



# 系统科学与复杂性<sup>1)</sup>( I )

李 夏 戴汝为

(中国科学院自动化所人工智能实验室 北京 100080)

**摘 要** 以从无生命系统研究到有生命系统研究的转变,从工程技术领域到社会科学、生命科学领域的跳跃为主线,将系统科学中的有关研究与 Santa Fe Institute 所进行的有关复杂性的工作进行对比和综述. 强调了我国学者的观点:复杂性是开放的复杂巨系统的特征,研究复杂性离不开系统;人机结合的大成智慧工程是开放的复杂巨系统研究的标志.

**关键词** 系统科学,复杂性,开放的复杂巨系统,人机结合,大成智慧工程

## 1 前言

系统科学是钱学森院士总结出来的现代科学技术体系和知识体系的一个有机组成部分. 但是由于一些哲学上的争论和研究方法的局限性等等原因,以往的研究成果大多集中在技术科学领域,而对有关社会系统和生命系统的研究则很少. 1990年,《自然杂志》发表了题为《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》的文章<sup>[1]</sup>. 它是在钱学森院士领导下的一个持续多年的系统学讨论班上,用系统的观点研究了范围广泛的横跨自然科学和社会科学的问题后,从中提炼出来的. 论文所关注的问题主要是(1)具有相互依存关系的社会、地理、生态环境问题;(2)错综复杂的社会问题;(3)人体问题;(4)人脑问题. 贯穿这些问题的共同特征就是都涉及到社会、生命现象.

一个社会、生命系统与非生命系统的差别是巨大的,它所具有的特征与非生命系统所具有的热力学第二定律完全不一样. 但是近 100 多年来,由于研究人员仍然是囿于传统的由笛卡尔、伽利略、牛顿和莱布里兹等人所创立的近现代科学研究的方法论和观念——强调还原论和对基本性定律(fundamental laws)的追求,认为除此之外的一切问题都可以通过数学的或工程的方法得到解决,因此使得对有关生命、社会系统的一些已经开展的研究慢慢地陷入困境当中. 面对这种困境,在美国 New Mexico 州的 Santa Fe 汇集了一批各个领域的杰出科学家,成立了一个多学科交叉的科学研究中心——Santa Fe Institute,他们在“复杂性”(complexity)这面旗帜的引导下,从不同的角度和层次对上述的一些问题进行研究<sup>[2-5]</sup>. 而以《自然杂志》上的这篇文章<sup>[1]</sup>为标志,一批中国学者通过批判与继承包括 Santa Fe Institute 在内的研究成果,从系统学的角度入手,通过反省并发展系统学和

1) 国家自然科学基金资助项目

收稿日期 1997-08-06



相关的方法论——从定性到定量的综合集成技术<sup>[6]</sup>这一新的角度对所面对的复杂问题进行研究<sup>[7]</sup>。本文将以从无生命系统到有生命系统的转变,从工程技术领域到社会科学、生命科学领域的跳跃为主线,对系统科学的一些发展情况,将其中的有关研究与 Santa Fe Institute 所进行的有关复杂性的工作进行对比和综述。

## 2 系统科学与复杂性研究

Santa Fe 的科学家围绕着“复杂性”这一概念而聚集在一起。对“复杂性”的定义和理解因人而异,George A. Cowan 认为它往往指一些系统所具有的一些现象,这些系统由很多部分,即子系统组成,这些子系统之间通过某种非常神秘的自组织过程而变得比处于某个环境中的热力学平衡态的系统更加有序(ordered),更加富有信息(informed);而且整个系统具有完全不同于子系统的,也不能通过子系统的性质来预测的突现(emergent)特性。也就是说,复杂性就是对某种具有类似于生命性质的现象进行研究。而对这一现象的研究一直都是大半个世纪以来系统科学所关心的中心问题:从 von Bertalanffy 的一般系统论<sup>[8]</sup>到 Whitehead 的有机体哲学(philosophy of organism)<sup>[9]</sup>,到 McCulloch 和 Pitts 的神经网络<sup>[10]</sup>,von Neumann 的元胞自动机和复杂性以及 Wiener 的控制论<sup>[11]</sup>,直到近年来的 Prigogine<sup>[12]</sup>和 Haken<sup>[13,14]</sup>的工作,都是在讨论一个系统在整体上会突现出哪些不同的性质。而这些研究现在又被 Santa Fe Institute 的研究人员进一步深化了。

