

应尚军 范英 著

THE EVOLUTION
AND COMPLEXITY OF
STOCK MARKET

股票市场 的 演化与复杂



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

THE EVOLUTION
AND COMPLEXITY OF
STOCK MARKET

股票市场的 演化与复杂

应尚军 范英 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

股票市场的演化与复杂/应尚军, 范英著. —北京: 经济管理出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5096-2296-4

I. ①股… II. ①应… ②范… III. ①股票市场—研究 IV. ①F830.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 317556 号

组稿编辑: 贾晓建

责任编辑: 魏晨红

责任印制: 黄 铎

责任校对: 曹 平 超 凡

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京广益印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 880mm×1230mm/32

印 张: 9

字 数: 259 千字

版 次: 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-2296-4

定 价: 28.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

自 20 世纪 20 年代以来，全球发生了无数次金融危机，从 1929 年的大萧条到 1987 年的黑色星期一，再到 1997 年的东南亚金融危机，然后是从 2006 年春季开始显现的美国次贷危机，直至目前还没有结束的全球性金融危机。每次金融危机的爆发都很难确定其真正原因。人们既无法事先对危机产生的内部根源进行正确分析，也无法对危机发生的时间进行准确的预测。

在过去的 100 年中，经济学从市场经济运行过程中出现的问题出发，从外部宏观经济的角度，研究了金融危机爆发的原因。不过从 20 世纪 80 年代中期开始，关于金融危机的研究方式更多地从内因的角度包括金融制度和金融机构内部资金结构来解释金融危机发生的根源。从内因角度研究金融危机涉及一个概念——金融脆弱性，即金融体系内部的金融风险积聚状态。此后，从金融脆弱性角度来研究金融危机的成果不断出现，本书把它分为两类：第一类是从金融制度和金融结构出发；第二类是从经济主体行为出发。第一类成果涉及的理论主要有马克思的“金融危机理论”、Irving Fisher 的“债务与金融脆弱论”、Hyman P. Minsky 的“金融脆弱性假说”、Krugman 的“金融过度论”以及董小君等其他学者的金融风险预警机制理论；第二类成果涉及的理论有凯恩斯的“不确定性”模型、Milton Friedman 的“银行信心论”、I. P. Davis 的“监测预警论”、Gerlachand Smets 和 Masson 等人的“金融危机蔓延的预期理论”。

上述两类金融脆弱性理论为世界各国预防金融危机提供了重要的理论依据。

第一类金融脆弱性理论为金融预警指标的监测提供了分析框架。

在 2008 年全面爆发的全球性金融危机中，就有学者提前指出金融制度和金融结构两个方面的隐患，其中，金融制度突出体现在美国无约束的金融创新工具的发展，金融结构突出体现在全球经济失衡带来的金融结构的失衡，如富国向穷国过度融资带来的债务失衡。在此次金融危机之前的数次金融危机中，都有学者对危机的爆发提出警示，问题是为何在每次金融危机中，先知先觉者总是寥寥无几。其中的部分原因是，从 1929 年的大萧条以来，各国金融危机爆发的频率越来越高，进入 20 世纪 90 年代以后，危机发生的频率进一步提高，而且每次危机发生的内部原因不尽相同。90 年代的危机主要发生在新兴市场国家，危机发生时的金融结构与之前发达国家的情况有着很大的不同。进入 21 世纪后，新兴市场国家经济增长加快，而发达国家有所放缓，金融危机又以袭击发达国家的方式对世界经济造成重创。2008 年以来的全球金融危机对世界经济发展的影响还在发生作用，美国经济和世界经济究竟走向何方？复苏之路有多长？这些问题还未有清楚的定论。历数各次金融危机，由于其表现形式各有不同，预警指标的监测问题直到危机爆发前也没有得到有效和广泛的解决。

第二类金融脆弱性理论从行为科学的角度为解释金融市场中的异类现象提供了分析框架。对于金融市场中的异类现象，包括金融危机会在哪个时间点上发生，第一类理论无法提供解释，然而可以在第二类理论中找到部分答案。第二类理论提到了人的行为，如“不确定性”模型和“监测预警论”中金融机构的从众行为，“银行信心论”中人们的信心，“不均衡信心论”中的道德公害或反向选择，“金融危机蔓延的预期理论”中的“传染效应”，因此，它们都是从经济主体或人的行为入手来解释问题的。目前，与上述第二类理论有关的研究有了一个更加规范的经济学术语——行为金融学，它跟传统金融学一起，把对金融问题的解释力度提高到了一个新的层次。行为金融学发现并解释了存在于资本市场中的异类现象，如确定性心理、失厌恶心理、后见之明、过度自信、过度恐惧、政策依赖性心理、暴富心理、赌博心理、从众心理、代表性偏差、可得性偏差、情感依托、锚定心理、选择性偏差、保守性偏差、框架效应等，并依据这种非理性行为

