

文章编号:1672-3813(2007)03-0043-09

基于主体的股市模型及其复杂动力行为

于同奎

(西南大学计算机与信息科学学院,重庆 400715)



摘要:股票市场的许多复杂现象是传统金融理论所不能解释的。本文根据复杂经济系统思想建立了一个随机多主体股市模型,并综合利用数理分析和计算机模拟的方法对其进行研究。研究发现:受交易主体模仿感染倾向、价格追踪倾向和策略转移倾向等因素影响,模型呈现出基础价值均衡、非基础价值均衡、周期和混沌等市场形态;计算机模拟再现并解释了股市普遍存在的特征性事实。

关键词:随机多主体股市模型;复杂经济系统;基于主体的计算经济学

中图分类号:F830.91;F224.12;N94

文献标识码:A

Agent-Based Modeling of Stock Market and Its Complex Dynamics

YU Tong-kui

(College of Computer and Information Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Many complex phenomena of stock market cannot be explained by traditional economic theory. Inspired by the theory of complex economy system, we construct a stochastic multi-agent model of stock market. Methods of both mathematical analysis and computer simulation are used to study this model. It is showed that with different settings of parameters such as disposition of price chasing, of imitation and of strategy alternation the market presents four kinds of states: fundamental equilibrium, bubble equilibrium, period and chaos. Styled facts popular in the stock market are found in the simulation.

Key words: stochastic multi-agent model of stock market; complex economic system; agent-based computational economics

1 引言

诺贝尔奖物理学得主 Anderson 和经济学得主 Arrow 设想经济系统可能存在内在的核心动力机制,这种机制可以用低维变量和参量来表示,它支配整个经济的发展演化行为^[1]。然而不同股票市场在不同时期呈现出各种各样的形态,有的市场中价格在基础价值附近波动,有的市场中价格持续偏离基础价值,有的市场中价格呈周期循环,而有的市场则呈现出混沌状态^[2,3]。股票市场中有许多普遍存在的特征性事实(styled facts),如收益率波动聚集(Volatility Clustering)、尖峰肥尾(Fat Tails)和长期记忆(long memory)等^[4-7]。而这些现象是传统金融理论难以解释的。传统金融理论的基础是有效市场假设和理性预期理论。有效市场理论假设市场上的投资者有着共同的偏好,都是充分理性的,分享着对未来价格的共同预期,任何市场信息都

收稿日期:2007-05-12

基金项目:西南大学青年科技基金(SWUQ2006022)

作者简介:于同奎(1981-),男,山东日照人,助教,管理科学与工程硕士,主要研究方向为复杂经济系统、经济社会仿真和物理经济学。

能够在市场上迅速被投资者知晓并反映到价格中去^[8]。根据有效市场假设,市场中不存在持续获利的机会,在没有重大信息时市场不会发生巨幅的波动,市场交易量一般会很低甚至为零,交易量和价格波动不存在序列相关^[9]。

人们开始积极探索新的替代理论。其中复杂经济系统(Complex Economy System)理论将经济系统看作是由无数个相互作用的、有自治和学习能力的经济主体组成的复杂系统。经济系统的运行和演化是这些主体对周围环境适应的结果,是主体交互作用在宏观层次上的涌现行为。^[10]

目前基于主体的经济系统建模多采用计算机仿真的方法,形成基于主体的计算经济学(Agent-Based Computational Economics, ACE)这一新学科^[11]。基于主体的计算经济学为经济主体状态和行为的差异性和经济系统进化特征的表示和模拟提供了一个新的经济学研究方法论,使得经济学者可以在更深的层次和更广的范围研究经济问题。但模拟方法仅仅提供从初始环境到最终结果的充分条件而非充要条件,很难解释模拟结果。不少学者就尝试从主体出发,通过简化市场主体的行为模式,使得由大量主体构成的股票市场运行可以用几个微分方程来刻画,形成股市动力系统,通过研究该动力系统的形态研究股市运行的特征^[12-14]。

而Lux和Marchesi^[15]借用统计物理的方法,提出了随机多主体股市建模的思想,将计算机模拟和理论分析很好地结合。但它存在一个缺陷,该动力系统总存在两个稳定的吸引点,分别表示市场中只有噪音交易者或只有基础分析交易者的情况,在模拟过程中需要人为限制采用各市场策略的最少人数以避免系统进入停滞状态,这与现实股市不符。

