

关于混沌理论在金融经济学与宏观经济中的应用研究述评

何孝星 赵 华

(厦门大学金融系,福建厦门市 361005)

摘 要:混沌理论能够揭示隐匿在貌似随机的经济现象背后的有序结构和规律性,在金融经济学和宏观经济学中得到了广泛的应用。本文从混沌理论的主要应用领域入手,分析了混沌理论在两大领域的实证证据和理论发展,并指出了混沌理论在经济学中的未来发展方向。

关键词:混沌;金融经济学;宏观经济学

中图分类号:F0 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7246(2006)07-0166-08

一、引 言

混沌理论自二十世纪八十年代被应用于经济领域以来,由于它能够揭示隐匿在貌似随机的经济现象背后的有序结构和规律性,并提供一种方法把复杂事物理解为自身内部某种有结构、有目的的行为,而不是外来的、偶然的行为,从而突破了经典经济学的思维方式,拓宽了人们对现实经济问题研究的视野,揭示了隐匿在复杂经济现象背后的有序结构和规律性,因此受到众多学者的关注,人们纷纷探讨混沌理论对经济现象的解释,对经济理论的发展,甚至提出基于混沌基础上建立新范式的经济理论(彼得斯,1999),其中研究最多的是混沌理论在金融经济学和宏观经济学的实证应用和理论发展(Hsieh, 1991)。由是,本文从探讨混沌理论的主要应用领域入手,阐述了混沌理论在金融经济学和宏观经济学中的应用现状,并作出分析评价。

“混沌”的概念最早是由美国数学家约克(J. A. Yorke)和美籍华人学者李天岩于1975年在论文“周期三意味着混沌”中提出。混沌自诞生那天起,就和确定性、非线性系统紧密相联的,这些系统能够产生貌似随机的复杂性运动,并且一些小的不确定性会演化成指数式的放大。当一个系统产生混沌现象时,其未来行为具有对系统初始条件的敏感依赖性,初始条件的细微变化,将会导致截然不同的长期未来行为,因而,本质上是不可长期预测的,但是混沌并非混乱,混沌中隐含着秩序,遵循着普适性规律。目前混沌并没有公认

收稿日期:2006-02-06

作者简介:何孝星(1952-),福建人,博士生导师,厦门大学金融系教授;
赵华(1975-),安徽人,经济学博士,厦门大学金融系讲师。

的普遍定义,一般认为混沌是“确定性系统中的内在随机性,并具有对初始条件的敏感依赖性”。对于所研究的经济现象是否具有混沌特征,主要通过两个指标来判断:最大李雅普诺夫指数(maximum Lyapunov exponent, MLE)和分形维(fractal dimension)。最大李雅普诺夫指数衡量系统发散率或者收敛率,系统演化过程通过空间维数的收敛率决定着系统的稳定性。一个收敛于点或者周期环的过程,对于不同起点会出现相同的终点。在每一维收敛的动态系统中,对于从任何初始条件开始,结果稳定地到达均衡状态。如果沿着某些维,演化过程是发散的,而作为整体却是收敛的,那么这个过程便是混沌。我们可以通过MLE的符号判别经济系统是否具有混沌特征。如果MLE小于0,则系统是稳定的;如果MLE大于0,则系统会出现混沌状态;若MLE等于0,则对应于稳定的边界。分形维(fractal dimension)是用来判断混沌系统的分形结构。分形维由曼德勃罗(Mandelbrot)提出,它用来度量几何物体的特征,直观地讲,分形维是测度一个物体充满多少空间。曼德勃罗认为,在分形世界里,维数却不一定是整数的,特别是由于分形几何对象更为不规则,更为粗糙,更为破碎,所以它的分形维不是整数维。计算分形维有许多种方法,其中相关维是最常用的一种方法。

由于金融时间序列的数据比较容易得到,并且样本大小可以满足混沌分析的需要,因此在金融时间序列中寻找混沌证据成为混沌理论应用之一。经济周期和经济增长理论是历来都是经济学的研究热点,而混沌具有非周期性的循环,将混沌理论应用于经济增长理论和经济周期方面也是一个很热门的话题。

