

突现论的类型及其理论诉求

——复杂性科学与哲学的视野

范冬萍

(华南师范大学公共管理学院,广东 广州 510631)

摘 要: 复杂性科学、认知科学和心智哲学的兴起和发展,使“突现”成为当代复杂性科学和哲学研究的一个前沿和热点。英国突现主义学派曾在哲学层面上,勾画了一个关于突现理念与问题的全景。而现代各种突现论则从不同进路,对突现的特征进行了不同程度的描述和刻画,表现出不同的理论诉求。我们将目前的主要突现理论分为三类:系统层级突现论、系统进化突现论、复杂系统突现论。

关键词: 突现;层级;进化;复杂系统

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1003 - 5680(2005)04 - 0049 - 05

近年来,由于复杂性科学、认知科学和心智哲学的兴起和发展,“突现”(emergence)这个曾经极富争议、甚至有点名声狼藉的哲学概念,在多年的沉寂后,又重获新生,并成为当代复杂性科学和哲学研究的一个前沿和热点。以研究复杂性著称的美国圣菲研究所已明确提出:“复杂性,实质上就是一门关于突现的科学。我们面临的挑战,……就是如何发现突现的基本法则。”^[1]他们甚至将突现作为圣菲的一个主题和理念。国外的许多重要哲学杂志以及国际会议也以突现作为重要论题。特别是对突现论与还原论、突现性与因果性、突现与科学解释的关系等问题展开了热烈的讨论和研究。目前,国内学界对这些问题尚未引起足够的关注和探讨,本文拟依据一些较新的文献对突现问题作一初步研究,以期抛砖引玉。

一 突现概念与问题的提出

突现作为一个学术术语的提出可以追溯到近代穆勒(J. S. Mill)的两种因果关系学说。穆勒认为,存在两种因果关系,一种是“合成因果关系”,即由同质的原因(homeopathic causes)以合力的原则导致其结果,这个结果等于诸种同质原因分别作用的总和(例如力的合成),这种因果关系由同质定律所支配;另一种因果关系称为“异质效应”(heteropathic effect),其特征是多因共同作用产生的结果,不等于各个原因

单独作用的总和,这种因果关系由异质定律所支配。(例如氢氧化合成水,水就不是氢、氧分别作用的总和)。1875年,哲学家 L. H. Lewes 继承了穆勒的思想,将第二种因果关系称为“突现”,由此正式赋予突现以哲学意义。

19 世纪末 20 世纪初,一批学者开创了英国突现主义学派,他们主要在哲学层面上,以“突现”为核心概念勾画了一个突现理念与问题的全景。首先,他们将突现问题的实质视为层次之间的关系问题。提出:1、世界是一种层级结构和突现进化的,世界的层次是按照事物的有组织复杂性不断提高而划分的。按 Morgan 的说法,最基本的层次是物理物质、生命与心灵三大层次。每一大层次中还可再划分为若干小的层级,例如物质层级可进一步划分为电子、原子核、原子、分子和有机物等,而心灵的层次又可划分为感觉、知觉与理智等。从一个层次到一个更高的层次的发展被称为突现进化。而每一层次都对应着一门或几门专门的学科。2、突现规律就是跨层阶规律(trans - ordinal law)^[2]。每一个层次都具有某些基本的、不可还原的性质与规律,高层次性质是从低层次性质中突现出来的,它由跨层次的“突现规律”所支配。突现性通过跨层阶规律得到确认,每一个突现性都是至少一个跨层阶规律的结果。C. D. Broad 对这个问题作了比较彻底的阐述:“高层次 B 具有低层次聚合体 A 所不具有的性质,并且这些性质是不可从 A 性质以及 B 复杂性结构中通过任何