本文沿袭Lux多主体股市建模的思路,利用计算机模拟和理论分析相结合的方法,力图揭示同一核心动力机制下股票市场呈现多种市场形态和产生特征性事实的原因。通过引入交易者“进入-退出”机制,使得模型更加符合市场现实,并且得到更有意义的结果;在不同的参数设置下系统呈现出唯一解、二周期解、周期轨和混沌解等不同的解的形式,能有效解释股票市场呈现出的复杂市场形态;计算机模拟再现了股市中普遍存在的特征性事实。

2 市场结构和行为

假设市场中有 N 个交易主体对同一支股票进行交易,股票基础价值保持固定值 p_t 。交易主体分为基础分析交易者和噪音交易者。设在某一时点上,基础分析交易者的数目为 n_t ,噪音交易者的数目为 n_c ,有 $N = n_t + n_c$ 。根据所持市场观点(看涨、看跌),噪音交易者又分为两类:乐观派和悲观派,分别用 n_+ 和 n_- 表示,有 $n_c = n_+ + n_-$ 。

市场主体会根据市场环境(价格变化趋势、市场的整体气候)选择其市场策略,所有市场主体的市场行为又会形成新的市场环境,市场主体又会做出相应策略调整,系统不断演化。

2.1 市场主体的交易策略选择^[15]

受统计物理启发,将交易者市场行为的策略选择刻画为以一个内生的概率在不同市场策略之中的跳转。交易主体在不同策略中的转移概率包括:

1) 噪音交易者在乐观派和悲观派之间的跳转概率

噪音交易者在选择其市场观点时受两类因素的影响:近期价格变化的趋势和市场交易主体之间的模仿感染^[16]。市场变化的趋势用价格对时间的导数来表示, $p = dp/dt$ 。用变量 x 表示市场的整体气候,定义为乐观派人数与悲观派人数之差除以噪音交易者的总数:

$$x = \frac{n_+ - n_-}{n_c}, x \in [-1, 1] \tag{1}$$

影响交易者市场观点转变的两个驱动因素就可以通过二者的加权和统一起来,表示为 $U_1 = \alpha_1 x + \alpha_2 p/v_1$ 。

那么在某一时点,市场交易者由一个悲观噪音交易者转变为乐观噪音交易者(或相反)的概率 π_{+-} (或 π_{-+}) 就可以表示为

$$\begin{aligned} \pi_{+,-} &= v_1 \exp(U_1) \\ \pi_{-,-} &= v_1 \exp(U_1) \end{aligned}, U_1 = \alpha_1 x + \alpha_2 p / v_1 \quad (2)$$

v_1 为交易者重新评估和改变选择其市场观点的频率, α_1 和 α_2 为市场交易主体赋予两个影响因素(羊群效应和价格追踪)的权重。

2) 交易者在噪音和基础分析市场策略之间的跳转

假设市场主体在市场中随机相遇, 当遇到不同策略的交易者时, 将比较彼此策略的获利能力, 并根据两种策略获利能力的差异, 以一定的概率跳转到另一策略中来。

噪音交易者获得的单位投资超额利润率为 $|(r + dp/dt)/p - R|$, 其中 r 为名义股利, R 为社会平均投资回报率。基础分析交易者超额利润均为 $s|(p - p_t)/p|$, $s(0 < s < 1)$ 为折现率。

因此, 不同类型交易主体市场策略转变的概率为:

$$\begin{aligned} \pi_{+,t} &= v_2 \exp(U_{2,1}) \\ \pi_{t,+} &= v_2 \exp(-U_{2,1}) \end{aligned}, U_{2,1} = \alpha_3 \left\{ \begin{array}{l} \underbrace{\frac{r + \frac{1}{v_2} p}{p} - R - s}_{\text{乐观派技术分析交易者利润}} \left| \frac{p_t - p}{p} \right| \\ \underbrace{\phantom{\frac{r + \frac{1}{v_2} p}{p} - R - s}}_{\text{基础分析交易者利润}} \end{array} \right\} \\ \\ \pi_{-,t} &= v_2 \exp(U_{2,2}) \\ \pi_{t,-} &= v_2 \exp(-U_{2,2}) \end{aligned}, U_{2,2} = \alpha_3 \left\{ \begin{array}{l} \underbrace{\frac{r + \frac{1}{v_2} p}{p} - R}_{\text{悲观派技术分析交易者利润 (减少损失)}} - s \left| \frac{p_t - p}{p} \right| \\ \underbrace{\phantom{\frac{r + \frac{1}{v_2} p}{p} - R - s}}_{\text{基础分析交易者利润}} \end{array} \right\} \quad (3)$$