二、混沌理论在金融经济学中的应用

在金融经济学中,二十世纪五、六十年代构建的资本市场研究范式强调线性、秩序和理性,把有效性看作是证券价格行为的主要特征,股票价格能够快速调整以反映任何新的公开得到的信息。股票价格表面看起来随机运动,这是由于信息随机的到达,而不是市场参与者的非理性行为,在此基础上形成了有效市场假说。然而,在实证研究的基础上,许多研究人员对诸如理性、秩序和线性等假设条件这些假设提出了质疑。Grossman和Stiglitz(1980)的研究表明,完全信息有效市场是不可能存在的,如果存在的话就意味着收集信息的收益为零,这样市场就会走向崩溃,因此市场上必然会有一部分人,由于他们拥有更强的竞争力,会获得比其他人更多的收益。Lo和Mackinlay(1988)运用方差比方法研究了美国CRSP等权和市值加权的周指数,得出美国股市不服从随机漫步,股价之间存在显著的正相关关系的结论。实际上,线性模型仅仅能够产生四种行为:摆动的和稳定的、摆动的和爆炸性的、不摆动的和稳定的以及不摆动的和爆炸性,而非线性模型却能够产生更加丰富的行为,例如非线性系统能够产生波动的突然爆发和偶然的巨大运动。对于证券市场的暴涨暴跌,市场的波动显然不是线性行为。混沌理论的兴起,它突破了传统的线性思维定式,将市场看成是一个复杂的、交互作用的和适应性的非线性动力学系统,从而对资产价格的行为从系统动力学的角度提出了新的解释。

在实证研究中,混沌理论在金融经济学的应用范围包括股票市场、期货市场、外汇市场、债券市场以及衍生产品市场等。S&P500指数是衡量美国股市波动的一个非常重要

的指标,彼得斯(1991)通过对该指数的分析,计算 S&P500 指数的相关维为 2.33,为了确保过程是混沌的,他同时计算了李雅普诺夫指数,结果是 0.0241,正的李雅普诺夫指数表明 S&P500 指数中具有明显的混沌证据。由于时间序列采用的是月数据,最大李雅普诺夫指数表明过程通过所使用的信息在 $1/0.0241$ 个月后将消失,即我们将在 42 个月之间失去全部预测能力。1999 年,他使用了摩根-斯坦利国际资本(Morgan Stanley Capital International)指数对英国、德国和日本继续进行这一分析,得出 MSCI 日本、MSCI 德国和 MSCI 英国的分形维分别是 3.05、2.41、2.94,相应的最大李雅普诺夫指数是 0.0228、0.0168 和 0.028。四个国家都发现了强有力的混沌证据。由于李雅普诺夫指数表明记忆的长度,所以日本具有 44 个月的非周期性循环,英国具有大约 36 个月的循环,德国具有 60 个月的非周期性循环,这种循环是一种平均循环长度,在标准循环分析中是看不见的,它没有特征标度,没有显示出从波峰到波谷的循环。它仅仅是一种统计循环,度量信息如何冲击市场,事件的记忆如何影响市场未来的行为。Scheinkman 和 LeBaron(1989)使用芝加哥大学证券研究中心(CRSP)的价值加权组合的周股票收益数据,他们通过独立同分布检验表明了数据是非线性的,为混沌判断提供了可能,当数据经过 ARCH 滤波之后,结论仍然保持不变。对于随机抽取的单个股票,发现了正的李雅普诺夫指数,但是相关维太高而不能断言时间序列是混沌的,这是因为高维混沌(相关维大于 10)与随机并没有什么本质区别(Brock, Hsieh, & LeBaron, 1993)。实际上,只有相关维的较低估计,即低维混沌是混沌动力学较有说服力的证据。当相关维数较高时,噪音会变得越来越难处理,而且每增加一维,为了分析所需要的样本大小也要大大增加。而来自于随机漫步的数据也会产生高维估计,实证结果也表明高维混沌(如八维或者更多)与低维混沌(二、三等)相比,说服力较低。我国学者对股票价格指数的分析主要集中于上证综指,赵华(2005)计算了上证指数的最大李雅普诺夫指数为正值,表明上证指数具有混沌特性,并且确定上证指数的分形维约等于 2.76,发现上证综指具有混沌特征。叶中行和杨利平(1998)、王德佳等(2002)以及高红兵等(2000)也在上海股市找到了混沌的证据。

