

金融市场基于行为 人演化建模理论与方法探析

王忠玉

摘要: 金融市场基于行为人演化建模研究是综合了基于行为人计算经济学、演化经济学、复杂适应系统演化模拟等研究思想与方法,通过对行为人演化模拟来探索行为人投资策略经由市场相互作用的、自适应复杂系统演化机制。基于作为经济演化研究工具的行为人计算经济学的内容、特征及其在金融市场中对行为人探索性建模的应用以及对卢卡斯式行为人与人工适应行为人的研究模式和演化方式进行的系统分析与对比研究的结果表明,市场交易机制、行为人演化方式方面有许多问题需要进一步探索。

关键词: 有限理性 演化研究方法 交易机制 自适应复杂系统

在经济学中,经济学家所假设的理性形式,即人类理性是完美的、合乎逻辑的、可以演绎的假设,在求解理论问题时是极为有用的。但是,这种假设对“理性人”的行为提出了相当多的要求。实际上,这些要求大大多于它通常所能够表述出来的内容。为了更好地阐述这个问题,我们把“对理性要求放松弱化的人”称为行为人(agent)。通常人们认为,经济行为人会处置大量的决策问题:先是处置比较容易的问题,然后是难度逐渐加深的复杂问题。因而,具有演绎能力的理性人在一定程度上较精确地阐述了人类行为。

例如,由安德鲁·罗(Andrew Lo)提供的一个例子很好地说明了精确地预测金融市场变化所带来的益处,他对比了在1926年1月将1美元投资于1个月期美国短期财政债券与同时将1美元投资于标准普尔(S&P)500股指数的收益率,那么1美元的短期财政债券投资将在1996年12月增长至14美元,而在标准普尔(S&P)500中的等额投资将价值1371美元。……假设投资者在每个月初能够正确预测两种投资中哪种将在当月产生更高的收益,并且根据此项预测采取行动,将其投资的现时总量转换至收益更高的资产。如果我们忽略交易成本,那么截至1996年12月,这种“完美预见”投资策略将价值2296183456美元!很明显,极少投资者(假如他们存在的话)拥有这种“完美预见”……

在复杂条件下,完美理性或者演绎理性的失败存在两个缘由。其一,当复杂性超出某一水准时,人类逻辑推理能力便应对不了它,或者换句话说,人类的理性是有限的。其二,在相互作用影响的复杂局

势下,行为人在完美理性条件下想要依赖于其他行为人所处理的内容来行动,这几乎是不可能的。因此,行为人不得不推测其他行为人的行动。无疑,这将使行为人陷入一个主观信念世界中——关于主观信念的主观信念,等等。于是,一种客观的、定义良好的、共有的理性假设便不能使用。具有演绎能力的理性人推理(从定义良好的前提出发,通过完美逻辑过程推导出结论)本身也难以实现应用。

当然,经济学家已经意识到了这点。问题是完美理性是否在起作用,或者说完美理性出了什么问题。在经济学中,人们如何对有限理性建立模型呢?有关有限理性的研究文献确有一些,并在不断地增加。目前,许多关于有限理性的研究思想尚未集中,经济学文献中大致存在几个不同方向探索有限理性。比如,博弈论中行为人的有限理性假设(Kirman and Salmon, 1995),宏观经济学里理性预期理论中行为人的建模(Sargent, 1993),人工市场建模(Levy, M.; Levy, H. and Solomon, S., 2000)等。

一、基于行为人计算经济学

基于行为人计算经济学(agent-based computational economic)是对由自治的、相互作用的行为人所构成的经济建模的一种计算研究。因此,它可以看成是对基本的、复杂适应系统范式的经济学的一种特殊化。

基于行为人计算经济学首先要关注的问题是,在分散化的市场经济中,即使在没有自上而下的计划和控制情况下,比如交易网络、市场协议等,为什么某种全局性规则的演化与持续可以被人们观察