其中, $\pi_{+,t}$ 为基础分析交易者转变为乐观派噪音交易者的概率, $\pi_{-,t}$ 为基础分析交易者转变为悲观派噪音交易者的概率, $\pi_{t,+}$ 为乐观派噪音交易者转变为基础分析交易者的概率, $\pi_{t,-}$ 为悲观派噪音交易者转变为基础分析交易者的概率, v_2 为市场交易主体在两种策略跳转中的频率, α_3 为两种策略之间的利润差异引发的策略转移的强度。

2.2 市场演化行为

市场演化行为包括市场主体的进入-退出、市场主体在3种交易类型(基础分析、乐观派噪音交易、悲观派噪音交易)中的跳转和他们的市场策略所造成的市场价格的波动。

1) 进入-退出机制

假设原市场中的交易主体以概率 a 退出市场, 则有 $aN = a(n_t + n_+ + n_-)$ 个交易者退出市场, 同时又有相同数目的新交易者 (aN) 进入市场。新进交易者中采用基础分析策略者所占比例为 b , 则有 abN 个交易者采用基础分析策略, $a(1-b)N$ 个交易者采用噪音交易。噪音者的市场观点分布比例受整体市场气候的影响, 与原市场比例一致, 即有 $a(1-b)\frac{n_+}{n_c}N$ 个新进交易者持有乐观态度, $a(1-b)\frac{n_-}{n_c}N$ 个新进交易者持有悲观态度。

2) 交易主体市场策略跳转

对于市场中的 n_t 个基础分析者, 以 a 的概率退出市场 (an_t), 对应的新进市场主体为基础分析交易者的概率为 b , 大约有 abn_t 个, 对应的新进市场主体为噪音交易者的概率为 $1-b$, 大约有 $a(1-b)n_t$ 个。由于噪音交易者的市场观点的分布与当前保持一致, 其为乐观派的概率为 $a(1-b)\frac{n_+}{n_c}$, 为悲观派的概率为

$$a(1-b)\frac{n_-}{n_c}。$$

有 $(1-a)n_t$ 个基础分析市场主体未退出市场, 根据上述概率进行市场策略的选择, 其中转变为乐观派

噪音交易者的概率为 $(1-a)\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}$ 。同样,转变为悲观派噪音交易者的概率为 $(1-a)\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}$ 。留下有 $(1-a)\left[1-\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}-\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}\right]n_t$ 仍保持为基础分析交易者。

乐观派噪音交易者和悲观派噪音交易者的交易策略转移同理可得。具体交易类型转移状况如表 1 所示。

表 1 不同类型交易者之间的跳转

基础分析交易者 (n_t)	退出市场 (an_t)	<ul style="list-style-type: none"> 对应新进基础分析交易者 (abn_t) 对应新进噪音交易者 ($a(1-b)n_t$) 	<ul style="list-style-type: none"> 乐观派 $a(1-b)\frac{n_+}{n_t}n_t$ 悲观派 $a(1-b)\frac{n_-}{n_t}n_t$
	未退出市场 $(1-a)n_t$	<ul style="list-style-type: none"> 转变为乐观派噪音交易者 $(1-a)\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}n_t$ 转变为悲观派噪音交易者 $(1-a)\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}n_t$ 仍为基础分析交易者 $(1-a)\left[1-\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}-\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}\right]n_t$ 	
乐观派噪音交易者 (n_+)	退出市场 (an_+)	<ul style="list-style-type: none"> 对应新进基础分析交易者 (abn_+) 对应新进噪音交易者 ($a(1-b)n_+$) 	<ul style="list-style-type: none"> 乐观派 $a(1-b)\frac{n_+}{n_+}n_+$ 悲观派 $a(1-b)\frac{n_-}{n_+}n_+$
	未退出市场 $(1-a)n_+$	<ul style="list-style-type: none"> 转变为基础分析交易者 $(1-a)\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}n_+$ 转变为悲观派噪音交易者 $(1-a)\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}n_+$ 仍为乐观派噪音交易者 $(1-a)\left[1-\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}-\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}\right]n_+$ 	
悲观派噪音交易者 (n_-)	退出市场 (an_-)	<ul style="list-style-type: none"> 对应新进基础分析交易者 (abn_-) 对应新进噪音交易者 ($a(1-b)n_-$) 	<ul style="list-style-type: none"> 乐观派 $a(1-b)\frac{n_+}{n_-}n_-$ 悲观派 $a(1-b)\frac{n_-}{n_-}n_-$
	未退出市场 $(1-a)n_-$	<ul style="list-style-type: none"> 转变为基础分析交易者 $(1-a)\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}n_-$ 转变为乐观派噪音交易者 $(1-a)\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}n_-$ 仍为悲观派噪音交易者 $(1-a)\left[1-\frac{n_+}{N}\pi_{+,t}-\frac{n_-}{N}\pi_{-,t}\right]n_-$ 	