因此可以认为,有关复杂性的研究实际上是系统科学研究的进一步延伸和发展,都是在系统科学的框架下进行的;复杂性是开放的复杂巨系统的一种很重要的特性,研究复杂性离不开系统。而 Santa Fe 的代表性工作提炼出了许多很有意义的概念,比如人工生命(artificial life)与混沌的边缘(edge of chaos),基因网络与自催化系统(autocatalytic system),自组织的临界性(self-organized criticality),复杂自适应系统(complex adaptive system)等等。这些概念共同构成了这个研究机构的哲学基础,它以后的工作都是在这一框架下展开的。Santa Fe 的研究并没有对生命起源、对突现等等问题作出令人满意的答复,但是它所提出的每一个新概念都代表着一种新的态度、一种看待问题的新角度和一种全新的世界观。学会如何从这些新的视角去看待问题,这才是它的精髓所在!

### 2.1 von Bertalanffy 的理想

可以认为现代的系统科学研究是从 von Bertalanffy 开始的,他提出一般系统论是为了阐明对于有生命的物体来说,“整体大于部分之和”。也就是说,系统的特征是不能由孤立的各部分的特征来说明的,因此复合体的特征与元素的特征相比是“新的”或“突然发生的”。von Bertalanffy 从考虑有关生物与人的问题来提出一般系统论,与文献[1]所表达的思路是一致的。对于这类问题的讨论,von Bertalanffy 认为不能沿用旧有的讨论无机世界问题常用的机械论的分析方法。他说:“分析方法”是指把被研究的实体分解为结合在一起的各个部分,而且这种实体可以通过这些部分重新组成。这是“古典”科学的基本原理,换一种说法就是:把所研究的问题和现象分解为可以隔离的因果链,以便在各个领域里寻找“原子”单位。他认为分析方法的应用取决于两个条件:首先是“部分”之间的相互作用不存在或者微弱到某些研究任务可以不予考虑的程度;第二个条件是描述各个部分的行为的关系式是线性的;只有这样才有累加性条件,即:描述总体行为的方程与描述部分行为的



方程具有相同形式;可以通过部分过程相加来取得总体过程,等等.而这种认识和研究方法的哲学根源可以追溯到古希腊的观念中,在那里世界是静止的,事物被看成是永久的原型或概念的反映;而且这种机械论的观点在拉普拉斯精神中找到了理想,即一切现象最终都是基本物理单位相互作用的加总的概念.他批评说把物理现象当作现实的唯一标准这种态度导致了人的机械化和更高价值的贬值.

von Bertalanffy 抱怨说,我们对物理力量的了解和控制太多了,对生物力量的了解和控制还差很多,而对社会力量的了解和控制等于零.他认为现实是一个有组织的由实体构成的递阶秩序,在许多层次的叠加中从物理、化学系统引向生物、社会性系统.因此我们不能把隔绝的部分的行为加总成整体,必须考虑各从属系统和主导系统之间的关系才能了解各部分的行为.采用分析方法和人为的隔离是有用的,但对生物学的实验和理论都还不是充分的.多年以后,当物理学家 R. P. Feynman 重新反省物理学定律的本质时,又一次表达了几乎完全一致的观点<sup>[15]</sup>.而这之后的科学家则是不断地去实现 von Bertalanffy 当初提出的理想.