到。这一任务就是在结构上阐明全局性规则是如何从底层产生出来的,尽管自治的行为人各自在其所意识到的自身利益范围之内会局部重复地相互作用。其次,要关注的内容是,以规范方式运用其独特的研究框架分析什么样的可供选择的社会结构可以被研究和检验,而且这些特定的经济结构会对个体行为与社会福利产生什么样的影响。通过比较深入地探讨某种全局性规则演化不仅为什么可以被人们观察到,而且要研究为什么不是其他形式,这种规范式研究方式所关注的内容补充了与所观察到的全局性规则相关联的描述性内容。

基于行为人计算经济学有两种基本观点,其一是把经济学看成是一种自组织系统,当然这并不是崭新的思想。显然,这继承了哈耶克的传统(Hayek, 1948)。其二是把经济学看成是一种演化系统,这一思想同样不是新颖的,甚至在达尔文之前,一些经济学家就试图把进化思想运用到社会经济行为研究中。尽管最早的经济演化研究成果没有得到经济学家的重视,但是最有影响力的对经济演化做出开拓性贡献的是熊彼特(1942)关于经济制度演化的研究工作以及阿尔奇安(Alchian, 1950)关于经济系统中不确定性和演化的研究工作。纳尔逊(Nelson, 1995)在《最近关于经济变迁的演化理论》中系统地评述了经济演化的历史与最新发展。

与已有经济学研究方法相比不同的是,基于行为人计算经济学中崭新的思想与方法创造性地利用了新的强有力的计算工具——以目标为导向的编制程序方法。这些工具允许基于行为人计算经济学的研究者以4种重要方式扩展了以前已有的经济自组织和经济演化的研究成果:(1)以计算方式来构造的经济系统是由许多异质行为人在促使社会准则内在化、内部行为规则和来自于经验所得数据基础之上决定与其他行为人以及与其环境的相互作用。因此,这些行为人比传统经济行为人建模拥有更丰富的认知结构和更多的自治性。(2)在掠夺性与合作性相结合占据中心地位,连同价格与数量关系的这些经济系统中,行为人的相当数量行为与相互作用得以存在。在满足自己需要和要求的意愿下,行为人会响应行为人与行为人、行为人与环境相互作用而连续不断地适应自己的行为。也就是,行为规则是一个有条件的状态,行为人会有一种错综复杂的相互作用中协同适应各自的行为。因此,这种经济系统能够表示出自组织的行为。(3)进化过程能够被表述成直接作用于行为人行态度的自然选择压力,而不是群体水平的运动规律。这些自然选择压力促使行为人从事于以新的行为规则连续不断地进行可调整的试验,也就是,经济系统中行为人会协调进化。(4)经济系统能够沿着现实的时间路线、可

观察的方式发展,且不会受到干扰。一旦初始条件被建模者所设定,其后续事件可以被初始化,并且为行为人与行为人、行为人与环境之间在外界干扰情况下的相互作用所驱动。

总之,基于行为人计算经济学是借助于演化经济学(evolutionary economics)、认知科学以及计算机科学的概念和工具在一定程度下的调和而形成的一套方法,从而最终导致了三个重要的发展:第一,在自治的行为人思想和相互作用方面探索经济理论构造性基础;第二,这些理论通过谨慎的计算试验、统计分析发现以及解析分析、计量经济学研究、人类主观思想实验研究的适当对比,来得以检验、精练和扩展;第三,在概念上与来自于许多不同但有关的社会科学领域相容的社会经济理论的系统阐述和检验被人工学科的边界所分离。

为了更好地认识演化研究方法,我们有必要先介绍一下演化经济学中十分重要的概念——演化。演化经济学家威特(Ulrich Witt)把演化定义为“系统跨时间的自转换”。实际上,起初作为一种“出自于内部”的系统变化的演化定义曾多次出现在一些文章中,像马克思和熊彼特等一些学者都使用过这样的定义。然而,这种明显排除外生因素的演化的做法无法证明是正确的。在生物学中,个体既不完全是“自转换的”,物种甚至生态系统也不是“自转换的”。演化发生在开放系统中,这既涉及内生形式所引起的变化,也涉及外生形式所引起的变化。更一般地讲,演化既是通过内生变动又是通过其与可能演变的环境相互作用而发生的。