2.3 价格形成机制

设噪音交易者都以一个固定的交易量 t_c 进行市场操作,则噪音交易者中供需差额就是由持不同市场观点的噪音交易者人数对比决定的。噪音交易者的超额需求 ED_c 为乐观派人数与悲观派人数差额 $(n_+ - n_-)$ 乘以平均交易量 t_c , 即 $ED_c = (n_+ - n_-)t_c$ 。

基础分析交易者的市场行为形成了市场上的另一部分超额需求 $ED_t = n_t\gamma(p_t - p)$, 其中 $(p_t - p)$ 为市场价格对基础价值的偏离程度, γ 为基础分析交易者对价格偏离的反应强度。所以总的超额需求 $ED = ED_c + ED_t$ 。做市商根据市场上的超额需求对市场价格以 β 的反应强度调整市场价格 $\Delta p = \beta ED$ 。

3 市场演化动态

由表1给出的各类型交易者彼此的转移行为,可以得到在某一时刻市场中乐观派噪音交易者的数量对时间的导数为

$$\begin{aligned} \frac{dn_+}{dt} = & a(1-b)\frac{n_+}{n_c}n_+ + (1-a)\pi_{+,t}n_+ + a(1-b)\frac{n_+}{n_c}n_- + (1-a)\pi_{+,-}n_- - \\ & a(1-b)\frac{n_-}{n_c}n_+ - (1-a)\pi_{-,t}n_+ - abn_+ - (1-a)\pi_{+,t}n_+ \end{aligned} \quad (4)$$

表1中,第1行是从其它类型交易者转变为乐观派噪音者的人数增加的速度,第2行是从乐观派噪音者转变为其它类型交易者造成的乐观派噪音交易者数目减少的速度。经整理得:

$$\frac{dn_+}{dt} = (1-a)[(\pi_{+,-} - n_-\pi_{+,-}) + (n_t\pi_{-,t} - n_-\pi_{-,t})] + a(1-b)n_t\frac{n_+}{n_c} \quad (5)$$

同样,在某一时刻悲观派噪音者的变化为

$$\frac{dn_-}{dt} = (1-a)[(n_+\pi_{-,-} - n_-\pi_{-,-}) + (n_t\pi_{-,t} - n_-\pi_{-,t})] + a(1-b)n_t\frac{n_-}{n_c} - abn_- \quad (6)$$

$$\text{所以} \quad \frac{dn_-}{dt} = d(n_+ - n_-)/dt = (1-a)[n_t\pi_{+,t} - n_+\pi_{+,t} + n_t\pi_{-,t} - n_-\pi_{-,t}] - a(1-b) \quad (7)$$

由 $x = \frac{n_+ - n_-}{n_c}$, 所以

$$\frac{dx}{dt} = (1-a)(1-y)[(1-x)\pi_{+,-} - (1+x)\pi_{-,-}] + \frac{1}{2}y(1-x^2)(\pi_{+,t} - \pi_{-,t} + \pi_{-,t} - \pi_{-,t}) \quad (8)$$

“进入-退出”机制带来的一项被抵消,说明这并不影响噪音交易者中市场观点的分布。

由 $y = n_t/N$, 市场理性指数的变化为

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} = & -\frac{1}{2}(1-a)(1-y)y(1+x)(\pi_{+,t} - \pi_{-,t}) + \\ & \frac{1}{2}(1-a)y(1-y)(1-x)(\pi_{-,t} - \pi_{-,t}) + a(1-b)y \end{aligned} \quad (9)$$