## 2.2 非平衡相变和自组织的临界性

继 von Bertalanffy 之后,有很多学者从各个角度对系统的演化规律进行了深入的讨论,而且取得了比较丰硕的成果.首先可以追述到控制论的创始人 Norbert Wiener. 他把自己的世界名著《控制论》<sup>[11]</sup>用 or 这一连接词加了一个等价的标题《在动物和机器中的控制和通讯》(Cybernetics or control and communication in the animal and the machine),其目的是要表明,通过控制和通讯,一个生物体或一台机器、甚至是一个社会都可以连接捆绑成一个整体,而在其中由反馈引起的环路过程起着重要的作用.而且这个整体是动态的,在时间方向上是反对称的(asymmetry),他引用了哲学家 Bergson 关于时间是否可以逆转的差别来说明问题的实质在哪里:对于物理学的可逆时间来说,没有新的东西可以产生,而对进化和生物学的不可逆时间来说,总是有新东西产生.基于这种认识,Wiener 用统计的方法把牛顿物理学变成了一幅统计状态的平均结果的图画,因而也成了对一种进化过程的说明.Wiener 的机制是控制、通讯和反馈,其过程是一种随机过程.在他之后又有一些物理学家从另外的角度进一步来考虑新的东西,即有序是如何产生的这样一个问题.

Pringogine 对自组织的研究,以及提出所谓的耗散结构理论是对“新的东西”如何呈现出来的机理的进一步探讨.在他与 G. Nicolis 合著的《探索复杂性》<sup>[12]</sup>中他们表达了自己的指导思想:他们所反叛的是传统物理学家对世界的经典认识观点.自从牛顿以来,可逆性与决定性物理学家继续着经典研究项目的传统理念.但是,无数的科学发现使得人们认识到发生在自然界中的许许多多的基本过程是不可逆的、随机的,那些描述基本相互作用的决定性和可逆性的定律不可能告诉人们自然界的全部真相.而且研究发现在远离平衡态的情况下,分子之间可以互相传递信息,这样对处于远离平衡态的世界进行研究,就可以跨越自然科学的范围而进入人文科学的领域.而相互通讯这一点就是 Wiener 在构造他的理论体系时所用的基本概念之一,通过互传信息则实现了控制的产生.基于这些理解和认识,Pringogine 和 Nicolis 将非线性非平衡态系统的概率分析方法同动力学理论,特别是混沌动力学理论所表达的决定性的系统也可以对初始条件很敏感这一特性相结合,从而解释了在我们所处的环境中还有如此多意想不到的规律性:大刻度的宏观行为



是如何从微观活动中产生的. 这样就可以更好地理解我们所处的环境.

德国科学家 Hermann Haken 提出的协同学理论<sup>[13,14]</sup>进一步发展了 Prigogine 对这个问题的研究. 他们所考虑都是远离平衡态的相变, 但是这种从微观或中观到宏观的转变都是有条件的. Haken 声称的宏观是指空间、时间或者功能结构, 而这些结构对比于所考虑的每一个微观或者中观粒子的性质来说, 只不过是一种累加行为而已, 是在概率的意义上的累加. Haken 的这个工作落入了被 von Bertalanffy 所批评的范围, 这是因为 Haken 所采用的方法论依然没有摆脱分析方法的框架. 这里的宏观性质与生命的起源、智能的突现等等新的突现宏观性质的产生, 不是同一种意义. 正如他举的例子: 激光、处理流体时所考虑的体积元、液体中的尘埃等等, 处理这些问题的成功与否完全取决于运用数学的能力. 这些问题的性质完全类似于对超导体问题的研究, 超导性这种新产生的性质完全可以通过灵活运用一些基本的定律就可以得到解决, 只不过有时困难一些而已. Haken 比 Prigogine 在数学上多做了很多的工作, 而且 Haken 所提出的 *slaving principle*, *order parameter* 等等概念都是他杰出的数学工作的必然结果. 它们都来自对这一数学问题的解答: 对于一个描述动力系统的非线性微分方程组来说, 采用线性方法进行稳定性分析得出不稳定结果时, 在某些条件下可能通过变换变量或方程的方法将变量和方程组的个数缩减为很少几个, 对原动力系统的定性分析完全可以通过分析经过缩减后的方程组得到. Haken 的工作还不仅如此, 他还参照和利用物理学家 E. T. Jaynes 和 R. S. Ingarden 对热力学的研究方法和结果, 也就是运用最大信息熵原理, 从宏观观察入手来探索可能的微观结构. 他的 *motivation* 是对于象大脑这样复杂的系统, 很难找出类似于流体的体积元、或液体中的尘埃这样的比较独立的个体单元, 也就很难列出具体的微观或中观方程. 如果能够从另一个角度从逻辑上找到一些微观变量, 那么就可以继续使用有关序参数的结果. 这个思路对于能够对微观或中观情况进行很好描述的问题有很好的结果, 在其他情况下就要困难得多. 这里的研究同寻求不同于热力学第二定律的规律的研究对比起来有天壤之别.