实际上,我们认为在社会经济演化当中,外生形式上所引起的变化也是相当重要的,其缘由部分地归因于模仿与顺从主义的文化机制,而这会趋向于减少内部个体多样变化性且能够导致制度的僵化。有时,外生冲击在克服制度复杂的刚性方法上起着重要作用。许多历史上的社会经济事件可以解释这一观点。

在强调内生变化方面,更多地使用开放系统的概念会更好一些。有时,演化发生在系统的边界上,但是系统的开放性意味着跨越重要而富有影响的边界而引发相互作用。这样,对开放性的承认迫使我们考察演变系统与其环境之间的相互作用。

二、金融市场建模中如何设计行为人

基于行为人的金融市场是一种远离传统均衡概念的、用于探索金融市场行为方式的令人兴奋的新工具,这里所涉及的行为方式有时是一种非完全理性的。来自经济学、计算机科学、物理学以及心理学等不同学科的一些学者正在致力于这一领域的研究。它是当今最为活跃的跨学科研究领域之一。

基于行为人的研究方法在许多不同的经济环境中得到了应用。然而,为了运用这些新技术使金融市场成为一个令人鼓舞的领域,这一交叉领域现今存在一些有待进一步探索的问题。该领域中所用到的技术显然是现有的最为动态化市场的一部分,而且可能从经济学之外的任何其他领域的研究技术中推演出一些更有意义的结果。这些技术汇聚了高质量、高频率的数据,从中推导出的特性与真实被扩展和推广。同时,这些技术得以集中地统一组织,而且相对于其他商品与服务的市场而言,以一般更有效的方式来交易同质产品。

这些基本问题超出了经济理论中与之联系比较密切的其他问题。市场稳定性与价格形成的一般问题自始至终地贯穿于经济学中。在众多的市场运作中,金融市场里沿着供需平衡所形成的价格比其他领域中的更为敏感。价格升高会引起行为人购买,而这种购买在不同程度上依赖于他们是否相信在这种价格变动中存在着新信息。不同于任何其他市场,金融市场提出了一种大的宏观系统仅有的可能行为,而这个大宏观系统能够起着有效的社会协调机制的作用[如同哈耶克(Hayek,1945)所建议的]。而其中的个体最优化行为并不必然导致社会上的有效结果。金融市场看起来像是吸引这类问题的完美领域,而这类问题在社会科学中居于复杂系统问题重要性与可应用性的核心部分。

在基于行为人建立模型中所面临的最重要的问题是对实际交易行为人的刻画与构造。行为人能够从简单预算约束的零智力行为人变迁到复杂的遗传规则模型上。设计上的这种变化归因于交易行为人必须解决没有详细说明的任务的事实。行为人所要做的事,就是要消化在市场模拟期间所生成的大量时间序列信息,而且要把信息转换成投资组合决策。已知的以某种方式处置这些过去数据的方法有许多,那么就一定存在同样多的构建交易行为人的方式。

显然,研究者在几个不同方向上,在研究之初都给出了一些限制性假设。最简单和最直接的途径是对真实世界中所运用的策略进行模仿并给出具有动态交易规则、定义良好的行为人进行建模,这一方法的简单性与分析上的易处理性使研究者所付出的成本较少。此方法能够导致非常容易处理的精确结果的出现,这会刺激对交易规则之间的交互作用的探索。其中之一是,与这些连接性(hardwired)策略相关的动态交互作用的事实。如果一个策略被遗漏了,或者行为人有意稍微修改当前策略,又该怎么办?许多这种类型的市场会假定,交易策略不带修改地连续使用,尽管在策略控制下,财富水平可以减少到零。这点无疑留下了一些尚未解决的问题,比如仅仅带有有限数量新物种的协同进化动力学会怎

样呢?