DeCoster、Labys 和 Mitchell(1991)使用相关维和李雅普诺夫指数检查了糖、银、铜和咖啡的期货数据,数据集共有 4000 多个观测值,为了确保较强的混沌证据,作者同时对时间序列进行 AR 和 ARCH 滤波,滤波后发现相同的混沌证据。对于检验一个时间序列的混沌特征,是否需要数据滤波处理,目前并没有一致的结论,如 Theiler 和 Eubank(1993)研究认为,滤波可能会除去混沌证据,而滤波并不能够增加混沌证据。

研究人员在外汇市场中也找到了混沌证据。外汇市场是否服从随机漫步或者其他过程,在金融经济文献中受到较多的关注。早期的实证研究大多数通过随机漫步模型来检验外汇市场的有效性。Meese 和 Singleton(1982)、Meese 和 Rogoff(1983a, 1983b)以及 Diebold 和 Nason(1990)的文章指出,名义汇率的对数服从随机漫步。而近期的实证研究主要检验汇率的非线性特征。Bajo - Rubio、Fernandez - Rodriguez 和 Sosvilla - Rivero(1992)实证检验了西班牙银币/美元的汇率,相关维和最大李雅普诺夫指数都表明了混沌的存在。即期汇率、一个月和三个月的远期汇率都表现出正的最大李雅普诺夫指数,随着嵌入维的增加,相关维数稳定在三以下。Hsieh 在 1989 年对美元、英国英镑、加拿大元、德国马克、日本日元和瑞士法郎之间的汇率进行了考察,他的研究主要集中在独立同分布

检验,因此检验结果并不能够区分随机性非线性和确定性非线性,但他在汇率中发现的强烈的非线性,为混沌判断提供了可能。

Jaditz 和 Sayers 计算了不同于六个月国债和六个月商业票据利率的利率风险溢价,他们使用相关维检验了时间序列中确定性混沌的存在性,作者拒绝了变化过程是随机漫步的零假设。Mahajan 和 Wagner(1999)则把汇率和利率结合起来研究。他们使用了11个国家(比利时、加拿大、法国、德国、意大利、日本、荷兰、瑞典、瑞士、英国和美国)的日短期利率,以及十种货币的即期和远期汇率,并且包括了这些国家的通货膨胀、利率、即期和30天远期汇率的月数据,调查名义和实际利率、汇率是否具有混沌动力学行为。借助于独立同分布检验和相关维分析,研究发现:外汇市场变得日益复杂,因此难于预测;虽然远期汇率风险溢价统计上显著,并显示出确定性结构,但是这种结构是复杂的;汇率中的变量与PPP均衡理论相一致。他们的研究认为汇率和利率不服从传统观念上的随机漫步假说,而是一种复杂动力学行为。

衍生工具的定价是基于证券价格服从随机漫步的假设,如果假设得不到满足,那么对衍生工具的定价将会造成很大的影响。Hagtvedt(1999)通过模拟分析混沌对高度敏感期权定价的影响,他选择了亚式障碍期权,研究结果表明混沌分布的期权价值不同于基于正态分布的期权价值,他认为这是和收益分布比正态分布具有较多的厚尾相一致的。

三、混沌理论在宏观经济中的应用

经济发展过程是一种不可逆的演化过程,决定着经济系统本质上是一个高度复杂的自组织的非线性动力系统,混沌是非线性系统中普遍存在的现象。1980年,美国经济学家 Stutzer 首次在 Havvelmo 经济增长方程中揭示了宏观经济系统的混沌现象,使人们认识到建立在传统经济学理论基础之上的经济模型的局限性,对经典经济理论产生了极大的冲击。在混沌经济系统中,系统是由许多相互作用的个体在不稳定状况下彼此不断调整关系的结果,而不是市场稳定和供求均衡的结果,每个个体根据其未来的预测及其他个体的反应来采取行动,并不断的自学习和自适应,系统内部个体的运动是不稳定的,而从整体来看这些个体又是局限于一定的结构之内,形成局部随机和整体稳定的结构。