一个系统可以经历很多相变, 或者说处在混沌的边缘的系统能够呈现出很多系统形态, 那么这些不同的相变和形态是否有规律可循呢? SFI 成员, 来自 Brookhaven 国家实验室的物理学家 Per Bak 提出的“自组织的临界性”(selforganized criticality)部分地回答了这个问题<sup>[16,17]</sup>. Bak 考虑的都是处于临界状态的现象包括地理系统中的地震、云的形成、火山爆发、太阳耀斑、超导体、经济和生态进化等等. 他发现这些现象所属的系统具有一些共同的特征, 如都有从外部源源不断提供的能量, 即开放的, 而且系统是耗散的. 除此之外, 这些系统都是由很多相互作用的部分组成的很大动力系统, 在时间和空间的不同刻度上, 它们有很多自由度, 也就是考虑了系统的多层次性, 在临界状态下都显示出系统范围的大刻度行为. 他发现在不同领域中产生的临界状态下的行为都遵循着某种幂函数定律, 比如对地震来说, 某种能量的地震(或火山爆发)次数是地震(或火山爆发)的能量的幂函数, 一般来说, 幂函数的指数因问题领域不同而不同, 一般都在  $(-2, 0)$  这一区间. 也就是说, 越是高能量、大规模的系统行为越是很少. 在这种情况下, Bak 认为对于这些特殊的系统来说, 它们通过自组织的方式, 缓慢地向各种临界点靠拢, 各种临界状态就是动态过程的吸引子. 由于系统的自由度很大, 初始条件范围很广, 因此小规模的地方的临界状态要普遍一些. 随着系统的共同进化(*coevolve*), 通过这些小刻度行为, 大家相互协调, 也就是自组织, 最后形成一个相对比较稳健的整体, 这个大一些的单元所经历的临界状态的非平



衡相变,其规模也就要大一些,同时数量也要少一些了. Bak 所描述的这一动态过程非常类似于 S. J. Gould 的不同于达尔文进化论的关于生物进化的描述<sup>[18]</sup>. 对于生命体, Bak 认为它们可以被认为是在一个大系统中的动态连接起来的一部分,而且如果这个生命体的某个部分受影响,整个全身都会起反应;至于适应性, Bak 认为适应过程其实就是构成这个生命体的各种自由度的一种动态过程,通过这个动态过程使得包含这个生命体的大系统能够保持一有机的整体. 这种认识在人文科学中非常类似于“现场”的观点.

### 2.3 网络研究的兴衰

上面的工作是由物理学家做出的,而且研究领域也主要是在自然科学的无生命领域. 而在生命科学领域中的研究人员则从另一条道路来从事研究. 在 40 年代,人们对智能的问题开始感兴趣,以 McCulloch 为首的一批神经生物学家,通过模拟神经活动来模拟人类的大脑活动;而另一条路线是由 Herbert Simon 和 Allen Newell 所倡导的,在 70—80 年代取得了很大成功的逻辑路线. 由于神经网络研究自身的弱点,被 Marvin Minsky 和 Seymour Papert<sup>[19]</sup>给予了重重的打击. 一直到了 80 年代,当人工智能的基于逻辑的路线遇到了巨大的困难,并且随着人工神经网络 PDP 模型<sup>[20]</sup>的提出,人工神经网络才又重新引起了大家的注意. 但是由于整个神经网络本身所固有的特征并没有改变,因此这阵热潮也很快归于平静,人工神经网络的研究重点也只是放在了工程应用之中了.