产生的异类现象得出了区别于传统资产定价模型的新的定价模型。虽然如此，行为金融学对金融市场中某些现象的把握仍然无能为力，比如涌现行为，金融危机的发生也属于涌现行为的一种。也曾有西方学者从基于经济主体行为的金融脆弱性理论出发，研究了传染效应在欧洲汇率崩溃中的作用，发现传染效应在很大程度上导致了欧洲汇率机制的崩溃。但是正如董小君所认为的那样，该研究属于事后对传染效应的检验，根本无法预测投机攻击何时发生。因此，基于经济主体行为的金融脆弱性理论也无法预测金融危机会在何时爆发。

既然上述两类金融脆弱性理论都无法令人信服并先见性地解决金融问题或预测金融危机，于是“科学终结论”与“科学转折论”这一对矛盾统一体纷纷登场，围绕真正的科学是否终结这一论题争论不休。其中，以复杂性科学为切入点的“科学转折论”者正在如火如荼地展开跨学科研究，它出现的目的不是颠覆传统的研究范式，而是试图从新的研究范式中寻找解决复杂难题的新元素。1984年，美国新墨西哥州成立的桑塔费研究所就是在复杂性科学指导下专门从事复杂系统与复杂性研究的科研机构，它由著名的诺贝尔奖获得者、物理学家 Murray Gell Mann、Philip Anderson 和经济学家 Kenneth Arrow 发起创立。桑塔费的创始者相信，复杂性科学将成为普照自然和人类的新科学，它将冲破自牛顿时代以来的一直统制着科学的线性的、还原论的思维方式，并能够有效处理人们面临的许多重大问题，从而被誉为“21 世纪的科学”。

复杂性科学是从一个全新的角度来认识世界的，这一认识将对经济和商业行为，甚至政治行为发生潜在的巨大影响。复杂性科学与传统科学或以牛顿力学为基础的经典科学的根本区别在于分析问题的方法论。复杂性科学致力于研究单元之间是如何相互作用而产生整体行为的，是用演化算法来研究整个系统的。如果说经典科学用来描述整个系统的是微分方程，那么复杂性科学用的方法是演化模型。在考察系统行为的描述中，通常有以下表达式：

$$y = f(x) \quad (0-1)$$

其中， x 为影响因素，是自变量； y 为系统行为，是因变量，

f 是从 x 到 y 的因果规则。复杂性科学与经典科学在方法论上的关键区别在于对因果规则 f 的构建上，而且因为描述的是复杂系统，人们无法预测其运动轨迹，因果规则 f 一般为随机性规则和确定性规则的组合。很多情形下，复杂系统很难用传统的微分方程来描述，但是各单元间的相互作用规则却很简单，这时候演化模型的描述方式具有突出作用，因为系统的复杂性特征可以从演化模型的运行中涌现出来。

那么，复杂性科学能在金融危机的研究中起到什么作用呢？本书认为，可以通过演化实验的方法考察金融市场复杂系统的复杂性特征，并进一步探讨能控制这些复杂性特征的影响因素。如果金融市场的复杂性特征可以被控制在一定的范围内，也许金融危机的发生概率会小很多。

其实无论是哪一种理论，都无法有效预测金融危机何时会发生，真正有意义的研究是把重心放在如何预防金融危机的发生，抑或如何使金融系统在一个安全的范围中运行。金融危机的发生有其必然性，也有其偶然性，科学研究者可以把握系统的动力学规律及其与影响因素之间的关系，从而通过对影响因素的控制达到控制系统的动力学特征的目的。这些动力学特征都与系统复杂性有关，包括涌现特征、分形特征、混沌特征、稳定性特征等，管理者可以根据这些特征值大小对影响因素进行调控。