如果宏观经济数据具有混沌特征,那么这种宏观经济会产生较大幅度的波动,研究人员应用混沌理论来分析宏观经济数据,希望找到经济波动背后的规律性。如 Frank、Gencay 和 Stengos(1988)研究了意大利、日本、英国和德国的从1960年开始的季度GDP数据,通过相关维分析,发现这些国家的相关维小于15,而数据的最大李雅普诺夫指数在大多数情况下是负值,他们并没有找到确定性混沌的证据。Frank 和 Stengos(1988)也计算了加拿大的宏观经济时间序列数据,最大李雅普诺夫指数表现为负值,因此没有找到确定性混沌的证据。Bevilacqua 和 vanZon(2001)尝试使用混沌理论分析美国长期时间序列(工业产出、就业、消费者价格指数和小时工资等),结果拒绝这些序列是线性随机过程所产生的,与真实经济周期理论把经济波动归因于外生随机因素相反,他们认为所检验的时间序列不能够由外部冲击加上线性自回归模型来解释,一个动力学系统的非线性解释是有用的。沙因克曼(Scheinman)和勒巴龙(LeBaron)分析了美国的人均GNP(1870年到

1986 年)和工业生产的月增长率数据(1947 年 2 月到 1987 年 2 月),发现战后时期的人均 GNP 不同于前期,数据的方差发生了显著的变化,研究表明工业增长率的残差是白噪音。虽然他们在人均 GNP 中没有发现混沌现象,但发现人均 GNP 具有明显的非线性特征。1985 年,我国学者陈平首次在宏观经济数据中找到混沌证据,他应用相关维和李雅普诺夫指数检测十二种类型的货币总量时间序列,各自形成了从 1969 年到 1984 年的 800 个周数据点,研究发现其中六个货币总量序列具有混沌的特征。

人们应用混沌理论分析宏观经济数据,在经济波动具有非线性特征方面得到了一致的结论,但却很少找到混沌证据,这是因为宏观经济数据与金融时间序列相比,观测值数目较少,而且观测值中噪音较多,而常用的李雅普诺夫指数的算法对这两个因素比较敏感。由此,赵华(2005)使用基于神经网络的李雅普诺夫指数算法分析了中国的宏观经济数据,该算法通过使用前馈神经网络,使相对较短时间计算 MLE 具有较大的准确性,并且估计的准确性相对噪音来说比较稳健,通过对中国季度 GDP 和年度 GDP 进行研究,在季度 GDP 中找到混沌的证据,表明中国的季度 GDP 较容易出现较大幅度的波动,而年度 GDP 存在着结构性变化,可以通过马尔可夫转换模型来分析。

研究人员除了在宏观经济数据中寻找混沌证据以外,将混沌理论应用于研究经济增长和经济周期,对传统经济增长和经济周期理论作出新的解释,正成为颇受欢迎的研究领域。他们通过模型参数的改变来模拟实际经济行为。当模型的参数发生变化时,时间序列能够从稳定状态到稳定周期,再到非周期的混沌状态。大多数研究是通过分岔图提供一个数值分析图画,该图画描绘了参数变化时轨道的吸引子变化情况。比如 Day(1983)在古典经济增长模型中,通过合适的限制条件会出现混沌行为,找到了混沌出现的条件,并通过例子进行说明。Day(1982)在标准的新古典经济增长模型中引入一个生产时滞,得到一个动态经济模型,并找到混沌出现的充分条件,分析了在增长速度单边受限和双边受限情况下九种混沌情形中的迭代点。实际上,不仅在古典和新古典经济增长模型中会出现混沌,而且在最优经济增长模型中也可能出现混沌状态。Boldrin(1988)在有两部门和具有无限生命的消费者的最优增长模型里,提供了混沌竞争均衡轨道的存在性的理论结果。混沌轨道的出现和两个部门之间获利能力的动态变化有联系,而这种变化来自于经济系统的技术结构的变化。作者以常数替代弹性的生产函数和里昂惕夫(Leontief)生产函数为例说明了理论结果的具体应用。Gallas 和 Nusse(1996)研究了双参数同时变化时经济模型的动力学特征,并集中于具有适应性预期的蛛网模型的动力学。使用可靠的数值方法,他们认为在参数空间中的扩展分形集合具有描述经济过程的特点,此外通过选择参数空间中的合适路径,能够观察到几个通向混沌的不同路径。

我国许多学者也在这一研究领域进行了研究。张明(2001)在研究二维非线性偏微分方程解的吸引子拓扑结构分岔的基础上,结合卡尔多宏观经济模型,提出由于经济参数的变动,不仅宏观经济运行状态可以是渐近稳定和周期运行,而且还可以是大小周期相嵌地运行,从而必然会出现起伏不定,但又具有尺度大小对称的波动运行特征。他从宏观经济混沌模型出发,推导出新古典经济理论,凯恩斯的宏观经济理论以及卢卡斯的理性预期主义理论。张明认为比起这些理论,模型还可解释更多的经济运行现象,比如均衡、周期、冲击、自发波动、不可预期、无规则振荡等。岳毅宏等(2004)针对传统的静态经济增长模