【收稿日期】 2005 - 03 - 30

【作者简介】 范冬萍(1965 -),女,华南师范大学科技哲学教授,在职博士生,公共管理学院副院长,主要从事复杂性科学哲学、科技伦理研究。

在低层次中支配自身的组成规律中演绎出来。^[3]其次,他们将突现特征概括为以下四个:1、突现性是高层次所具有的新性质。即“高层次B具有低层次聚合体A所不具有的性质”,正如S. Alexander所强调的,“高层次性质来源于低层次的存在,那是它的根;但是既然它从那里突现出来,就已经不属于那个层次了,而构成一个新的存在阶层并拥有自己特殊的行为规律。”^[4]2、突现具有不可预测的新奇性。也就是说,在突现出现之前,即使我们对支配它的组成部分的特征及其规律有完备的认识,也不能预言它的出现。Morgan说:“新关系与旧关系的区别,就在于它所具有的特殊性质的不可预测性。在它们成为事实而为我们观察到之前,我们无从预先推测。”^[5]3、突现表现为层次间具有不可还原性。每一个层次都具有某些基本的、不可还原的性质与规律,高层级性质是从低层级性质中突现出来的。它由跨层级的“突现规律”所支配,“突现规律”具有根本性和不可还原性。一个跨层级规律陈述的是不可还原的事实:一个由相邻低层次以某种比例和方式组成的集合体,就会拥有某种特征和不可演绎的性质。4、高低层次之间存在着两种因果关系。一方面,高层次由低层次经组合而产生,它不能脱离低层次事物而独立存在。用Morgan的话来说:“没有心灵是不包含生命的,没有生命是不包含物质的”。另一方面,高层次具有低层次所不具有的性质并对其组成部分(低层)有支配作用。即突现意味着高层因果作用的出现。

20世纪30年代后,突现论日趋式微。但英国突现主义提出的许多观点已触及了突现的主要问题,当代各种突现论可以说是在英国突现主义提出的突现四个基本特征的基础上进行不同程度的取舍与深化。20世纪末,随着复杂性科学、计算机科学、生命科学和认知科学等交叉学科的迅速发展,科学地解释突现现象成为当代科学研究的一个目标,“突现”也重新成为哲学反思的重要议题。目前,不同学者从不同的学科背景和研究进路,对突现的不同侧面进行了深入和细致的研究,形成了各具特色的突现理论和学派。根据对突现特征的描述和刻画的强弱,以及各理论的不同诉求,我们将目前的主要突现理论分为三类:突现论:系统层级突现论;突现论:系统进化突现论;突现论:复杂系统突现论。

二 突现论:系统层级突现论

突现论可以说是在机械论与活力论、还原论与反还原论的长期论争中探寻和发展出来的一条中间道路。它抛弃了活力论的活力物质,但是在某种意义上,又保留了不可还原的生命品质和过程。因此,许多突现理论都将不可还原性视为突现概念和理论的一个强的特征。对于这些突现论来说,系统的一个性质被认为是突现的,当且仅当它是不仅拥有低层次组分及其行为所不具有的性质及行为,而且高层次的性质和行为不能通过还原得到解释,即,包括在本体论和认识论上的不可还原。我们把这种强调系统层次间具有不可还原性的突现概念和理论称为系统层级突现论。具体观点如下:

1. 突现性就是系统所具有,而其组成部分所不具有的新

性质。即系统在宏观上所表现的整体性。

宏观整体性是所有突现概念所具有的基本特征和含义。“整体大于部分之和”可谓对这种突现性的一种最早的通俗表述。有学者将仅具有这种特征的突现称为“标称突现”(nominal emergence)^[6]或弱突现(weak emergence)^[7],这是各种突现论都承认的一种突现性质。邦格对突现的这个最基本的特征曾给出了一个较明确的定义^[8]:“设x为一具有A组成CA(x)的系统,P为x的属性,则有

