应的种类生存了

下来,并由于适应而迅速地扩张开来,也可以造成大爆发的景象。

四 种群或系统维持稳定的机制

如前所述,在生态系统跃迁的过程中,新物种的产生和发展使系统达到另一种有序的状态,然后新的种群或系统的平衡态如何得以保持稳定呢?在自然选择学说中,遗传是物种稳定的保证,但却不能给出种群或系统稳定的机制。达尔文只强调了自然界的斗争,只有斗争,种群或系统的稳定是不可能的。事实上,自然界中除了斗争以外,普遍存在合作的现象。斗争是阻止新物种成长并使系统趋于消亡的力量,合作是新物种发展壮大并使系统维持稳定的力量。正是斗争和合作两种力量的此消彼长形成了系统中的涨落,系统在涨落变化的张力之中维持着动态的平衡。近年来一些学者的研究成果表明:为达尔文所忽略的合作现象在自然界中广泛存在,而且具有其存在的必然性,斗争和合作两种策略的结合可以使系统保持进化稳定状态。

1. 合作现象在生物界广泛存在

合作在这里具有比较广泛的涵义,包括除了斗争之外的所有具有互利性质的行为,比如共生行为、分工协作行为和利他行为等。

(1) 共生行为

指两种或同种个体之间相互依存的关系。豆科植物和根瘤菌之间是共生的关系,根瘤菌从植物体内获取营养和氧气迅速繁殖,植物从根瘤菌那里得到所需的营养物质和水分茁壮成长。白蚁和鞭毛虫也具有共生的关系,白蚁的肠道为鞭毛虫提供生活场所,鞭毛虫帮助白蚁消化其赖以生存的纤维。

(2) 分工协作行为

指两种或同种个体之间紧密合作的关系。蚂蚁是具有社会性的动物,在蚂蚁群落中,具有严密的分工合作制度。雄蚁和蚁后专门产卵繁殖后代;工蚁从事饲养、清洁、觅食、防卫、建巢等工作。有一种小鸟和凶残的鳄鱼之间有很好的合作关系,小鸟啄食鳄鱼进食后牙缝中留下的肉渣作为食物,而鳄鱼则借此起到清理口腔的作用。

(3) 利他行为

指动物个体牺牲自己,让同种其他个体受益的现象。许多种类的小鸟在看到捕食的猛禽飞近时都会发出特有的警告声,同种的鸟群一听到这种警告声便会采取适当的逃避行动。发出警告声的那只鸟由于把捕食者的注意力吸引到自己身上,因而处于危险的境地,有可能为了鸟群的利益而成了牺牲品。蜜蜂中也有利他行为的存在。在有外敌入侵掠夺蜂蜜时,成群的工蜂会勇敢地用尾部的刺去蜇入侵者。这种进攻对赶走入侵者十分有效,但却会把工蜂体内的一些内脏也拖了出来,这样工蜂很快就会死去。

通过对生物的这些和谐行为的研究,道金斯(Richard Dawkins)提出了“自私的基因”学说。^[5]该学说认为,生物的遗传单位既不是个体,也不是群体,而是基因。个体和群体只是基因的临时承载体。基因是永恒的,它既是遗传的基本单

位,也是自然选择的基本单位。基因的本质是自私的,它控制着生物的各种活动和行为,这些活动和行为的惟一目的就是为了使基因能更多、更快地复制。只要能达到这一目的,基因无所不为,表现出来的活动和行为多种多样。当然也包括以上的共生、分工协作和利他行为,这些行为都是为了基因很好地复制和传播。

在上述的合作现象中,共生以及分工协作行为能使每个个体得到比单干更多的好处,从而有利于个体自身基因的传播。有利他行为的生物个体自己做出了牺牲,自身基因无法传播或传播能力下降,如何用基因的自私性来解释呢?解决这个问题很关键的一点,就在于广义适合度概念的提出。适合度(Fitness)是衡量个体存活和成功繁殖能力的一个标准,体现为个体自身基因的传播能力。广义适合度(Inclusive fitness)则是指同类基因的传播能力,而不一定是个体自身基因的传播能力,指称范围由个体基因扩大到同类基因。如鸟群中的报警小鸟与其他受益小鸟,蜂群中的工蜂与蜂王及其后代,这些同种生物的不同个体所携带的基因有很多甚至绝大部分都是相同的。这样,牺牲个体或通过少数个体付出代价而使更多的同类个体能成功地生存和繁殖,实际上就是使更多的同类基因能成功地生存和复制,提高了广义适合度。