第二个批评或者争议是这些市场中的行为人不能以任何定义良好的目标函数来运作。拥有定义良好的行为人的目标函数是有一些用途的。如果行为人具有效用函数,或者其他相关的目标,那么研究者就可以按照行为人自己的有限信息过程来测度他们做得如何。效用函数在出现大量的政策评价中也有用武之地,因为效用函数可以阐明某一类权衡的相对价值。一个事例是政策可以减少市场被动性,而市场被动性同样会使交易缺乏效率。或许存在带有定义良好的目标函数就能够解决重要的权衡问题。与此类型相关的行为人可以用定义良好的目标函数来运作,但是,简单性是由有限信息与策略复杂性来支持的。这又导致了对一种公正的易于处理的市场的研究成果的出现,比如莱维等人的《股票市场的微观模型:周期、繁荣与崩溃》(Levy,M.;Levy,H.andSolomon,S.,1994)。

在行为人设计中,第二种类型是反过来进一步研究演化标度(evolutionaryscale),但是这会相当多的有关市场和机制方面的信息,这也是“零智力”(zerointelligence)行为人问题。零智力行为人的行动随机地受限于预算约束,一旦把零智力行为人置于仿效真实市场机制中,可以证明,他们会生成非常有效的交易结果。对于观察者来说,零智力行为人的行为经常看起来像是他们的预算约束指导其行动学习一样。这些极其简单的行为人不会被推到人工智能或者交易行为人设计的边界上,但是他们作为对认识金融市场所涉及的全部制度约束重要性来说是主要的提醒者。他们会提醒我们把超越交易行为人的进化问题扩展到实际的制度上。

最后,可以把行为人建模成如同市场上可学习的、可适应的策略形成,比如SantaFeInstitute(简记为SFI)人工市场,或者阿里夫文科的《遗传算法与实验经济中的汇率行为》(Arifovic,J.,1996)。这些市场运用了来自于人工智能的许多技术来对连续不断变化的行为人策略建模。这一研究方式考虑了行为人如何学习开发利用新市场无效的可能性。在这些市场中,因为行为人事前被装配的智力非常少,开始时行为人在其能力与策略结构方面都是同质的。当市场运作时,行为与策略方面的差异会内生地演变出来。于是,行为人异质性便成为所需要研究市场的变化特性。在探索与市场流动性相关的传统金融问题或者去寻找某人与其交易如何难的问题时,策略的多样性常常是特别重要的。内生的异质性特征可以把这些市场与大量的经济学和金融学中异质行为人性预期模型区分开来。

非常一般的行为人建模方法是与计算上的复杂性相关联的。诸如人工神经网络、分类器以及遗传

算法工具等都已成为行为建模的基础。这些人工智能工具仅在认识运作方面仍显不足,所能认识理解的内容仍旧是极少的部分。人们希望把交易规则考虑成来源于遗传物质的纯未充分发展的物质演化,但是必须真实地给出关于信息与交易规划结构方面的假设。交易者很少能够从开始就产生与创造出新的信息显示符号。通常,设计者会借助于提供各种统计上的构建单元来限制这一研究。

另外一个相关的批评是,行为人会众人在众人面前留下一些太明显的交易机会。在这种情况下,可以说学习型行为者显得十分简单、不够聪明,而且比较好的行为人会利用他们。如同基于行为者市场进展一样,这个批评被证明是对此研究方法众多批评中最为中肯的之一。本领域研究中一个困难是如何设置有限理性行为者的边界。在适应学习行为者世界中,策略可以通过演化而变得更为复杂。然而,更为复杂的策略能够变得过度专门化而靠不住,从而导致行为者最终死亡。这个研究表明,在策略复杂性中的边界是由变迁环境中过于专门化所驱动的,而不是由智力方面所限制的。相对于与人脑加工能力相关的内容而言,复杂性边界这个概念比较容易模拟和实验。

行为者设计中没有完成的问题在于如何认识动态的多时期行为者偏好和学习。现在一些研究者正在探索 and 解决金融市场中跨时期学习的问题。在辨别与计算状态变量时,不清楚在简单稳健形式下跨时期学习计划的路线。分类器系统是实施这种研究的一种可行方法,但是分类器系统在经济学中求解跨时期消费问题时被证明是有困难的。金融市场中持续采用长时期计划的实际人员如何应对简单适应当前数据以及紧接着的根据实际经验所得的做法,这点还是不清楚的。

