

系统科学的难题与突破点

Problems of Systems Science and Their Break Through Point

苗东升

(中国人民大学哲学系 北京 100872)

一、系统科学的发展瓶颈:复杂性

系统科学是由分属不同层次的诸多学科组成的一大门类新型科学,最初的几个分支:一般系统论、信息论、控制论、运筹学和系统工程,都诞生于20世纪40年代。50、60年代,应用理论层次的信息论、控制论、运筹学和工程技术层次的系统工程取得了巨大成功,强烈诱使科学家努力把它们推广应用于更广泛更复杂的对象领域;虽也取得某些成绩,却遇到了未曾料到的困难。例如,把现代控制理论应用于生物系统,提出所谓生物控制论,以线性系统为模型刻画极其复杂的生物体,至今并无(也不可能)有实质性的成果;应用于社会现象,提出所谓社会控制论,至今甚至还算不上一门学科。运筹学成功地解决了一批“结构良好”的简单事理问题,当转向解决所谓“结构不良”的复杂事理问题时,现有方法基本失效。申农信息论很好地解决了通信工程的理论问题,但对通信工程以外范围广阔的信息问题无所作为。诸如此类的挑战使上述学科自20世纪70年代以来都面临“向何处去”的问题。

到70年代,人们开始梳理系统科学的体系结构,贝塔朗菲、市川淳信等对此都有所贡献。最成功的是钱学森提出“三个层次一座桥梁”(即基础理论、应用理论和工程技术三个层次,桥梁指连通基础理论与哲学的系统论)的学科体系结构框架,把基础科学层次的系统理论命名为系统学。贝塔朗菲的一般系统论原则上属于基础科学层次的系统研究,对于把系统思想引入现代科学有历史性功绩,产生了深远影响。但它主要是关于系统概念和方法论的定性阐述,包含太多的哲学议论,具体的可操

量。如果我国有了若干个这样的群体,那么人才辈出、成果累累的时代也就指日可待了。

在实施“科教兴国”的战略中,我们可以把2002年的大会作为发展我国数学的一个新起点。这个大会不是一般性的学术会议,它的邀请报告是突出“数学统一性”这一主旋律的,是及时“精确反映我

作性内容太少,而且带有明显的生物学痕迹,本身还不是系统学,对于建立系统学亦未提出多少可行的意见。如钱学森所说,直到80年代系统科学的基础理论层次尚属空白。钱学森的这个诊断以及上述学科体系框架对系统科学的进一步发展有重要指导意义。

在基础理论层次最先取得突破性进展的是普利高津、哈肯等欧洲学者。他们依托物理学、化学和生物学的最新成果,以若干著名的物理化学系统(如贝纳德流、激光器、BZ反应、布鲁塞耳振子等)为背景,运用系统思想和数学方法深刻阐明这些系统如何从混乱无序的热平衡态产生出有序结构,又如何从一种有序结构演化为另一种有序结构,建立起耗散结构论、协同学、超循环论等自组织理论,把基础科学层次的系统研究推进一大步,使人们相信建立系统科学的基础理论是可能的。但这些理论带有明显的物理学和生物学脚手架,属于系统科学与自然科学的交叉学科,还不能算作系统学。

到80年代,基础理论层次的系统研究也转向主要研究复杂性问题。欧洲学者,特别是普利高津提出“探索复杂性”这一响亮的口号,把复杂性研究视为超越传统科学的新型科学,产生了广泛的影响(70年代,美国学者沃菲尔德虽然发表了《进攻复杂性》和《构造复杂系统》两书,但影响有限)。挟成功建立自组织理论的雄风,普利高津和哈肯等人满怀信心地要把各自的理论和方法推广应用于生物、经济、社会等复杂现象领域,着手建立复杂性科学,形成世界复杂性研究的重要学派。但近20年来,除在某些局部问题上有所收获外,他们的努力总的来说是不成功的。