从广义适合度的角度来说,利他行为对于种群基因的传播非常有利。行为利他,基因利己。这说明,虽然基因是自私的,但物种在自然界的表现却可以是多种多样的,既有斗争,又有和谐,两者并不矛盾。只要提高了基因的广义适合度,对于物种的繁衍和进化就是有利的。

2. 合作具有存在的优势以及产生和发展的必然性

基因是自私的,生物界是自私基因的海洋,采取合作策略的个体在自然界有它的生存空间吗?通过计算机模拟的方法,艾克斯罗德(Robert Axelrod)研究了生存中各种策略的优劣、合作策略如何生存发展以及群体的进化趋势等问题。^[6]

首先,他请博弈论专家们设计了一些策略程序,然后进行了两轮“囚徒困境”的对战,看哪种策略能在竞争中胜出。在他的两轮游戏中得分最高的程序都是加拿大数学家罗伯布写的“一报还一报”(Tit-for-Tat)策略。这个程序的思路是这样的:第一次对局采用合作的策略,以后每一步都跟随对方上一步的策略,你上一次合作,我这一次就合作,你上一次不合作,我这一次就不合作。经过综合分析,艾克斯罗德总结出优胜程序的四个特点:一是“善良”,从不首先背叛;二是“报复”,不能总是合作,对于对方的背叛行为要回应;三是“宽容”,不能没完没了的报复,对方只要改为合作,自己还要合作;四是“清晰”,自己的合作态度要让对方能够很快领会。由于“一报还一报”同时具备了以上的四个特点:善良性,报复性,宽容性,清晰性,所以成为了最优策略。这个策略中的“善良性”和“宽容性”决定了这是一种合作的策略,虽然也有斗争(报复性),但总的来讲还是合作的(宽容性)。“一报还一报”作为合作者的代表取得了最优。

然后,艾克斯罗德又设计了一组进化论的实验对动态进化群体中合作策略的生存发展及群体进化趋势进行了研究。

首先假设策略群体是一代代进化下去的,进化的规则有三条:一是试错,试验各种做法,哪个结果好就照哪个去做;二是遗传,某个个体如果合作性好,它的后代的合作基因就多;三是学习,对策者可以相互学习,好的策略得到传播。按这样的思路,艾克斯罗德设计了一个实验,在所有对策者中,谁在第一轮中的得分高,他在第二轮的群体中所占比例就越高。这样,群体的结构就会在进化过程中改变,由此可以看出群体是向什么方向进化的。实验结果是“一报还一报”策略在群体中发展壮大,所占比例越来越高,群体向越来越合作的方向发展。

艾克斯罗德对合作策略的生存发展及群体的进化趋势作了分析:由个体突变产生的某种合作策略一开始是个别的,在其他个体都采用不合作策略时有被淘汰的危险,但如果它只在小范围内活动,只和少数其他个体打交道,那它很快就会适应环境。只要它有了子孙,构成一个小集团,就可以通过合作而受益,提高适合度。艾克斯罗德发现,一定条件下,只要群体的5%或更多成员是合作的,这些合作者就能生存,而且,这个合作的群体会越来越大,最后蔓延到整个群体。反之,在一个合作者占多数的群体中,不合作者是无法发展壮大而最终侵入的。群体向合作进化的棘轮是不可逆转的,它的合作性越来越大。

艾克斯罗德的研究从理论上说明了生态系统中合作力量的存在,这种力量和达尔文强调的斗争的力量一起构成了系统动态变化的两种张力。

3. 斗争和合作两种力量的相互作用使种群或系统进入进化稳定状态

种群或系统在新的有序状态下是如何保持稳定的?史密斯(J. Maynard Smith)和普莱斯(G. eorge Price)利用博弈论的方法研究了进化稳定的策略问题。^[7]其基本思想是:对于一个群体来讲,存在一种进化稳定策略,如果该群体成员都采用这种策略,则由于突然变异而产生的采用其他任何策略的个体都无法侵入这个集团,该群体就达到了一种进化稳定状态,不适合这种策略的突变小群体最终会被自然选择所排除。一般情况下,斗争策略和合作策略的混合策略是进化稳定策略。