(i) P是A的组合(resultant)(或相对于层次A的组合),当且仅当,x的每一A分量(component)都具有P。

(ii) 不然的话,即如果x的任一A都不具有P,则P是A突现(或相对水平A的突现)。

2. 突现性是宏观层次所拥有的一种本体上不可还原的、根本的性质。

本体的不可还原性可分为两种:一种是因为系统宏观层次具有了一种“下向因果关系”(downward Causation)而具有的不可还原性。下向因果关系这个概念,是由心理学家唐纳德·坎贝尔(Donald Camell)于1974年首次提出来的。他在这篇论文中写道:“所谓下向因果关系原理就是处于层级的低层次的所有过程到受到高层次规律的约束,并遵照这些规律行事。”^[9]即系统宏观层次对其微观层次的组成部分施加的一种下行的因果效应。许多当代哲学家都将下向因果关系视为突现性的一个典型特征。如当代美国著名哲学家J. Kim认为:“下向因果关系在某种意义上说是突现论研究纲领的关键点所在。”^[10]并强调,如果你相信突现性质的话,那么突现有它们独特的因果效应就是一个完全自然且合理的断言。英国哲学家卡尔·波普也支持这种观点并作了如下解释:“我们说的下向因果关系,就是指一种较高层级的结构对它的次级结构起着原因的作用。理解下向因果关系的困难就在于此。”我的意见是:下向因果关系有时候至少可以解释为作用于随机起伏的基本粒子上的选择。……一种随机运动,当它顺应较高一级结构时就被接受下来,不然的话就遭排斥。”选择压力就是这样通过选择对具体的生命机体产生一种下向作用,这种作用也许可以用由遗传联结的世世代代的漫长序列来加以放大。^[11]也就是说,高层次对低层次组分的选择力是下向因果力的一种主要形式。例如,生存竞争和自然淘汰是高层次规律,它对基因突变这个低层次的随机变化的选择作用,就是一种下向因果关系。另一种本体上的不可还原性是指整体性质的不可分析性。不管是从微观上还是从宏观上,那些在行为上不可分析的系统整体属性,(必然)就是不可还原的。如心理学上的格式塔变换。这种性质常被称为第二性质,这种现象被称为副现象。感受特性似乎是这种不可分析的不可还原性的一个最好例证。

3. 突现性是系统整体在解释上的不可还原性。

即一个系统S的一个整体性质P是不可还原的,当即使在原则上从系统的组成部分及其结合方式也无法推出S具有性质P,那么,性质P就是突现。早在英国突现论者那里,已明确将层级之间解释的不可还原性作为突现的一个重要特征。如布罗德(C. D Broad)有一段在今天看来仍然是经典

的论述:有一些整体是由部分 A、B、C 以 R 为相互关系组成的;所有以同样的成分 A、B、C 并以同样的关系 R 构成的整体都具有一些特殊的性质;在其他关系不同于 R 的复杂结构中,A、B 和 C 照样出现,但是,即使是对单独状态下的、或不同于整体 R (A、B、C) 的其他整体中的 A、B、C 的性质的复杂知识了如指掌,理论上也无法推出整体 R(A、B、C)^[12]根据布罗德的定义,一个系统的性质是突现的,当且仅当它无法从系统的组成部分的组合中以及它们“单独时”或在其他(更简单的)系统中演绎地推出。目前的复杂性研究中,也有一些学者从解释的不可还原性视角定义突现。如,新英格兰复杂系统研究会(NECSI)在其创办的杂志《突现:组织与管理中的复杂性问题》中认为:在复杂系统研究中,突现的概念是用于指似乎不能由系统已经存在的部分及其相互作用充分解释的新的模式、结构与性质的兴起。

三 突现论 :系统进化突现论

在系统层级突现论中,不可还原性包含了某种不可预测性。但系统进化突现论的核心是关注系统在进化过程中所产生的新性质或新结构的不可预测性,强调的是突现性或突现结构产生前后的历时性关系。对于这种系统进化突现论,首先排除了所有预成论,然后是强调那些在初次形成之前原则上不可预测的性质,就是突现性。具体观点如下:

1. 突现性表现为一种进化中的新颖性。

在演化过程中“真正新事物”的范例会一而再、再而三地出现。现已存在的实体可能形成新的组合,产生新的结构,从而形成具有新性质和行为的新实体。霍兰以“简单中孕育着复杂”阐释了突现的从简单到复杂的新事物不断生成的基本特征,并进一步指出:“少数规则和规律就能产生令人惊讶的、错综复杂的系统,这种复杂性不仅来源于系统随机模式本身,而且也与从局部到整体的过渡密切相关。少数规则和规律生成了复杂的系统,而且以不断变化的形式引起永恒的新奇和新的突现现象。”^[13]因此,新颖性是突现的一个显著特征。