行为者设计中没有被人们探索的最后一个问题是,行为者是应该发展未来价格预测呢,还是应该直接发展自己的决策,而未来价格会并入到决策框架中。前者的事例是 SFI 人工市场,而阿里夫文科(1996)的《遗传算法与实验经济中的汇率行为》则是后者事例。简单演化决策规则似乎看起来是更简单和更清晰的方法,但是,首先一点是考虑预测方面存在一些优点,其次是决策上存在一些优点。这能够使用简单最小二乘法近似目标,还有来自于计量经济学时间序列的各种工具可以得到应用。这些方法的预测结构有助于更详细的解析方法的利用。

三、几种基于行为者演化模型建立的金融市场理论与方法

(一) Lucas 式行为者与遗传算法

卢卡斯(Robert E. Lucas)在1986年的文章《适

应性行为与经济理论》中,提出了经济行为者的概念。他认为“概括地讲,我们把个体考虑成或者建构成决策规则的集合(其中规则指定了在已知局势下可以采取的行动)以及用于计算评估由特殊局势-行动组合而产生结果的偏好集合”(Lucas, Robert E., 1986)。在有了经济行为者的静态描述之后,卢卡斯立刻增加了经济行为者的适应(演化)形式。“这些决策规则在检查与修改的条件下会不断地延续,新的规则得到尝试和试验,而且带来希望结果的规则会取代那些结果不好的规则”(Lucas, Robert E., 1986)。因此,按照卢卡斯的说法,经济行为者的本质要素是建立在偏好集合之上可以适应(演化)的决策规则的集合。简单地说,经济行为者体现了演化群体的思想。

假设演化群体是经济行为者的本质要素,那么知道经济学家是否知晓有操作程序来证明上述本质要素是有根据的,这点看起来是重要的。如果我们回溯到1986年,那么答案一定是不知道。但是,这并不意味着我们不知道任何有关的演变决策规则。从另一种观点来看,从1970年代后期开始,在宏观经济学中关于有限理性的文献就已经将相当多的技术引进到演变的单一决策规则之中,比如递归回归、卡尔曼(Kalman)滤波、贝叶斯更新(Bayesian updating),其中既有单一方程的形式,又有联立方程组的形式。萨金特(Thomas Sargent)在1993年出版的著作《宏观经济学中有限理性》对这一论题给出了一个扩展性的概述。然而,这些技术对如何建立卢卡斯式的经济行为者给予的说明比较少,尤其是我们所要发展的内容不是单个决策规则,而是决策规则的群体。

实际上,那时经济学家几乎没有把个体考察成决策规则的群体,也不去关注决策规则演化的细节,这听起来有点令人奇怪。因此,即使有的话,与演化群体模型相关联的所有基础性问题得到关注与研究的很少。例如,行为者如何初始化决策规则群体?一旦经济人拥有决策规则群体,那么他们应该选用哪一个呢?此外,这一决策规则群体以什么方式“在检查与修改的条件下会不断延续”?由于决策规则是互不相关的,我们应该如何检查与修改它们呢?或者由于决策规则之间是相互关联的,那么我们又应该如何一起修改它们呢?还有,如果存在一些新的规则得以尝试,那么我们如何生成或找出这些新的规则呢?最后,“产生希望结果的规则应该如何取代那些结果不好的规则”,这点同样不是非常清楚。

解释经济学家为什么对处理决策规则群体不感兴趣与不擅长的一种方式,是经济学家一贯使用行为者演绎推断决策规则,同时演绎方法通常会导致惟一的解(即决策规则),而此解是最优的。因此,简

直不需要对决策规则群体进行考察与研究。

表1 卢卡斯式行为人与遗传算法

卢卡斯式行为人	遗传算法
决策规则	由1与0构成的二元字符串
决策规则集合	二元字符串集合
检查决策规则	适应性评估
好的决策规则替代坏的决策规则	选择
新规则繁衍	交叉与变异
无对应	模式