型存在的缺陷,研究了一种动态经济增长模型。并且运用非线性理论对该模型的演化行为进行了深入的分析。其中,重点利用李雅普诺夫指数研究了当系统处于倍周期分岔点的微小临域内时,系统的“奇异”收敛行为。

四、简要评述

总之,混沌理论的出现给经济学带来了令人振奋的促进,它为我们提供了一种所需的分析工具,以分析经济的波动行为是由貌似随机的确定性规律所引起的,而不是由超自然或者随机力所驱使的经济现象。混沌理论的出现促使我们回顾所熟知的经济和金融时间序列,以及对这些经典的统计解释提出疑问,开阔了研究的视野。混沌理论在金融数据的应用研究中,国内外许多学者在股票、期货、利率和汇率中都找到了混沌的证据,说明许多金融市场都具有复杂的动力学行为。因此,随机漫步模型不能够很好地说明证券价格的波动行为,大量实证支持收益率具有尖峰肥尾特征的非正态分布,从而建立在随机漫步基础上的有效市场理论的作用将大打折扣。如果资产价格具有混沌特征,如何基于混沌理论建立资产定价理论值得进一步的研究。将混沌理论应用到宏观经济领域,主要在宏观经济数据中寻找非线性甚至是混沌的证据,以及将混沌理论与经济周期理论相结合探讨经济波动的非周期行为。在大多数参考文献中,关于宏观经济时间序列具有非线性的结论,基本上能够得到一致的结论。不幸的是,关于经济时间序列具有混沌动力学特征,却缺乏较多的有说服力的证据。这是由于大部分宏观经济时间序列是加总得到的,而加总变量会在数据中增加一些噪音,从而降低得出混沌判据的可能性。从内生角度对经济增长和经济周期理论作出说明,是混沌理论在宏观经济领域的另一个重要贡献。在合理的假设条件下,通过对模型的参数作出限制,能够模拟出实际经济行为,从而对经济增长和经济周期作出解释。

参 考 文 献

- [1] Bajo - Rubio, O., F. Fernandez - Rodriguez, & S. Sosvilla - Rivero, 1992, Chaotic behavior in exchange rate series: first results for peseta - United States dollar case[J]. *Economics Letters*, 39(2): 207 - 211.
- [2] Bevilacqua, Franco, & Adriaan vanZon, 2001, Random walks and non - linear paths in macroeconomic time series: some evidence and implications[Z]. Working Paper, Maastricht University.
- [3] Boldrin, M., 1988, Paths of optimal accumulation in two - sector models[Z]. Working Paper, UCLA Department of Economics.
- [4] Brock, William A., David A. Hsieh, & Blake LeBaron, 1993, *Nonlinear Dynamics, Chaos and Instability: Statistical Theory and Economic Evidence*[M]. Mass.: MIT Press.
- [5] Day, R. H., 1982, Irregular growth cycles[J]. *The American Economic Review*, 72(3): 406 - 414.
- [6] Day, R. H., 1983, The emergence of chaos from classical economic growth[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 98(2): 201 - 231.
- [7] DeCoster, G. P., W. C. Labys, & D. W. Mitchell, 1991, Evidence of chaos in commodity futures prices[J]. *The Journal of Futures Markets*, 12(3): 291 - 305.