“鹰鸽博弈”很好地证明了这种混合策略的进化稳定性。其中“鹰”和“鸽”分别指斗争型和合作型这两种策略或策略类型。斗争型策略:坚决战斗;合作型策略:回避战斗。鹰鸽双方的得益可以用矩阵表示如下:

表1 “鹰鸽博弈”得益矩阵

	鹰	鸽
鹰	$(v - c)/2, (v - c)/2$	$v, 0$
鸽	$0, v$	$v/2, v/2$

在上述得益矩阵中: v 代表双方争夺的利益(比如领地、增殖机会等), c 是争夺中失败一方的损失。如果双方都采用攻击策略,那么双方获胜和失败的概率都是 $1/2$,因此各自的期望利益都是 $(v - c)/2$ 。如果双方都采用和平策略,那么双

方能够分享利益或各有一半机会获得利益而没有损失,因此各有 $v/2$ 单位得益。如果合作策略遇到斗争策略,那么斗争策略方获得利益 v ,合作策略方得不到任何利益也没有损失。

由上述矩阵可以看出,由于 $v > v/2$,所以只有鸽策略不可能形成进化稳定策略,一味退让总要吃亏。当 $v < c$ 时,两种策略的混合策略是进化稳定策略,混合策略既可以是每个个体都以某种概率分别采用两种策略,也可以是在群体中一定比例的个体只采用鹰策略而另一部分只采用鸽策略。这种进化稳定策略意味着当采用鹰策略的总概率高于平衡点时,鸽策略上算,因为多数强者都被争斗弄得两败俱伤时,弱者可以坐收渔利;反之弱者多了,强者争斗损失变小,强者合算。在资源价值 v 不变时,争斗损失 c 越大,越对鸽派有利。在当 $v > c$ 时,鹰策略是进化稳定策略,即如果资源的价值大于争斗成本时,争斗是上算的,但如果种群全由鹰派组成,这时就要考虑个体之间战斗能力的差异,自然选择必然促进战斗力的增长,使得争斗成本 c 逐渐增加,最后使不等式倒转,导致鸽派的侵入,进入混合策略,因此,鹰派和鸽派通常是共存的,一般情况下,稳定的群体采用的都是两者的混合策略。

自然选择学说从生物界本身的现象、规律和证据出发,具有充足的论据和翔实的具体内容,从而形成了令人信服的学说体系。生物进化的自组织理论是对进化理论的巨大发展和补充,为研究生物的进化提供了更为宏观和全面的视角,尤其是为认识生物进化过程中的非连续性爆发现象提供了指南。然而,一则由于其脱胎于热耗散理论等其他学科领域的理论,二则由于研究尚未深入,所以虽然有了理论,但理论中的术语所指称的实体难以落实,尤其对于生命体形成以后阶段的进化更是如此,比如,涨落具体指什么?系统跃迁后新要素的来源在哪里?维持系统稳定的力是什么等?其实,生物学的各具体学科及其相关学科对这些问题都有了一定的研究,只不过是两者还未能很好地结合在一起而已,两者的结合将使自组织理论更加有力。从以上的分析可以得出这样的结论:自然界中存在产生生物大爆发的可能性和源泉,种群或系统稳定的机制在于斗争和合作两种力量的相互作用。

【参 考 文 献】

[1]达尔文.物种起源[M].北京:科学出版社,1972.310.
 [2][4]詹腓力.审判达尔文[M].钱锺等译.北京:中央编译出版社,1999.2-3,40.
 [3]Stuart A. Kauffman. The Origins of Order: Self - organization and selection in evolution. New York: Oxford Univ. Press, 1993.
 [5]理查德·道金斯.自私的基因[M].卢允中等译.长春:吉林人民出版社,1998.74.
 [6]Axelrod, Robert and Hamilton, William D. The Evolution of Cooperation [J]. Science, 1981(211):1390 - 96.
 [7]J. Maynard Smith and G. R. Price. The Logic of Animal Conflicts [J]. Nature, 1973(246):15 - 18.

(责任编辑 董 华)