我们不能确切知晓决策规则的演变群体思想是什么时候开始和怎样吸引经济学家的,但是,霍兰(JohnHolland)对遗传算法(GeneticAlgorithms,GA)的贡献确实产生了非常大的影响。遗传算法是模拟生物进化过程的一种新的全局优化搜索算法,在计算机上具体应用实现遗传算法时就要依赖于计算机程序,若用遗传算法的术语来讲,每一个程序是由染色体来表示的或者正式地讲是由1与0二元素的字符串组成的。这些计算机程序中的每一个能够匹配成一个问题的解。首先,决策规则集合现在借助于所有计算机程序(所有1与0二元素字符串)得以表示;其次,检查与修改过程可以通过自然选择过程来得到实施。上述比较表说明了卢卡斯式行为人与遗传算法之间的密切联系。

例如,若以行为人在股票市场上投资为例说明遗传算法的具体应用,则把股票市场的上市股票数目定义为染色体的长度 m ,染色体上的每一位(基因)代表一只股票,而一条染色体就代表一种投资组合。定义基因的取值为0或1,分别表示某种股票不被选取或被选取。不难推出,整个个体空间共有 2^m 条染色体。然后,针对基因定义适应值函数,再对染色体定义适应值函数,它与该染色体的基因的适应值函数存在一定的函数关系。最后,定义算法停止准则,并依照遗传算法原理设计遗传程序、实施计算。

从1980年代早期开始,霍兰的遗传算法对计算机科学、数学、工程领域产生了意义深远的影响。然而,遗传算法对社会科学的应用一直到1980年代后期才得到普遍认可。1987年,密西根大学的政治科学家阿克塞尔罗德(RobertAxelrod)发表了第一个把GA应用到社会科学上的研究。一年以后,密西根大学的米勒(JohnMiller)完成了第一篇把GA应用到社会科学上的博士学位论文。阿克塞尔罗德和米勒一起探讨了著名的“重复囚徒困境”博弈问题。除了上述这两个最早的研究论文之外,或许最著名的把GA引进到经济学中的事件是在1987年秋天由霍兰发起的在SFI召开的经济学会会议。霍兰在他的题为《作为适应过程的全球经济》演讲报告中把遗传算法本质要素的构建单元(buildingblocks,又称建模块)

引入到经济周期研究中。参加这次会议最有声望的当代经济学家包括阿罗、萨金特、切纳里、沙因克曼以及阿瑟等。

构建单元是指染色体的特殊形式,也就是决策规则的本质特性。在遗传算法中存在一个正式的术语来刻画此内容,它称为模式(schema)。在遗传算法中,模式被认为是学习、进化与适应的基本单元。每一个决策规则能够定义成一些模式的组合。决策规则的检查与修改过程就是搜寻那些可行有限的模式的正确组合。把卢卡斯关于经济行为人的描述改用霍兰的遗传算法术语来讲,就是经济行为人随着他们经验的增多而不断地修正与重新安排其建模块。这样,遗传算法不仅使卢卡斯式经济行为人成为可执行的,而且还丰富了经济行为人的许多细节。

在有关遗传算法的知识在经济学家之间逐渐传播与积累之后,带有决策规则演变群体的经济行为人建模的研究最终在1990年代开始增加。第一篇被引证的期刊论文是马里蒙等人(Marimonetc.,1990)的《带有人工智能行为人经济中货币作为交换媒介》。该文追随清泷和赖特(KiyotakiandWright,1989)论文《关于货币作为交换媒介》的研究方式。在简单的物物交易经济中,清泷和赖特发现,贮存成本低的东西不是个体为什么运用货币的惟一原因。另外一个原因是货币使得个体更容易找到合适的交易伙伴。然而,马里蒙等人用人工智能行为人代替了清泷和赖特研究背景中的理性人,研究发现,具有低贮存成本的商品才会起着控制交换媒介的作用。