对于人工神经网络来说,出于最初的研究动机,它是模拟人大脑的神经活动,也可以认为它是由一些节点和节点之间的一些相互作用构成的一个系统. 对于这样的系统,最重要的性质就是它的适应性,也就是在某个具体的问题环境中,通过学习,即通过对它的 performance 效果进行反馈,而得到适当的输入-输出关系. 由于人工神经网络的特殊结构,如果固定了它的结构,只是通过调整它的权值来适应外部环境,来学习,那么它是 NP-hard 问题;如果还能够通过改变它的结构来适应外部的环境,那么它就不是 NP-hard 问题. 因此,可以认为人工神经网络所考虑的问题就是如何通过调整系统的结构来适应外部环境的问题.

但是有关网络的研究并没有完结, Stuart A. Kauffman 所从事的基因网络的研究则是网络研究的进一步发展. Kauffman 希望能够揭示有关生命起源的秘密,在 McCulloch 的支持下,他来到了 MIT,和很多持相同观点的人一起,用不同于以往的思路来考虑“有序”的问题,并且提出了具体的模型来检验其结果. 他的研究动机是:一个生命体是从一个受精卵开始,经过细胞分裂变成不同的神经细胞、肌肉细胞、肝脏细胞等等上百种不同的细胞,而且这个过程非常精确,不早不迟,正好长成一个生命体. 这样就出现了一个问题,受精卵的基因是确定的,而在发展过程中却产生了细胞的差别,这是怎样形成的呢? 遗传学家发现,在任何细胞当中都包含着调节基因(regulatory genes),它们象开关一样,能够打开或关闭其它基因,而且许许多多的调节基因可以同时作用,这样整个基因群体就构成了一个基因组(genome). 那么 Kauffman 认为,对于细胞差别是如何产生的这一问题来说,重要的不在于这个基因是否能够精确地按照定义好的顺序激活了那个调节基因,而是这个基因组作为一个整体,通过相互的开关作用,是否能够安顿下来,将活性基因组合成一个稳定的、自我连贯的形态. 一个基因组是否能够有许多稳定的行为形式这一事实,也就是是否能够产生有序的行为这样一个事实,正是发育过程中是否能够产生许多不同细胞类型的原因. 而且他相信生命本身的自组织,即秩序(order)是纯粹地产生于网络结构,



而不是产生于单个的基因. 于是他构造了自主的随机布尔 NK 模型, 这个模型由  $N$  个节点构成, 每个节点随机地同另外的  $K$  个节点连接, 每个节点只有两种状态, 开或关, 通过定义相互作用方式之后, 就可通过计算机模拟它们变化的动态情况. 结果发现当  $K$  处于比较小的一些值时, 即稀疏网络可以呈现出多种比较稳定的状态, 而且还在稳定形态间相互转换. 此外他还发现这种稳定状态的个数大概是节点个数的平方根, 而这正好与生物学的事实一致<sup>[22]</sup>. 虽然 McCulloch 称赞 Kauffman 的工作可以让整个剑桥都为之激动, 但是他也认为要让别人理解 Kauffman 则至少要 20 年.

这是因为 Minsky 和 Papert 对有关网络研究持否定的尖锐看法, 也因为当时由还原论思想统治的生物学研究主流对他的工作的排斥, 在 1972 年 Kauffman 自动地停止了基因网络的研究, 改行研究小小的果蝇, 并因此而获得了终身教授的职位. 当人工神经网络热潮重新升起的时候, Kauffman 也重新开始了以前的研究, 不过这次他是从新的角度——有关自催化系统的研究来探讨他所关心的“造物主的秘密”, 即生命起源的问题, 而且寻找到了新的归宿和同道——Santa Fe Institute 及其研究人员.