做市商根据市场上的超额需求对市场价格做线性调整,所以市场价格的变化趋势为

$$\frac{dp}{dt} = \beta[x(1-y)T_c + yT_t(p_t - p)] \quad (10)$$

这样, x, y, p 就构成了一个股市动力系统,根据双曲函数的定义,将动力系统整理为

$$\begin{cases} \dot{x} = 2v_1(1-a)(1-y)[\text{Tanh}(U_1) - x]\text{Cosh}(U_1) + v_2(1-a)(1-x^2)[\text{Sinh}(U_{2,1}) - \text{Sinh}(U_{2,2})] \\ \dot{y} = -v_2(1-a)y(1-y)[(1+x)\text{Sinh}(U_{2,1}) + (1-x)\text{Sinh}(U_{2,2})] - a(1-b)y + ab(1-y) \\ \dot{p} = \beta[x(1-y)T_c + y(p_t - p)T_t] \end{cases} \quad (11)$$

其中, $U_1 = \alpha_1 x + \alpha_2 p/v_1$, $U_{2,1} = \alpha_3((r + p/v_2)/p - R - s|(p_t - p)/p|)$, $U_{2,2} = \alpha_3(R - (r + p/v_2)/p - s|(p_t - p)/p|)$ 。

本动力系统是根据Lux思想在其模型基础上引进“进入-退出”机制而来的,按照Lux(1995)给出的证明方法可以证明该动力系统是对股市模型中各变量均值变化发展的一阶近似^[17]。当 $a=0$ 时,式(11)等同于Lux(1999)的股市动力系统^[15]。

4 不同市场形态分析

利用定性分析和数值实验的方法,分析动力系统方程不同解的形式及其稳定性,可以研究在不同参数设置条件下,市场呈现出不同的市场形态。由于本模型是一个高度非线性的动力系统,求得具体的分析解非常困难,就更无法对其进行稳定性分析。因此,只能通过数值实验的方法来研究这种形式的均衡。在数值实验中,使用Matlab编写了实验程序,模拟动力系统的演化过程。

4.1 基础价值均衡

对于任意参数,解 $(x^* = 0, y^* = b, p^* = p_f)$ 都是系统的不动点(将3个变量值代入方程组有 $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0, \dot{p} = 0$)。这时,市场价格等于基础价值,基础分析交易者无获利机会,交易数量为0。噪音交易者中不同市场观点(乐观派和悲观派)的力量保持平衡,超额需求为0,对做市商调整市场价格的压力为0。同时, $y^* = b$ 说明基础分析交易者保持为新进交易者中基础分析者占的比例,即“进入-退出”机制对采用不同策略交易者的分布不造成影响。这与传统的均衡市场理论有效市场假设是一致的。但是,系统在该均衡点并不总是稳定的,需要对其进行稳定性分析。计算系统在该点的雅可比阵A,雅可比阵的特征方程为 $(a_{22} - \lambda)[(a_{11} - \lambda)(a_{33} - \lambda) - a_{13}a_{31}] = 0$ 。求得系统在点 $(x^* = 0, y^* = b, p^* = p_f)$ 处稳定的条件为:

- 1) $2(1-a)(1-b)v_1\alpha_1 + 2(1-a)(1-b)^2\beta T_c\alpha_2 + 2(1-a)b(1-b)\beta T_c/p_f\alpha_3 < 2(1-a)(1-b)v_1 + \beta bT_f$ (12)
- 2) $v_1T_f p_f\alpha_1 - v_2T_cR\alpha_3 - v_1T_f p_f < 0$

由条件2)稍作变化可得 $\alpha_1 < \frac{v_2T_cR}{v_1T_f p_f}\alpha_3 + 1$ 。这说明要使系统在基础价格保持稳定均衡,交易者模仿倾向 α_1 和策略转移倾向 α_3 存在一个相互制约关系。当 α_3 确定时,存在一个 α_1 的上限 $\bar{\alpha}_1$,当 $\alpha_1 > \bar{\alpha}_1$ 时,系统失去稳定性。这说明当交易者策略转移倾向固定时,交易者模仿倾向存在一个上限,当交易者彼此感染模仿的倾向超过该上限,由于技术分析交易者的相互模仿,而又缺乏策略转移力量的制约,就会使系统打破平衡。由条件1)可知, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 的一个线性组合(系数为正)必须小于一个确定值 $2(1-a)(1-b)v_1 + \beta bT_f$,这就要求 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 的值都要比较小。