管理者对金融市场的调控可以分为两个方面：一是对金融生态的静态调控；二是对金融生态的动态调控。对于前者，已经出现了很多基于传统金融理论和行为金融理论的研究成果，这些成果大多数以金融脆弱性或金融风险为研究主题出现。本书认为，基于传统金融理论的第一类金融脆弱性模型做出了完善的金融危机事后研究工作和部分金融危机事前研究工作；基于行为金融理论的第二类金融脆弱性理论则对金融危机做了事后的心理学解释。沿着行为金融学的轨迹，需要更加大胆的探索，需要借助复杂性科学的相关研究思路、方法和工具，才能总体把握金融系统的动态变化过程。在复杂性科学指导下建立的金融市场演化模型中，可以依据外部因素（包括宏观因素、行业因素、地域因素、公司因素、消息因素等）与金融市场整体行为之间

的关系对金融生态的转变过程进行调控；也可以根据内部因素（包括心理因素和技术因素）与市场整体行为之间的关系对金融生态的转变过程进行调控。如根据内部因素进行的金融生态调控中，可以设想以下情景：

在金融市场的无数个市场参与者中，既有非常复杂的相互作用关系，也有非常简单的相互作用关系。市场中的“羊群效应”或传染效应就属于非常简单的相互作用关系，这种简单的相互作用关系类似于生命游戏中的适者生存。生命游戏中的适者生存其实就是适众者生存，金融市场中的“羊群效应”从一定程度上看是适众者或从众者生存。然而在复杂系统中，可能就是这种关键的、少数的相互作用关系才使得系统无比复杂。大家可以从股票交易市场中看到这一点，市场中各个主体的局部运动相对简单，只有买入、持有和卖出三种具体行为，但是就是这三种再简单不过的行为，经过“羊群效应”的放大，就涌现出了各种不同特征的市场整体行为，包括市场的大幅度波动行为。那么如何避免市场的大幅度波动呢？方法之一是通过研究“羊群效应”和市场稳定性的衡量方法以及两者的关系，以便找到调控投资者行为的控制变量（政策变量或者市场规则）。

本书是在《金融复杂系统：模型与实证》的基础上进一步开展研究取得的成果，主要以股票市场为例开展了金融市场复杂性的研究。本书分为两个模块：一是基于遗传元胞自动机的股票市场演化模型的构建；二是基于演化模型的股票市场复杂性的研究。

本书的研究及出版工作得到了国家自然科学基金（No. 70771062, No. 70825001）、上海市教委金融学重点学科（No. J512-01）、上海对外贸易学院的资助，特此表示感谢。

目 录

第一章 概 述	1
第一节 本书的理论基础——复杂性科学.....	1
第二节 复杂性科学在经济领域中的应用.....	8
第三节 本书的研究内容和技术路线	20
第四节 本书的主要研究方法和工具	22
第五节 基本术语释义	38
第二章 股票市场演化的一般模型	40
第一节 基于元胞自动机的基本模型	41
第二节 基于元胞自动机的一般模型	45
第三节 一般模型的输入与输出	55
第四节 模型主要运行流程与参数优化	70
第五节 一般模型的计算机实现	73
第三章 股票市场演化特殊模型	78
第一节 上市公司投资价值评价体系研究	78
第二节 基本分析数据的确定	87
第三节 CA 模型的输入与输出	102
第四节 沪深 300 指数相关股的模拟及指数编制.....	107
第四章 基于一般模型的复杂性研究	115
第一节 投资者心理与股票市场复杂性.....	116

✕ 股票市场的演化与复杂 ✕

第二节	外部因素与市场均衡·····	132
第三节	从外部因素到股票价格·····	137
第四节	投资行为演化空间的初值敏感性·····	141
第五章	股票市场复杂性特征 ·····	146
第一节	股票市场的时间序列分形特征·····	146
第二节	股票市场的相空间分形特征·····	158
第三节	股票市场的初值敏感性与 Lyapunov 指数·····	182
第六章	股票市场复杂性与影响因素的相关关系 ·····	194
第一节	内部因素与股票市场复杂性的相关关系·····	194
第二节	外部因素与股票市场复杂性的相关关系·····	215
第七章	总结与展望 ·····	224
第一节	总结·····	224
第二节	前景展望·····	228
附录	·····	230
参考文献	·····	264