2. 突现性表现为进化过程中新事物或性质生成的不可预测性。

突现性的不可预测性主要基于三个方面的原因:(1)宇宙的非决定性。这个信念必然暗含着宇宙和事物是进化的,且进化过程中会有新颖的、不可预测的结构出现。波普尔就认为,突现的这种不可预测性取决于物理宇宙的根本的不确定性。“高层次的任何变化(如温度)都会影响到低层次(如单个原子的运动)。单向支配(事物的高层支配着事物的低层)主要是由于原子热运动的随机性而造成的……因为如果宇宙是一个完美的决定论大钟,那么就不会有层次,也不会发生这样支配性的影响。这说明不同层次或阶次的突现,以及层次之间相互作用的突现,取决于物理宇宙的根本不确定性。每个层次都有来自低层次的以及高层次的因果作用。”^[14](2)决定论的混沌规律。混沌理论揭示了存在一些、甚至是非常简单的函数,这些数学函数本身的形式是决定论的,但其“行为”却是无法预测的。这些复杂系统的非线性数

学理论,否定了系统将来状态的精确可预测性。某一变量初始值的微小变化将导致函数轨道的急剧变化。决定论混沌规律决定了新结构的不可预测性,展示了一种结构突现行为。如果把一个奇异吸引子作为突现现象的例子,那么,至少可用数学理论支持这个独特的突现现象的不可预测性特征。这个例子可以有效地反驳某些认为突现的不可预测性只是临时性的论点。(3)系统整体性的不可还原性。如果系统整体性是不可还原的,那原则上也是不可预测的。反命题则不成立。因此,原则上系统整体性的不可预测性与这些属性被还原为显示这些属性的系统的微观结构是可相容的。

四 突现论 :复杂系统突现论

复杂性科学对突现的研究进路有一个关键性的突破:揭示突现产生的机制。“目前对复杂性的兴趣主要是关注复杂性产生和维持的机制,关注描述分析复杂性的工具。”^[15]布鲁塞尔自由大学的学者 F. Heylighen 也指出,“迄今为止,对于什么是突现性质的描述或什么是突现存在的条件,都没有满意的理论对此加以解释”。我们需要“从传统的静态的观点,转换到动态的进化的观点来看待它,将‘一种突现性质是如何表现的’(How can a property be emergent?)问题转换为‘一种突现性质是如何产生的’(How can a Property becomes emergent?)问题”^[16]我们只有弄清楚了系统中突现现象的规律,才会真正了解这些复杂系统。正是在先进计算机工具的帮助下,复杂性科学家对突现的产生机制进行了深入探索,并对神经网络、人工生命、生态系统等典型的复杂系统的突现现象进行了模拟研究,试图给突现现象寻找可操作的描述方法,建立符合现代科学规范的突现机制模型和理论,从而使突现成为一个科学概念。然而,如霍兰所说:“像突现这么复杂的问题,不可能只是服从一种简单的定义,我也无法提供这样的定义。但是,为研究这一问题,我可以提供一些标识。”^[17]的确,在对各种具体的复杂系统的突现研究中,一些学者概括出关于突现的共同特征和标识,我们称这些理论为复杂系统突现论。主要观点如下:

1. 突现是复杂系统的一种整体模式、行为或动态结构。

复杂性科学研究的对象是复杂系统。因此,复杂性科学探索的突现就是指复杂系统的突现,这是复杂系统突现论的前提限定,也是其区别于其他突现论的特征之一。对于什么是复杂系统,虽没有一个统一界定,但正如许多学者提出的,突现赖以产生的复杂系统至少具有以下特征:非线性、自组织、非平衡、吸引子。因此,“突现是指在复杂系统的自组织过程中出现的新颖的和连贯的结构、模式(patterns)和性质,相对于它们所出自的微观层次的组成部分和过程,突现现象是在宏观层次上出现的现象。”^[18]其次,突现是一种动态结构。宏观层次上的结构、模式或行为并非复杂系统预先给定,而是在时间的进化中形成的一种动态结构。系统科学家埃里克·詹奇在《自组织的宇宙》一书中谈到,耗散结构以及其他的复杂系统在本质上是一种过程结构,他说“我们在此所称之为结构的东西,不是由同种成分组成的稳固的结构,而是一种动力学秩序,……它是一种过程的结构。”^[19]