在世界范围兴起的复杂性研究热潮中,最引人们这门学科当前所处的位置的”。对于成百上千的有志于献身数学事业的数学家,特别是青年一代数学家来说,这是“百年不遇”的大好机会,它能使许多人大开眼界,更新对数学的看法,并大大提高我们的研究水平。

(责任编辑 蔡德诚)

注目的是 1984 年成立的美国圣塔菲研究所 (SFI)。他们的雄心是面向生命、经济、组织管理、全球危机处理、军备竞赛、可持续发展等当今世界的所有重大问题,开展空前规模的跨学科研究,建立关于复杂系统的一元化理论,实质也就是系统学。SFI 学派的确取得了不少成果,在全世界产生很大影响,被誉为世界复杂性研究的“中枢”。他们在系统科学的基础理论方面虽然提出许多极富启发性的见解,但同样没有突破性进展,所谓复杂系统一元化理论何时可以建立尚无端倪可察,以致 SFI 学者自己在经过 10 年的探索并发表了一系列乐观宣言之后,又发出“从复杂性到困惑”的感叹。

中国系统科学界也处于从系统学到困惑的境遇中。从提出建立系统学到现在 20 个年头已经逝去,但真正的系统学何时问世仍难回答。写《系统学》一书的第一次尝试早已流产。总结 10 多年的经验,钱学森于 80 年代末给出系统的新分类,区分了简单巨系统和复杂巨系统。综合现有理论成果建立简单巨系统学的条件相对成熟一些,但仍有相对难度,已建构的几个理论框架都难以令人满意,完成这个任务还要假以时日。至于作为系统学主体部分的复杂巨系统学,钱学森提出的仅仅是一些十分粗略的设想,路途还相当遥远。

总之,在系统科学的基础理论、应用理论和工程技术三个层次的主战场都转向复杂性问题后,理论建设和应用实践的强烈需要与系统科学的现状之间形成巨大差距,使系统科学界普遍感到困惑,急盼新的突破,关键是基础理论的突破。那么,业已取得成功的那些学科何以获得成功?推广它们而未能成功的原因何在?突破点在哪里?让我们作点分析。

二、涌现性及其方法论难题

系统科学最早的开创者贝塔朗非认为,存在两类整体,一类是非系统整体,它们具有累加性,只要认识了组成部分,把部分的特性加起来就能得到整体特性。另一类是系统整体,特点是“整体大于部分之和”,了解整体不仅要了解部分,还要了解部分之间的关系,因为系统的整体性质是由各组成部分相互作用、相互激发而“涌现”出来的。因此,他把这门学科明确界定为“关于整体和整体性的科学”,在系统科学中首次引入涌现概念。在临终前的一篇文章中,贝氏强调把“整体大于部分之和”的命题作为对“基本的系统问题”的一种表述。这在一定程度上可以看作是贝氏对系统科学未来发展作出的学术交待:全部系统研究的目标和任务集中到一点,就是阐述整体为什么大于部分之和,制定描述大于部分之和的那些整体特性的科学方法。这个思想的重要

性越来越受到学界的肯定。

若干部分按照一定方式相互关联起来形成系统,就会产生出整体具有而部分及其总和没有的特性。不同的关联方式产生不同的整体特性,一旦把系统整体分解为它的组成部分,这些特性便不复存在。这种整体特性就叫做涌现性。例如,单个物质分子无所谓温度和压力,大量分子聚集为系统,就涌现出可以用温度、压力表示的整体特性;沙粒和细胞都由基本粒子构成,由于组织整合这些粒子的方式不同,细胞涌现出生命这种奇异特性,沙粒则没有;人的本质属性是社会赋予的,不能用个体的生理特性说明,脱离社会的“狼孩”不过是一个人形的动物。古人早已认识到美是事物的整体涌现性,所以才有“倾国宜通体,谁来独赏眉”的咏叹。诗家讲的境界,只能是诗的整体涌现性,寻章摘句是无法把握的。一句话,系统必有其组分没有的整体涌现性,它们是不能仅仅用部分特性来说明的。