例如,数值试验发现在参数设置为 $\alpha_1 = 0.25, \alpha_2 = 0.15, \alpha_3 = 0.8, v_1 = 0.5, v_2 = 0.75, p_f = 10, a = 0.01, b = 0.05, \beta = 0.5, R = 0.1, T_c = 5, T_f = 5$ 时(由于本文主要考察交易者学习感染倾向 α_1 ,价格追踪倾向 α_2 和交易策略转移倾向 α_3 对市场形态的影响,所以在以后各实验中只调整这3个参数,其他参数保持不变),系统方程存在稳定不动点 $(x^* = 0, y^* = 0.05, p^* = 10)$,市场处在稳定均衡状态。

4.2 非基础价值稳定均衡

数值试验发现:当 $\alpha_1 > \bar{\alpha}_1$ 时,系统存在两个对称的均衡点,一个均衡点是市场信心大于0,市场价格高于基础价值;另一个均衡点是市场信心小于0,市场价格低于基础价值。两种情况下市场理性指数大致相同。通过邻域内的微扰计算方法进行数值仿真,发现该点在当前参数下是稳定的。如在参数设置为 $\alpha_1 = 1.5, \alpha_2 = 0.25, \alpha_3 = 1.5$ 时,系统出现两个稳定均衡点 $(x^* = 0.8542, y^* = 0.7881, p^* = 10.2297)$ 和 $(x^* = -0.8540, y^* = 0.7923, p^* = 9.7761)$ 。

市场主要存在两种力量的相互制衡。基础分析交易者由于发现价格的偏离,具有套期的机会进行逆向操作,有将市场价格拉向基础价值的力量,另一方面由于市场的整体气氛(牛市或熊市)以及交易者的相互模仿感染,有将市场价格背离基础价值继续拉大的力量,而双方力量又势均力敌,使得市场价格保持不变。同时,由于价格保持不变,市场中噪音交易者的预期利润较低,而基础分析可能带来更多的利润,交易者有从噪音交易者到基础分析交易者转换的倾向,这正好弥补了“进入-退出”机制造成的基础分析交易者的净退出量(通过数值实验发现,均衡时的基础分析交易者比例 y^* 大于新进交易者基础分析所占比例 b),这使得两种策略中的交易者数目也保持平衡。这样,整体市场达到稳定均衡状态。这解释了为什么现实股市中存在市场价格对基础价值持续背离的现象。

4.3 稳定周期市场形态

当参数在一定的取值条件下,系统出现稳定周期轨。例如,在参数设置为 $(\alpha_1 = 0.95, \alpha_2 = 0.15, \alpha_3 = 1.5)$ 时,股市动力系统中的3个状态变量 x (市场信心指数), y (市场理性指数), p (市场价格)的变化轨迹及其对应的相图如图1所示。

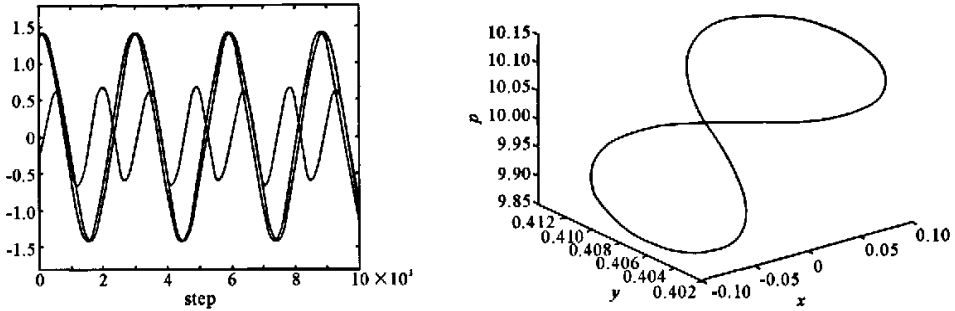


图1 稳定周期市场数值实验结果

左边是将 x, y, p 三条曲线经如下变化而得: $x' = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x}, y' = \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y}, z' = \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z}$, 其中 \bar{x}, σ_x 分别为 x 的均值和标准差。