第一章 概 述

第一节 本书的理论基础——复杂性科学

复杂性科学是 20 世纪 80 年代发展起来的新兴的交叉学科。若从 1963 年美国的气象学家洛伦兹 (Lorenz E. N.) 首次发现混沌、1978 年梅 (May R.) 与费根鲍姆 (Feigenbaum M.) 等人为混沌奠定理论基础、1980 年美籍法国数学家曼德布罗特 (Mandelbrot B. B.) 用计算机绘出第一张 Mandelbrot 集的分形图说起, 也不过几十年的时间。但它的吸引力之大、发展速度之快却是惊人的。许多人开始熟悉该学科的一些术语, 如人工生命 (Artificial Life)、复杂性 (Complexity)、元胞自动机 (Cellular Automata)、混沌 (Chaos)、临界性 (Criticality)、分形 (Fractal)、学习系统 (Learning System)、神经网络 (Neural Network)、非线性动力学 (Non-linear Dynamic)、并行算法 (Parallel Computation)、渗透法 (Percolation)、自组织 (Self-organization) 等。鉴于该学科在揭示复杂系统的演化规律, 解释相悖于传统理论的自然现象、社会现象、经济现象, 以及为人类认识自然、改造自然提供新的理论工具等方面发挥着独特的作用, 现已成为各领域的学者进行探索的热点学科之一。它与其他学科相互交错、渗透和促进, 有力地推动着自身及其他学科的发展, 使认识论和方法论不断深化。

一、什么是复杂性

在科学发展史上，简单性与复杂性一直是在相比较的意义上使用的一对概念，并未给出精确的界定。由于存在研究领域的局限、认识水平的差异和侧重点的不同，对于“复杂性”这一术语，人们还没有一个统一的观点。国内外学者已提出了几十种定义。例如，仅 MIT 的 Seth Lloyd 就收集了多于 45 种的定义，其中大多数都是以计算学和信息学为尺度的，还有按熵、分形尺寸、语法及按体系作为尺度的，可谓多种多样。

1. 广义复杂性

维吉尼亚 James Madison 大学的经济学教授 Barkley Rosser 认为，复杂性是一个复杂动力系统内在地趋向于一个不动点、一个极限环或其他的动力学状态所表现出来的动力学特征。这个定义比较广泛，不仅包括现在一般意义上认为的复杂性，而且还包括以前的非线性动力学，诸如控制论、灾变论和混沌理论。

2. 狭义复杂性

狭义复杂性是桑塔费研究所采用的观点，Arthur、Durlauf 和 Lane 指出，狭义复杂性包括以下六个特性：

(1) 有离散的异类作用者的相互作用（虽然有些桑塔费模型假设离散的同类作用者的相互作用）。

(2) 在动力学系统中没有能够利用所有机会的全局控制者，尽管有一些弱的全局控制者存在。

(3) 有纵横交错的多层次组织结构，它们之间有复杂的交互作用。

(4) 系统通过学习和演化能不断地适应环境。

(5) 随着环境的改变，系统不断创造出新的“生物”，从而保持系统永远新颖。

(6) 系统是一个远离均衡、或者没有均衡、或者有许多均衡的动力系统，并且系统不太可能达到全局最优。

尽管 Arthur 等人的定义代表了 20 世纪 80 年代后期以来桑塔费

研究所持有的观点，但它是布鲁塞尔（代表人物是诺贝尔奖获得者物理化学家 I. Prigogine）和斯图加特（代表人物是理论物理家、协同学的创始人 Hermann Haken）的科学家们在研究涌现结构和非平衡动力学问题后发展起来的。Prigogine 和 Haken 断言复杂性是物质世界自组织运动的产物，是复杂系统的基本特性，包括“由大量数目的部分所构成”和“具有复杂的行为”。

3. 其他国内外学者所认为的复杂性

生物学家 Nigel Goldenfeld 认为，复杂性意味着生物结构的变化，生物组织之所以复杂，是因为它有许多不同的组成部分，它们相互作用形成整体的遗传密码。化学家 George M. Whitesides 指出，复杂性是复杂系统的特性，复杂系统演化结果对初始条件的轻微扰动很敏感；系统中有大量相互作用的单元，而且系统演化有许多路径。美国 Science 刊物的两位编辑 Richard Gallagher 和 Tim Appenzeller，在 1999 年 4 月的《Science》杂志“复杂系统”专辑中做出如下描述：通过一个系统的子系统（分量部分）的了解，不能对系统的性质作出完全的解释，这样的系统称做复杂系统。根据这两位编辑的论述，复杂性就是这类系统所表现出来的特征。

Michael R. Lissack 在总结了许多学者的观点后提出，复杂系统具有以下特性：

- (1) 非线性，即因果之间不成比例。
- (2) 分形性，分形的测算是标度依赖的，概念是模糊的。
- (3) 递归性，标度水平之间是递归的。
- (4) 对初始条件的敏感依赖性。
- (5) 充满反馈和可能的分岔点以及涌现行为。