对于生命起源这个问题, 受还原论思想影响的生物学家们往往认为首先要探讨蛋白质、DNA、RNA 是如何诞生的<sup>[23]</sup>. 因此科学家们首先对蛋白质的化学组成进行分析, 发现蛋白质是由 20 种不同的氨基酸——这种 building blocks——组成的, 而且不同的氨基酸有着各自不同的结构和性质. 生物学家期望能够发现, 如何把这些 building blocks 通过不同的空间组合构成不同的蛋白质分子. 同样对氨基酸也做类似的分析, 得到所需的结果之后, 一些研究人员就试图通过化学化合反应, 从最基本的无机化学成分来构造复杂的有机蛋白质分子. 从 50 年代开始, 芝加哥大学的 Stanley L. Miller 和 Harold C. Urey 就进行了著名的“原始汤”(probiotic soup) 实验, 通过把  $\text{CH}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2$  放在模拟的原始环境中, 通过合成反应产生了多种氨基酸. 在此之后其它研究机构的一些研究人员也获得了类似的许多成果, 这对以还原论思想为指导的研究人员来说是一个巨大的成功. 但是, 当科学家们把注意力放在从无机的氨基酸分子向有机的蛋白质分子过渡时, 遇到了很难克服的困难, 那就是在从氨基酸合成蛋白质的这类化学反应中, 必须有蛋白质的参与起催化酶的作用, 而蛋白质又正是这类化学反应所期望要得到的产物. 这样就产生了鸡生蛋、蛋孵鸡的两难问题. 其根源就在于由氨基酸组成的蛋白质分子具有氨基酸分子所不具有的整体性质: 催化功能, 如果仅仅寄希望于由这些 building blocks 通过随机偶然的化学反应生成出蛋白质, 那么经过简单的数学运算就可知道, 你需等到比宇宙的年龄长得多的时间才能看到一个有用的蛋白质分子产生.

当经历了十多年的沉寂之后, 慢慢恢复了自信心的 Kauffman 又开始思考这一有关生命起源的问题时, 他认为对于生命研究至关重要的因素就是直接构造 DNA 的观点是靠不住的, 因为在没有蛋白质参与的情况下, 偶然性的化学反应不能产生所需的蛋白质. 他认为 DNA 最重要的性质是自复制, 那么寻求产生自我复制系统的途径, 即一种有生命的系统能够依靠自己的努力, 从简单的化学反应逐步发展成为生命的方式, 就至关重要了. 这就是他所寻找的目标. 为此, Kauffman 提出了自催化系统的假设<sup>[24]</sup>, 试图从一个新的角度来探索生命的起源问题. 这个假设认为, 在原始汤中存在微小的氨基酸、糖类等物质分子, 它们之间能够发生某些化学反应, 如果某类分子 A 能够催化分子 B 的产生, 分子 B 能够催化 C 的产生, 依此类推, 分子 Z 又能够催化 A, 那么这样一个循环的化学反应圈



就构成了一个自催化系统. 这个自催化系统当然不是我们今天看见的生命形式, 但是它的实质性的东西在于自催化系统的集体行为上面. Kauffman 认为从更深的层次上说, 它是有生命的, 因为它呈现出非常明显的生命特征, 比如能够发展、繁殖、甚至有新陈代谢的功能. 他还进一步猜测, 如果原始汤的内容很丰富, 超过某个临界线后, 也就是经历了这样一个相变之后, 几乎每一个聚合物都能够发生一个催化反应, 形成一个复杂的催化反应网络, 在这个网络中, 越来越复杂的化合物会生成, 生命也许就经过催化而生成出来. 他所进行的计算机实验部分地证实了他的这种猜想. 这种自催化的思想在经济系统、生态系统等等广泛的领域中发现了其适应性, 这就为考察这些问题提供了一个很好的立足点和视角.