4.4 混沌市场形态

在参数设置在 $\alpha_1 = 1.02, \alpha_2 = 0.25, \alpha_3 = 1.5$ 附近时, 系统既不收敛至某一稳定均衡点, 也不稳定在某一周期轨, 而是出现混沌吸引子。混沌市场的价格 p 变化轨迹和系统在相空间上的奇异吸引子如图 2 所示。

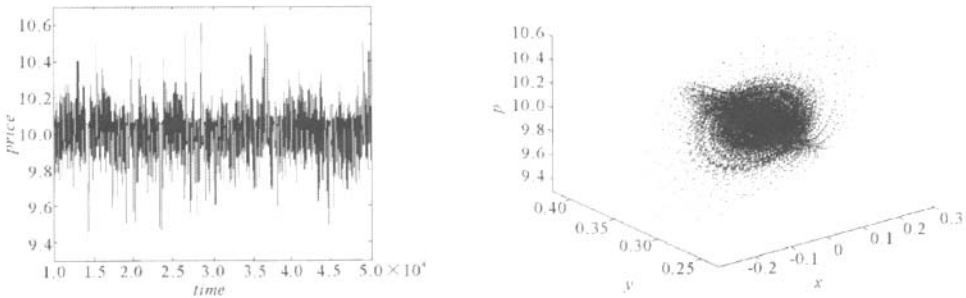


图2 混沌市场数值实验结果

5 计算机模拟

利用 SWARM 仿真平台^[18]对股票市场进行模拟仿真。实验中设置了 500 个市场交易主体, 以一定的比例(如 8:1:1)在 3 种交易类型(基础分析交易者、乐观派噪音交易者和悲观派噪音交易者)中分布。

在系统运行中, 选择足够小的时间间隔 $\Delta t = 0.02$, 以避免人为造成的同步性。在每一时间间隔中, 每个市场主体根据所处的市场环境重新评估和选择自己的市场策略和市场观点, 并做出相应的市场决策。做市商根据所有市场主体的交易行为造成的供需力量对比调整市场价格。交易者市场策略和市场观点的跳转造成不同交易类型者数目的变化, 与调整后市场价格一起形成新的市场环境状态, 一个新的时间间隔开始。当系统运行一定数量(如 500)的时间间隔, 形成一个单位时间之后, 记录当前的市场价格和市场状态。

通过该模拟系统, 分别对市场形态分析中各市场形态典型例子进行仿真。在跟前面分析相同的参数下, 4 类市场的模拟结果价格演化曲线如图 3 所示, 可以看出, 计算机模拟实验结果跟理论分析基本保持一致(尤其基础价值均衡和非基础价值均衡形态最为明显), 验证了理论分析结果。

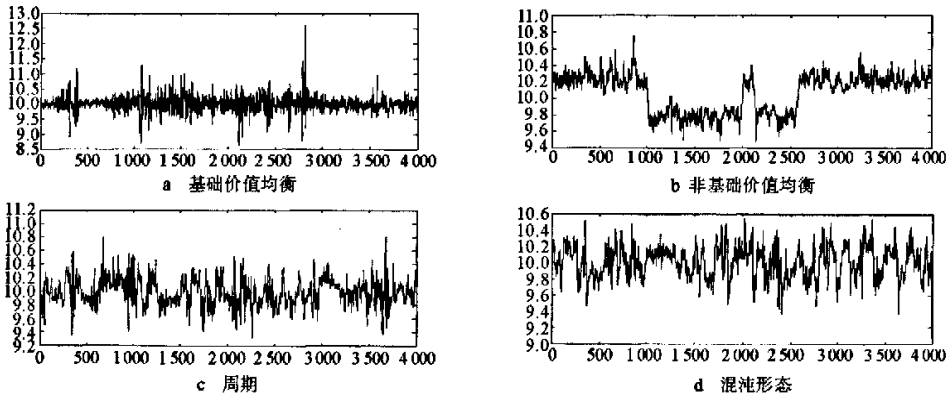


图3 四类市场形态的计算机模拟实验结果

对模拟实验中的细节数据可以进行更深入的考察。对其统计分析表明,4类市场形态的收益率序列都存在明显的波动聚集、尖峰肥尾和长期记忆等特征性事实^[19]。这说明股市的特征性事实与市场处于何种形态不存在必然联系,无论是混沌市场,还是均衡市场,都普遍存在。计算机模拟直观地解释市场普遍存在的特征性事实的原因:大量交易主体的市场行为及其与市场环境的交互作用。但股市动力系统式(11)中没能反映这些现象,这是由于数学模型对模拟做了一阶近似,要在理论上解释特征性事实还需要抓住那些忽略的细节。但模拟实验和理论分析相对照的方法可以帮助寻找新的思路,例如可以设计一个简化的股市系统,保证其仍能产生特征性事实的模拟结果,在此简化的系统中专门研究股市特征性事实的产生原因。