这一观点认为，复杂性理论研究的是在时间或空间上呈现复杂的结构而背后又往往隐藏着简单的确定性规律的系统。他同时还指出，进行经济系统复杂性研究时，定义关键变量是很重要的，包括定义作用者的大小（或尺寸），作用者之间相互作用的属性，作用者之间传递的和被作用者加工的信息所用的语言或其他机制，不断改进以适应新情况的搜索策略，以及为噪声留出的空间。根据 Casti 的定义，上

述的涌现 (Emergence) 表示的是系统的整体行为, 该行为产生于众多参与者的相互作用, 而且利用系统中的任一成员孤立状态下的个体表现的知识不能对其进行预测甚至想象。

在国内学者中, 钱学森认为, “复杂性”是开放的复杂巨系统的动力学特征。这个定义指明了复杂性是一类系统的属性, 包括巨型性、内在差异性、层次性、开放性和动态性, 规模巨大、组分差异显著、层次众多、对环境开放的系统的动力学特征, 就是复杂性。

成思危认为, 系统的复杂性主要体现在以下几个方面:

(1) 系统各单元之间的联系广泛而紧密, 构成一个网络。因此每一个单元的变化都会受到其他单元变化的影响, 并会引起其他单元的变化。

(2) 系统具有多层次、多功能的结构, 每一层次均成为构筑其上一层次的单元, 同时也有助于某一功能的实现。

(3) 系统在发展过程中能不断地学习并对其层次结构和功能结构进行重组和完善。

(4) 系统是开放的, 它与环境有密切的联系, 能与环境相互作用, 并能更好地向适应环境的方向发展。

(5) 系统是动态的, 它不断地处于发展变化之中, 而且系统对未来的变化有一定的预测能力。

中国科学院自动化研究所的戴汝为认为, 具有复杂行为的系统, 其复杂性表现在系统的部件之间或子系统之间有很强的耦合作用, 具有难以线性化的非线性性质, 所以会出现极限环, 甚至混沌现象, 复杂性表征的是系统的性质, 不等于子系统性质的简单相加, 也并非子系统之间的非线性关系。

4. 本书所认为的复杂性

从上述关于复杂性的概念可以看出, 复杂性是复杂系统所具有的系统特征。综合以上观点, 本书认为, 系统的复杂性包括以下 9 个方面的特征:

(1) 系统规模巨大。

(2) 内在差异显著。

- (3) 层次众多。
- (4) 与环境密切联系。
- (5) 动态发展。
- (6) 出现涌现现象。
- (7) 出现分形结构特征。
- (8) 出现混沌现象。
- (9) 出现远离平衡的均衡。

其中，前 5 个特征是根本特征，后 4 个特征是拓展特征。一个系统只要具备前 5 个方面的特征，那它就是复杂系统；只要是复杂系统，那就应该也具有后 4 个方面的特征。本书将证明，复杂系统的确展现了涌现、分形、混沌、远离平衡的均衡等复杂性拓展特征。随着研究的进展，人们将陆续发现更多的复杂性特征。

二、复杂性科学的发展由来

虽然复杂性科学产生于 20 世纪 80 年代，但是它们来源于控制论、灾变论和混沌理论等非线性动力学的研究。控制论是 Norbert Wiener 创立的，因为它致力于系统的反馈和控制受到了许多研究者的格外关注，并由此形成全面的系统理论。在美国，控制论最著名的提倡者 Jay Forrester 认为，包括多个非线性方程的系统能以反直觉的和惊奇的方式显示不连续的结果。这个观点也反映在当前的复杂性思想中，包括自组织行为和涌现现象，例如，一个城市中居民的个体居住行为，能涌现出明显的邻居关系模式。

灾变论的理论基础是法国数学家 Rene Thom 奠定的，灾变是动力系统中典型的不连续现象。在多平衡系统中，当某些控制参数变化时，系统从一个均衡状态向另一个均衡状态跃迁，如图 1-1 所示的 Kaldor 商业循环模型。在图 1-1 中，储蓄 S 是收入 y 的线性函数。投资 I 是收入 y 和现存股本 k 的 S 形函数，在平衡点上有 $S=I$ 。在商业循环中，投资函数根据股本的不同可以有多个可能的情形，当投资函数变化时，可以看出均衡点在这些均衡状态之间跳跃的情景。类似的动力学现象还有 Casette 的城市农村人口平衡模型和 Krugman 的