涌现性的另一种表述是:高层次具有低层次没有的特性,一旦还原到低层次这些特性便不复存在。例如,物质实体在化学层次上具有物理层次没有的特性,在生物层次上具有物理化学层次没有的特性;生命不是物质原子或分子固有的属性,而是物质世界进化到生物层次才有的组织特性,是以生物大分子为构筑材料、按照细胞的特殊结构方式组织起来才能产生的特性,意识是在由大约 1 000 万个神经元组成的人脑这个物质层次上涌现出来的(还需同社会这种复杂环境相互作用),分解到神经元层次便不复存在;股市的运行规律是股市作为系统在宏观层次上涌现出来的特性,还原到微观层次的单个股民身上就看不到了。如此这般的高层次整体特性都仿佛泉水从看不见的地下神奇般地喷涌出来那样,是由于低层次的组成部分相互作用相互激发而涌现于高层次的。

50 年来的发展表明,系统科学的每一重要进展都是对描述涌现性的某种突破。早期的理论成果主要是控制论和运筹学,研究对象为简单系统,系统的功能、效益等都是它们的整体涌现性。但由于对象是无生命的物理化学系统,结构简单,涌现的水平低,依据自然科学基本原理建立子系统的数学模型,再根据系统特有的耦合方式直接综合得出整个系统的数学模型,或者依据实践经验用唯象方法直接建立系统模型,即可解决问题,这叫做直接综合方法,本质上仍属于传统科学的还原论方法。60、70 年代兴起的协同学等自组织理论处理的是简单巨系统(仍然是物理化学系统),尽管组分种类很少、相互关系简单,然而由于数量巨大,出现宏观和微观的层次划分,巨量的微观组分聚集于同一系统中,形成显著的群体效应,致使宏观层次出现简单系统无法比拟的较高级的整体涌现性,直接综合法

失效。但鉴于系统结构简单,组分是没有生命的物质粒子、内在差异不大,整体涌现性归结为系统宏观行为,服从概率统计规律。首先依据自然科学基本原理建立描述微观子系统的数学模型,再用概率统计方法实现从微观到宏观的过渡,建立描述系统宏观整体行为的数学模型,即可从理论上把握系统。如自组织理论的核心概念耗散结构、序参量、超循环等所反映的整体涌现性,都是巨系统的统计特性,用这种方法描述十分有效。这叫做统计综合方法,也是对现有科学方法借鉴和改造的结果,但仍然带有浓厚的还原论色彩。

一旦系统研究进入生命、社会、思维等领域,面对的是复杂巨系统,组分不但数量巨大,而且种类繁多,相互关联又异常错综复杂,从微观到宏观有许多中间层次,不同层次之间关系也很复杂。这种系统的组分本身往往已是复杂系统,可能具有主动性、适应性,甚至是智能主体,有价值追求,能够运用策略。这就使系统产生了更高级更复杂的整体涌现性,远远不能归结为统计特性,无法通过对微观子系统的统计综合得到宏观总系统的涌现特性。究其原因,一则微观组分本身就难以建立数学模型,二则不存在从微观到宏观的统计方法。如果环境也是复杂的,即复杂环境中的复杂巨系统,问题就更难解决。直接综合和统计综合均告无效,现代科学方法宝库中尚无可以借用的武器。