6 总结

股票市场是典型的复杂适应系统,本文根据复杂经济系统思想建立一个随机多主体股市模型,并综合利用数理分析和计算机模拟的方法对其进行研究。模型有效地解释了股票市场呈现出的基础均衡、泡沫均衡、周期和混沌市场形态。在常微分动力系统的定性分析中发现,在不同的参数设置下,市场呈现出唯一解、二周期解、周期轨和混沌解等不同的解的形式。进行对应参数的计算机模拟实验,结果与之高度一致。模型在一定程度上解释了市场普遍存在的特征性事实。考察多主体模型的计算机模拟,可以给出一个直观的解释:大量交易主体的市场行为及其与市场环境的交互作用形成复杂的市场现象,涌现出收益率波动聚集、尖峰肥尾和长期记忆等特性。

由于模型较为复杂,只能通过数值实验的方法分析动力系统的特性,无法得到具体的分析解,也无法得到市场产生各市场形态的确切参数范围以及各参数对市场形态变化的影响,这是进一步研究的方向。

参考文献:

[1] 方福康. 经济和生态环境的复杂性研究[J]. 科学中国人, 2004, 10(10): 34-36.
 [2] 徐绪松, 陈彦斌. 深沪股票市场非线性实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2001, (3): 110-113.
 [3] 王卫宁, 汪秉宏, 史晓平. 股票价格波动的混沌行为分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2004, (4): 141-147.
 [4] Pagan A. The econometrics of financial markets[J]. Journal of Empirical Finance, 1996, 3(1): 15-102.
 [5] Mandelbrot B. The variation of certain speculative prices[J]. Journal of Business, 1963, 36(4): 394-419.
 [6] Baillie R T, DeGennaro R P. Stock returns and volatility[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1990, 25(2): 203-214.
 [7] 朱国庆, 张维, 程博. 关于上海股市收益厚尾性的实证研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(4): 70-73.
 [8] Fama E F. Efficient capital markets: a review of theory and empirical work[J]. The Journal of Finance, 1970, 25(2): 383-

420.

- [9] Arthur W B, Holland J H, LeBaron B, et al. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market[A]. Arthur W B, Durlauf S N, Lane D A. The Economy as an Evolving Complex System II[C]. Boston, MA: Addison-Wesley, 1997: 15 - 44.
- [10] Arthur W B. complexity and the economy[J]. Science, 1999, 284(2): 107 - 109.
- [11] Tesfatsion L. Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up[J]. Artificial Life, 2002, 8(1): 55 - 82.
- [12] Brock W A, Hommes C H. A rational route to randomness[J]. Econometrica, 1997, 65(5): 1 059 - 1 095.
- [13] Brock W A, Hommes C H. Heterogeneous beliefs and bifurcation routes to chaos in a simple asset pricing model[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1998, 22(8 - 9): 1 235 - 1 274.
- [14] Farmer D. Market force, ecology, and evolution[J]. Industrial and Corporate Change, 2002, 11(5): 895 - 953.
- [15] Lux T, Marchesi M. Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market[J]. Nature, 1999, 397(11): 498 - 500.
- [16] Menkhoff L. The noise trading approach: questionnaire evidence from foreign exchange[J]. Journal of International Money and Finance, 1998, 17(3): 547 - 564.
- [17] Lux T. Herd behaviour, bubbles and crashes[J]. Economic Journal, 1995, 105(5): 881 - 896.
- [18] Johnson P, Lancaster A. SWARM User Manual[EB/OL]. <ftp://ftp.swarm.org/pub/swarm/userbook> 0.9. tar.gz. 2007 - 03 - 10.
- [19] 于同奎. 基于主体的股市模型及其复杂动力行为研究——模拟实验和理论分析[D]. 重庆: 重庆大学经济与工商管理学院, 2005: 51 - 60.