- [8] Diebold, F., & J. Nason, 1990, Nonparametric exchange rate prediction[J]. *Journal of Economics*, 28(3): 315-332.
- [9] Eckman, J. P., & D. Ruelle, 1985, Ergodic theory of chaos and strange attractors[J]. *Review of Modern Physics*, 57(3): 617-656.
- [10] Frank, M., R. Gencay & T. Stengos, 1988, International chaos[J]. *European Economic Review*, 32: 1569-1584.
- [11] Frank, M., and T. Stengos, 1988, The stability of Canadian macroeconomic data as measured by the largest Lyapunov exponent[J]. *Economics Letters*, 27: 11-14.
- [12] Gallas, Jason A. C., & Helena E. Nusse, 1996, Periodicity versus chaos in the dynamics of cobweb models[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 29(3): 447-464.
- [13] Grassberger, P., & I. Procaccia, 1983, Characterization of strange attractors[J]. *Physical Review Letters*, 50: 346-349.
- [14] Grossman, Sanford J., & Joseph E. Stiglitz, 1980, On the impossibility of informationally efficient markets[J]. *American Economic Review*, 70(3): 393-408.
- [15] Hagtvedt, Reidar, 1999, *Chaos in Stock Returns*[D]. A Doctorial Dissertation, Robinson College of Business of Georgia State University.
- [16] Hsieh, David A., 1989, Modeling heteroscedasticity in daily foreign-exchange rates[J], *Journal of Business Economic Statistics*, 7: 307-317
- [17] Hsieh, David A., 1991, Chaos and nonlinear dynamics: application to financial markets[J]. *Journal of Finance*, 46(5): 1839-1877.
- [18] Li, T., & J. A. York, 1975, Period three implies chaos[J]. *American Mathematical Monthly*, 82: 985-992.
- [19] Lo, Andrew W., & A. Craig Mackinlay, 1988, Stock market prices do not follow random walk; evidence from a simple specification test [J]. *Review of Financial Studies*, 1(1): 41-46.
- [20] Mahajan, A., & Andrew J. Wagner, 1999, Nonlinear dynamics in foreign exchange rates[J]. *Global Finance Journal*, 10(1): 1-23.
- [21] Meese, R., & K. Rogoff, 1983a, Empirical exchange rate models of the seventies: do they fit out of sample[J]? *Journal of International Economics*, 14(4): 3-24.
- [22] Meese, R., & K. Rogoff, 1983b, The out-of-sample failure of empirical exchange rate models: sampling error or mis-specification[A]? *Exchange Rates and International Macroeconomics*[C], Chicago: University of Chicago Press.
- [23] Meese, R., & K. Singleton, 1982, On unit roots and the empirical modeling of exchange rates[J]. *Journal of Finance*, 37: 1029-1035.
- [24] Peters, E. E., 1991, A chaotic attractor for the S&P500[J]. *Financial Analysts Journal*, (2): 55-81.
- [25] Scheinkman, J., & B. LeBaron, 1989, Nonlinear dynamics and stock returns[J]. *Journal of Business*, 62(3): 311-338.
- [26] Stutzer, Michael J., 1980, Chaotic dynamics and bifurcation in a macro model[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 1980, (2): 353-376.
- [27] Theiler, J., & S. Eubank, 1993, Don't bleach chaotic data[J]. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 3(4): 771-782.
- [28] 陈平: 经济混沌的经验和理论证据[A]. 文明分岔、经济混沌和演化动力学[C], 北京: 北京大学出版社, 2004.
- [29] 埃德加·E·彼得斯: 资本市场的混沌与秩序: 一个关于商业循环、价格和市场变动的观点[M]. 北京: 经济科学出版社, 1999.
- [30] 高红兵, 潘瑾, 陈宏民: 我国证券市场混沌的判据[J]. *系统工程*, 2000, 18(6): 28-32.
- [31] 乔斯·A·沙因克曼, 布莱克·勒巴龙: 非线性动态与 GNP 数据[A]. 理查德·H·戴. 混沌经济学[C]. 上海: 上海译文出版社, 1992.
- [32] 叶中行, 杨利平: 上证指数混沌特性分析[J]. *上海交通大学学报*, 1998, 32(3): 129-132.

- [33] 岳毅宏,韩文秀,程国平:一种动态经济增长模型及其演化行为研究[J]。系统工程学报,2004,19(3):234-238。
- [34] 王德佳,周福才,朱伟勇:上证综合指数混沌模型的动力学特性分析[J]。东北大学学报(自然科学版),2002,23(4):311-314。
- [35] 张明:宏观经济的混沌模型[J]。浙江大学学报(人文社会科学版),2001,31(3):73-83。
- [36] 赵华:混沌理论在经济中的应用研究,厦门大学博士学位论文,2005。

Abstract: Chaos theory opens the rules out behind seemingly random economic phenomena, so it is broadly applied to financial economics and macroeconomics. The article, from the main fields of chaos theory application, analyzes the empirical evidence and theory development in the two fields, and points out the future development direction of chaos theory in economics.

Key words: chaos, financial economics, macroeconomics

(责任编辑:杨启庸)(校对:YY)