400 年来的科学主要是沿着还原论思想发展的,相信整体的性质要由部分的性质来说明,高层次的事物要由低层次的事物来解释;相信存在一个基本物质层次,一切问题最终都可还原到那个层加以说明,即一切事物都可以用物理学基本规律解释。还原论也要把握整体,基本工具是分析-累加法,决定性的环节是分析。但复杂性不是物质粒子固有的属性,而是组织的属性,是在客观世界由低级向高级的自组织演化中逐步涌现出来的,即简单性经过组织而涌现出复杂性。描述较低级层次上产生的涌现性,对分析-累加方法加以补充或修正即可奏效,直接综合和统计综合就是这样产生的。描述较高层次特别是生命以上层次的复杂巨系统所产生的涌现性,基于还原论的分析-累加方法显得力不从心。并非说这里完全用不上还原方法,而是说不能再以还原论为基础,必须超越还原论,创立全新的方法论去描述复杂巨系统才具有的高级涌现性。

正是在这里,系统科学遇到前所未有的难题。欧洲学派复杂性研究的停顿,在于他们把从物理化学系统的自组织现象中概括提炼出来的处理简单巨系统的理论和方法,径直地推广于各种复杂巨系统,即基于还原论去探索生命以上层次的复杂性。SFI 学派之所以感到困惑,是由于今天的学者包括

SFI 的代表人物都是由还原论科学训练出来的,尽管他们已觉悟到必须超越还原论,但业已形成的思维定势使得实行起来又难以一下跳出还原论的巢臼,在超越还原论之路上步履维艰。中国学者的状况也大体如此,80 年代构思的系统学框架,根本方法还是还原论的。提出开放的复杂巨系统概念是一大进步,但对这类系统极其复杂的整体特性如何从组分相互作用中涌现出来的机理毫无了解,至今并未下大功夫探究这种机理。人-机结合、以人为主的综合集成方法对于解决复杂巨系统预测决策问题是具有可操作性的方法,但不能作为建立系统学的可操作方法,不是揭示复杂性形成机理的适当工具。只要这种状况不改变,就无从下手去构筑复杂巨系统学的理论框架。

克服系统科学,特别是复杂性研究面临的难题,要求回答这样一些问题:什么是涌现?系统为什么会涌现?大自然涌现性的运作机制是什么?涌现发生的充分或必要条件是什么?如何判别涌现?如何描述涌现?怎样利用涌现造福人类(涌现的控制问题)?只有当人们能够对这些问题作出严谨而比较系统的科学解释,发现关于涌现性的基本规律,证明一批关于涌现性的定理,创造一套描述涌现性的方法,才能在系统科学发展中取得根本性突破。一旦有了这样的理论成果,期盼已久的系统学就算建立起来了。

三、进一步发展的突破点在哪里

建立系统学无疑是极其困难的,但希望的曙光似乎依稀可见。因为系统科学的几个主要学派对难题所在均已有了相当的自觉。20 世纪 90 年代,SFI 学者把涌现提升为“圣塔菲理念”之一,这种观点已引起欧洲和中国的复杂性研究者的重视,系统科学的三大学派都认识了研究涌现性的重大意义。SFI 学者发现,可以把一类复杂对象看作受规则支配的复杂适应系统,其组分是具有适应性的代理主体(agents),它们按照少数几条局部规则相互作用,就可以在演化过程中通过自组织涌现出难以预料的宏观整体特性。以计算机程序表述这些局部规则,建立基于计算机的系统模型,就可以在计算机上进行仿真试验,观察整体特性是如何涌现出来的。在一定程度上,这就是用实验方法研究涌现现象,有重要的方法论意义。实验方法对自然科学发展的巨大作用早已众所周知,但基本是在还原论指导下进行的,研究涌现性必须创造一套新的实验方法,即以系统论为指导的实验方法,计算机科学和计算数学的发展使人们看到了希望。

在同一时期,钱学森走的是另一条路线。他不大强调涌现概念,但主张从方法论上区分简单性与

蔡元培的大学理念对当前大学改革的启示

Cai Yuanpei's Theory on the University and Light on the Present University Reform Shed by It

肖海涛

(深圳大学高教所, 博士 深圳 618060)