外汇交易模型。灾变理论产生了比控制论更大的跨学科研究的流行热潮，其中对不连续现象的模拟继续成为近年来的复杂性研究的主题。

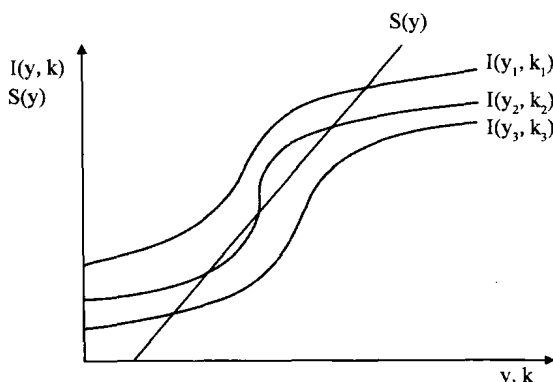


图 1-1 Kaldor 商业循环模型

混沌理论的创立者有 Poincare、Lorenz 和 Feigenbaum 等人。混沌动力学中被普遍认同的两点是初始条件敏感性和奇异吸引子。前者的一个著名说法是蝴蝶效应，意思是说初始值或参数值的微小变化，经过一段时间以后会引起截然不同的结果，就像一只蝴蝶扇动它的翅膀会在世界的另一边产生龙卷风一样。后者说明混沌系统趋向于形成复杂的和不规则的图形，也被称为“吸引子”。混沌理论主要通过初始条件敏感性和奇异吸引子来描述系统的复杂行为，本书也将其作为研究复杂性的重要工具。

三、复杂性科学的主要研究机构

复杂性科学的主要研究机构是比利时的布鲁塞尔自由大学、德国的斯图加特大学和新墨西哥州的桑塔费研究所。

布鲁塞尔的关键人物是诺贝尔奖获得者，物理学家普里高津 (Prigoging) 和他的助手们 (包括 Stengers 和 Nicolis)，斯图加特的代表人物是理论物理学家、协同学的提出者哈肯 (Hermann Haken)。

en)。这两个地方都做了一些复杂性科学的应用性研究。比如，布鲁塞尔研究者 Allen 和 Sanglier 的“城市演化、自组织和决策”，斯图加特研究者 Weidlich、Wolfgang 和 Braun 的“非线性经济学中的控制方程”，Weidlich、Wolfgang 和 Haag 的“空间凝聚的动力相变模型”。从这些研究内容来看，这两个研究机构的研究主要以控制论和灾变论为理论基础，涉及对自组织、演化（其中包含涌现现象）和相变的研究，体现了当前复杂性科学的研究前沿。

桑塔费研究所是由物理学家 Murray Gellmann、Philip Anderson 和经济学家 Kenneth Arrow 三位诺贝尔奖得主发起，并于 1984 年在新墨西哥州成立的，是当今复杂性科学的研究中心。他们在复杂性方面的主要工作是基于离散空间模型的研究。最初体现这种复杂性研究方法的是 Schelling 关于城市种族隔离现象的研究。Schelling 通过建立一个包括许多黑色或白色小长方形的大长方形来考察这些个体的局部相互作用，发现这些只对它们的近邻有相互作用的局部个体，即使它们的行为有一些微小变化，都会引起明显的城市种族隔离现象。这个模型展现了当代复杂性理论研究的中心思想，即系统的整体行为可以从一个运动规则受限的局部相互作用中涌现出来。后来 Schelling 的这种方法被广泛地模仿，计算机科学家 John Holland 提出了分类器系统，它能判断策略和行为，并通过演化和策略选择的遗传算法来产生自适应机制。Dawid 把它运用到了经济学的不同领域，例如，在制订研究（R&D）策略时公司之间的相互作用。Epstein 和 Axtell 用它来建立整个社会模型，在这个人工社会中有许多独立的作用者，形成了不同的社会阶层在不同的场合中的相互作用。还有 Langton 于 1989 年用元胞自动机来做的“人工生命”模拟，这些元胞自动机可以代表个体或相互作用的经济实体。无论是 Schelling 的城市种族隔离模型，还是 Holland 的分类器系统，或是 Langton 的元胞自动机，它们都是离散空间模型，这些模型主要研究自组织行为、相变和涌现现象。

综合三个复杂性研究机构的研究内容，可以看出自组织行为、系统相变和涌现现象是当前复杂性科学研究的主题；在复杂系统建模方面，桑塔费研究所的离散空间建模思想已经得到了广泛的应用。