2. 突现是一个自组织的层次跃迁过程。

如前所述,复杂性科学为突现研究提供了一个关键性的进路:揭示突现生成机制。许多学者在具体科学研究的基础上概括出突现产生的一些普适性机制。如 Herbert A. Simon 曾用钟表匠组装钟表隐喻地说明了复杂系统突现的一个根源就是存在着稳定的中间形式,进而形成等级层次性,有多层级突现的系统是最适者。自然选择将淘汰那些没有层级突现的系统。然而,作为自然选择基本单元的多层级系统或型构、性状又是怎样形成的呢?它们只是完全随机组合的结果吗?对此,系统科学家和生物学家斯图亚特·考夫曼通过计算那些无生命的大分子,以通过偶然组合恰到的好处相互凑合在一起成为一个活的最简单的生命体的概率,说明这种可能性“可以跟一阵龙卷风刮过垃圾站,用其中破铜烂铁装配起一架波音 747 相提并论”。考夫曼等人认为,生命的起源,复杂系统的突现首先是系统通过自组织机制形成层级结构,并通过新控制关系的出现来实现层级的跃迁。突现实质上是一种层次的跃迁,是在新的层次上出现了新的行动者或新的控制关系和行为方式。这是自然选择机制发挥作用的前提和基础,并通过自然选择使这种适应环境的自组织和层级跃迁的模式稳定下来。

3. 突现具有非迭代模拟的不可推导性或迭代模拟的可推导性。

复杂系统的突现具有不可预测性,研究者不能从微观层次的组成及其行为规则来演绎推出复杂系统的宏观特征。换句话说,就是在突现发生之前,研究者根本无法预料它的到来。这种不可预测的新颖性是复杂系统的典型特征。突现的不可推导性或不可预测性主要源于系统的复杂性。Mark Bedau 认为突现的这种不可推导性是微观层次大量非线性相互作用和脉络相关性(context - dependent)的复杂的结果。如在前面系统进化突现论中所提到的,突现在本体论上具有不可预测性。然而,正是微观层次的这种因果相互作用的聚集和迭代导致并展示出宏观层次的突现现象。因此,在认识论上突现又是可认识的,在复杂性科学研究中,有学者将这种具体的有限的可推导性称为“迭代模拟可推导性”。^[20]认为,我们可以通过建模来模拟这种微观的局部的因果相互作用的聚集和迭代来展示宏观现象如何产生。迭代模拟是一种特殊的、“摸着石头过河”,出现了才知道的有限的可推导性,通过计算机模拟可以展示复杂系统突现的产生过程。在复杂性科学中,“基于主体的”或“基于个体的”或“由下至上”的模型就是对突现的这种可推导的形式的模拟,霍兰的“约束生成过程”模型被认为是一个模拟突现生成的普适性机制,它可以帮助我们把握模型中有组织的永恒的未知和新奇。英国突现论者正是因为无法深入了解与突现现象产生直接相关的各种微观过程,所以他们只能把突现现象当作一种不可分析的最终结果,只能以一种自然崇拜和自然的虔诚来对待和接受突现现象。而复杂性科学正在发展一些方法和模型,例如计算机模拟,模仿和揭示了突现现象产生的有关因素和过程的复杂性。尽管无法完全把握复杂的微观因果过程的全部细节,但模拟可以使直接观察到宏