蔡元培是我国近代历史上伟大的教育家, 他主持北京大学期间, 被称为“北京大学的蔡元培时代”。这一时期不仅是北大历史上辉煌灿烂的时期, 也是中华民族觉醒奋起的时期。发源于北京大学的新文化运动及五四运动, 为中国历史开辟了一个新纪元。可惜的是, 蔡元培这一伟大教育家的业绩和形象一直没有得到很好的宣传和发扬。就是在 1998 年北京大学百年校庆期间, 对他的宣传也很不够力度和完满。

剖析蔡元培的大学理念, 并用其精神指导当前

的大学改革仍具有深刻的现实意义和深远的历史意义。同时, 我们希望“江山代有人才出”, 时代需要出现更多的蔡元培。

一、蔡元培的大学理念

蔡元培身为翰林学士, 饱受儒家思想影响, 同时还做过注重自由研究的中国传统书院的院长; 另一方面, 曾留学德国, 深受德国经典大学理念的影响。正是这些影响在蔡元培身上的综合, 使他将注

复杂性, 凡是能用还原论方法处理的是简单系统, 不能用还原论方法处理的是复杂系统。作为一种方法论的综合集成法, 强调研究复杂巨系统问题必须超越还原论, 强调基于整个现代科学技术体系来解决复杂巨系统问题, 这种观点在科学方法论上与 SFI 观点是相通的。作为一种具有可操性的系统方法和思维技术, 综合集成方法就是基于现代科学技术体系, 利用现代信息技术, 把不同领域专家掌握的专业知识、各种统计数据资料、专家的实际经验和各种直感式的体会综合集成起来, 从而获得关于开放的复杂巨系统的整体定量认识。这样的综合集成是社会群体如何从感性认识涌现出理性认识的科学方法, 也属于把握涌现性的方法。

应当说, 这两条路子各有长短。SFI 注重研究系统机理和方法的可操作性, 重视模型方法和计算机模拟实验, 但观察问题的角度往往不够高, 他们倡导的人-机结合未能做到以人为主。中国学者注重探索一个个具体的开放复杂巨系统, 倡导以人为主的人-机结合技术路线, 主张集大成, 重视哲学思考, 观察问题的角度更高些, 但基础理论“味”不够, 缺乏对涌现机制的探索。如果能够把两者很好地结合起来, 优势互补, 就可能最终找到一条解决难题、实现突破的有效途径。

对于整体涌现性有两种基本的表述。贝塔朗非借用亚里士多德“整体大于部分之和”的命题来说

明整体涌现性, 是一种构成论的表述, 即在系统既定的情形下说明部分与整体的关系, 不考虑系统的形成、发展、演化。另一种是基于系统的形成、演化、发展来看, 可以把整体涌现性表述为“多来自少”, 或者“复杂来自简单”, 也就是老子所说的“有生于无”, 这是生成论的表述。无论哪种表述, 如霍兰德所戏说的那样, 都多少带有些“投机致富”的味道, 给人某种神秘感。涌现性来自何处? 这个问题急需有科学的理论解释。

鉴于物质能量的守恒性, 整体涌现性不可能用有关物质能量的科学原理来解释, 需要求助于信息原理, 因为信息具有不守恒性。整体涌现性是通过对部分的组织整合而产生的信息增殖、信息创生, 或者说是通过对多样性、差异性的整合而产生的结构特性、组织特性。结构或组织的生灭转换虽然不可能使物质和能量有所增减, 却能够改变物质能量的存在形态, 从而改变事物的复杂性。这正是整体涌现性的本质所在。信息是现代社会用得最广泛的概念之一, 又是今天的科学还远远讲不清楚的概念之一, 围绕信息概念的种种困惑也是系统科学发展的拦路虎。为突破系统科学的难点, 要从信息科学的发展中吸取营养来研究整体涌现性, 同时, 随着我们对涌现性的深入了解, 也一定能够深化对信息的认识。这是一个大问题和难题, 拟另文来讨论。

(责任编辑 孙立明)