### 参 考 文 献

- 1 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, 13(1): 3—10
- 2 Cowan G A, Pines D, Meltzer D(eds). Complexity: Metaphors, Models, and Reality. Reading: Addison-Wesley, 1994
- 3 Anderson P W. Is Complexity Physics? Is it Science? What is it? *Physics Today*, 1991, 44(7): 9—11
- 4 Waldrop M. 复杂: 诞生于秩序与混沌边缘的科学. 北京三联书店, 1997
- 5 Horgan J. From Complexity to Perplexity. *Scientific American*, 1995, 276(6): 74—79
- 6 戴汝为. 从定型到定量的综合集成技术. 模式识别与人工智能, 1991, 4(1): 5—10
- 7 王寿云, 于景元, 戴汝为等. 开放的复杂巨系统. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1996
- 8 von Bertalanffy L. General System Theory: Foundation, Development, Application. New York: George Braziller, 1973
- 9 成中英. 论中西哲学精神. 上海: 东方出版中心, 1991
- 10 McCulloch W S, Pitts W. A logical calculus of the ideals imminent in neurons activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 1943, 5(1): 115—133
- 11 Wiener N. Cybernetics, 2nd Ed. Cambridge: The MIT Press and John Wiley & Son Inc. 1948
- 12 Nicolis G, Prigogine I. 探索复杂性. 成都: 四川教育出版社, 1987
- 13 Haken H. Advanced Synergetics, 2nd. Corr. Berlin: Springer-Verlag, 1987
- 14 Haken H. 信息与自组织. 成都: 四川教育出版社, 1988
- 15 Feynman R P. The Character of Physical Law. London: B. B. C. Publication, 1965
- 16 Bak P, Chen K. Self-Organized Criticality. *Scientific American*, 1991, 246(1): 46—53
- 17 Bak P. Self-Organized Criticality: A Holistic View of Nature. In: G. A. Cowan, D. Pines, D. Meltzer(eds). Complexity: Metaphors, Models, and Reality. Reading: Addison—Wesley, 1994, 477—496
- 18 Gould S J. The Evolution of Life on the Earth. *Scientific American*, 1994, 271(4): 62—69
- 19 Minsky M, Papert S. Perception. MIT Press, 1969
- 20 Rumelhart D E, McClelland E L. Parallel Distributed Processing. Cambridge: MIT Press, 1986
- 21 Ashby R. Design for a brain: the origin of adaptative behavior, 2nd ed. rev. London: Chapman & Hall. Ltd. 1960
- 22 Orgel L E. The origin of life on the earth. *Scientific American*, 1994, 78—95
- 23 Kauffman S A. Origins of order: self-organization and selection in evolution. London: Oxford University Press, 1992
- 24 Kauffman S A. Whispers from Carnot: The origins of order and principles of adaptation in complex nonequilibrium systems. In: Cowan G A, Pines D, Meltzer D(eds). Complexity: Metaphors, Models, and Reality. Reading: Addison—Wesley, 1994

## System Science and Complexity ( I )

LI XIA DAI RUWEI

(Institute of Automation, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** The focus of system science research is currently shifting from nonbiotic system to biotic systems, from engineering systems to social, economic systems. Some important research on system science has been surveyed and compared with the research on complexity at the Santa Fe Institute, USA. The following viewpoints have been emphasized: complexity is the characteristics of open giant complex system; the research on complexity can not be isolated from system; human-computer synergetic intelligence engineering is the symbol of the research on open complex giant system.

**Key words** System science, complexity, open complex giant system, human-computer, synergetic intelligence engineering

**李 夏** 1972 年生. 1992 年和 1995 年在四川大学数学系分别获得理学学士和理学硕士学位, 现为中国科学院自动化研究所博士研究生. 主要从事人工智能、复杂性等领域的研究.

**戴汝为** 1932 年生. 中国科学院院士, 中国科学院自动化研究所研究员. 主要从事模式识别、人工智能、自动控制、系统科学等领域的研究.

系统科学与复杂性<sup>1)</sup>(II)将在第 24 卷第 4 期刊登

### 首届亚太区万维网技术与应用国际会议(APWeb'98)

(1998 年 9 月 27~30 日, 中国北京)

<http://www.cm.deakin.edu.au/apweb98/>

#### 征 文 通 知

由国家自然科学基金委员会等部门主办, 中国科学院软件研究所、中国科学院计算机网络信息中心、澳大利亚 Deakin 大学负责承办, 中国电子学会、IEEE 北京分会等单位提供支持的 APWeb'98 (Asia-Pacific World Wide Web Conference 1998) 将于 1998 年 9 月 27~30 日在北京举行. 这是首次在中国举办的大型万维网技术与应用国际会议. 会议将出版正式论文集.

#### 硬拷贝投稿重要日期

征文截止日期: 1998 年 5 月 20 日(收到日期); 录用通知日期: 1998 年 6 月 20 日(发出日期); 提交正式论文截止日期: 1998 年 7 月 20 日(收到日期).

#### 硬拷贝投稿地址

100080 北京 8718 信箱 中国科学院软件研究所 APWeb'98 程序委员会 李明树 博士

联系电话: (010)62635241 62561239 传真: (010)62562533

电子邮件: web98@ox.ios.ac.cn