观层次的突现现象的特征和产生过程。因此,研究复杂系统的突现现象,我们需要模拟地推导,尽管这是不完全的,甚至在某种意义上,没有比模拟更弱的推导了。

4. 突现具有宏观层次解释的自主性。

由于突现具有宏观层次的独特行为和规律,因此,对突现的解释就需要对宏观层次的行为规律进行描述和刻画。还原论正是试图消解宏观层次的规律,完全用低层次规律来解释和代替宏观层次规律。复杂系统突现论则认为,突现的建构(construct)是解释的基础和起点而不是最终结果,突现解释在认识论上不仅是必需的而且是自主的,不可被还原解释所代替。著名的美国复杂性科学家霍兰在突现的研究中也“已经看到,在一种语境中很容易理解的突现现象,在另一种语境中可能会变得十分晦涩难懂。这里存在一个与描述的层次紧密相关的问题:一个层次(如物理学)中的规律可能完全约束另一个层次(如化学)的规律,但在后一层次中的规律能直接引导我们得到问题的答案;反之,根据第一个层次的原理而求解问题,其过程会变得十分冗长,甚至无法实现。”^[21]当我们能够明确表示出“宏观规律”,并用以描述这些突现现象的行为(如化学成键的规律)时,那么不论是在模型领域还是在真实世界中,我们在对问题的理解上都会受益匪浅。不论是康韦自动机还是真实世界中的一些过程,我们都不期望所观测的突现现象能够根据基本规律进行简单的描述。^[21]可见,正是宏观描述和宏观规律引出的方式揭示了突现现象的本质。当代还原论已出现的弱化趋势在某种意义上正是对突现解释的自主性的一种支持。

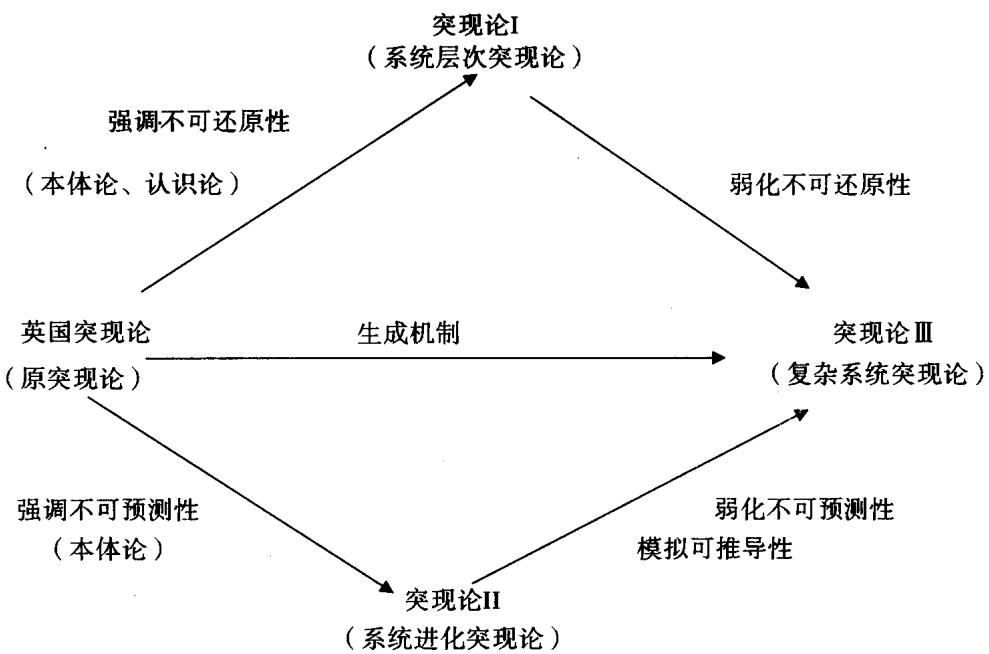
五 三种突现论的理论进路

综上所述,我们认为,关于突现的概念和问题域已基本清晰,主要包括以下这些问题:1、突现问题实质上就是层次之间的关系问题,包括系统结构的层次之间以及系统进化的层次之间的关系。2、突现性是系统在存在和进化中所具有的某种宏观整体性、新颖性、不可预测性、不可还原性。而宏观整体性是各种突现概念所具有的最基本特征和含义,也是突现概念的原初之义。3、根据对突现的特征的描述视角和刻画的强弱,突现概念和突现理论可分为三类:突现论:系统层级突现论;突现论:系统进化突现论;突现论:复杂系统突现论。

这三种突现论代表了突现问题研究的主要进路和理论诉求。系统层级突现论力图从共时性的视角来定义突现概念,并从本体论和认识论上对系统层级间的不可还原性进行了分析,特别是对高层次所具有的下向因果关系的强化,为心智哲学、认知科学中突现问题的研究,如意识问题、感受性问题等提供了重要的启示。可见,系统层级突现论与还原性的物理主义是不相容的。系统进化突现论则从历时性的视角,强调并探寻了新事物产生的不可预测性的本体论基础,反驳了突现的虚幻性和临时性观点,为复杂性科学的突现研究提供了本体论的支持。复杂系统突现论则以突现产生机制为依据,在认识论层面揭示了突现在(迭代)模拟意义上的可推导性和可预测性,或者说,除了模拟之外的不可推导性;

强调了突现在宏观解释上的基础性和自主性。因此,复杂系统突现论力图探寻和建立突现在科学认识和科学解释中的地位和作用。在认识论上坚持的是一种弱突现论,即突现现象是可认识和可解释的,在特定的条件和意义上还具有一定程度的可推导性和可预测性。同时,复杂系统突现论强调突现解释的自主性,并不完全否定还原解释,认为突现论与当

代弱还原论之间存在着一定的可兼容性。但是,在本体论上,复杂系统突现论坚持的是世界多元突现论的观念,即认为世界是具有多元层次结构的和突现进化的。显然,这种观念与彻底的还原论世界观是不相容的。
三种突现论及其与英国突现论之间的关系可用下图表示:



【参 考 文 献】

[1]米歇尔·沃德罗普.复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学[M].北京:三联书店,1997.115.

[2][4]Timothy O'Connor,Hong Yu Wong. Emergent Properties[A]. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2002.

[3][12]C. D. Broad. The Mind and Its Place in Nature[M]. London: Routledge & Kegan Paul. 1925. 77、61.

[5]摩根. 突创进化论[M]. 北京:商务印书馆,1938. 70.

[6][20]Mark Bedau. Downward Causation and the Autonomy of Weak Emergence[S]. The International Directory of on Line Philosophy Papers, 2002. 5 - 50.

[7]Achim Stephan. Emergentism, Irreducibility and Downward Causation[J]. Grazer Philosophische Studien. 2002. 77 - 93.

[8]M 邦格. 科学的唯物主义[M]. 上海:上海译文出版社, 1989. 27.

[9]D. T. Campbell, . Downward Causation[A]. Hierarchically Organized Biological Systemes. In Studies in the Philosophy of Biology, F. J. Ayala & T. Dobzhansky (ed.) Macillan Press. 1974. 176

[10]J. Kim. Supervenience and mind[A]. Cambridge University Press. in Claus Emmeche et al. Levels, Emergence and Three Versions of Downward Causation.

[11]K 波普. 自然选择和精神的出现[J]. 自然科学哲学问题丛刊, 1980(1).

[13][17][21] 约翰·霍兰. 涌现——从混沌到有序[M]. 上海: 科技出版社, 2001. 5、4、199 - 205.

[14]Popper, K. R. and Eccles J. C. The Self and Its Brain[M]. New York:Springer International. 1977. 35.

[15]司马贺. 人工科学——复杂性面面观[M]. 上海:上海科技教育出版社, 2004. 58.

[16]F. Heylighen. Self - organization, Emergence and the Architecture of Complexity[J]. Transdisciplinary Research Group, Free University of Brussels. 2001. 1.

[18]Jeffrey Goldstein. Emergence as a Construct: History and Issues[J]. Emergence: The Journal of Complexity in Management and Organization. 1999. Vol. 1. 52.

[19]埃里克·詹奇. 自组织的宇宙[M]. 北京:中国社会科学出版社, 1992. 27.

(责任编辑 殷 杰)