在1970年代后期,霍兰做出的另外一个贡献是分类器系统(classifiersystem),它可以应用于对行为人决策规则群体建立模型。分类器系统类似于Newell-Simon型专家系统(这是由AllenNewell和HerbertSimon在1950年代中期一起探讨人类如何解决问题的一项研究成果),它是由如果-那么或者条件-行动构成的集合。然而,经典的专家系统是非适应的。为了实施像市场一样的竞争,一种通常称为bucket-brigade(斗链,本意为救火时排起的长队,这里依照计算机领域的习惯称为“斗链”)算法的正式算法规定记入贷方规则产生好的结果,而记入借方规则产生坏的结果。此种会计系统被进一步应用于求解规则之间的冲突。分类器系统的弱点是,它不能够自动生成或删除规则。然而,通过在斗链以及基于规则系统上面添加遗传算法,人们能够提供有点类似于卢卡斯式行为人,此行为人不仅可以从经验中学习,而且能够自然成长与创新。

霍兰式适应行为人的形式比卢卡斯式行为人更为丰富,同时也容易实施。此项研究工作在霍兰的第二本著作出版之前就已完成,但是它正式引进经济学中却是在卢卡斯(1986)《适应性行为与经济理论》

出版之后第5年。在1991年,霍兰和米勒(Holland and Miller)在最有影响力的《美国经济评论》上发表题为《经济理论中人工适应行为》的文章,概述了人工适应行为(artificial adaptive agent)建立模型的思想与方法。这样,第一个实施卢卡斯式行为人的技术最终在经济科学中得到了注册,同时遗传算法和分类器系统被正式地添加到经济分析的研究工具箱中。

如果卢卡斯式行为作为经济理论中经济行为人的理想化身,而且如果霍兰式适应性行为实际上是卢卡斯式行为的一种有效实施形式,那么接下来的研究存在三个方向可以继续做下去:(1)这种新技术的应用;(2)新技术在理论上正确性的证明;(3)新技术的技术细节的改进。实际上,我们发现,在1990年代所经历的研究正是沿着上述三个方向展开的,并且取得了一些成果和进展。

(二)人工适应行为

尽管霍兰把“人工适应行为”这一有力的工具介绍给经济学家,但是他除了与阿瑟(Brian Arthur)一起工作之外,并没有指导任何利用该工具的经济研究工作。在1987年9月,霍兰与阿瑟相识于SFI举办的物理学和经济学的研讨会上。他们对经济学本质特性的共同兴趣与探讨激发了一系列的思索和研究。

阿瑟在1992年发表了一篇题为《论经济中学习》的研究论文。他认为,当我们探讨异质行为模型时,演绎方法应被归纳方法所取代(Arthur, W.B., 1992)。因此,他的论文建立了有关行为认知过程的经济学微观及基础。比如,样式识别、概念形成、假设系统表述、可供反驳用的证据。随后,他证明,这些认知过程的动力学是如何类似于霍兰提出的人工适应行为的研究分析方式。

例证 SFI 经济学家研究方法的最佳项目也许是人工股票市场。此项目开始于1984年,虽然该项目在1989年取得了进展,但是刊登出这一研究成果的论文一直到1994年才发表。帕尔默等人(Palmer et al., 1994)的《人工经济生命:一个简单的股票市场模型》首次从标准资产定价模型(Grossman and Stiglitz, 1980)出发建立了他们的股票市场。在建模研究中他们把GS模型中的理性代表行为用霍兰的人工适应行为来代替,然后模拟市场运作。他们对此采用三个步骤来实施,即:(1)选择一个基准;(2)用人工适应行为代替理性代表行为;(3)模拟经济运作。这一方法与马里蒙(Marimon, 1990)和阿里夫文科(1994)所采用的研究方式相同,但是仍然有一些差异,SFI研究者在运用人工适应行为思想的后面具有完全不同的动机。

首先,对于新古典经济学家来说,运用人工适应

行为主要是作为一种探讨和认识经济是如何收敛到理性预期均衡的方式。其次,在存在多个均衡的时候,甚至当行为不是完美理性的时候,这一工具能够进一步用来从多个均衡中选择出一个。最后,当局势变得极为复杂时,理性预期均衡不可以用解析形式的分析方式时,这一工具则能够用来计算出理性预期均衡。萨金特(1993)在他的作为第一本把遗传算法和分类器系统引入到经济学的课本《宏观经济学中有限理性》中给出了这三个优点的清晰阐述。

与之相比,SFI 经济学家认为这三个优点非常不突出。如同阿瑟(1992)所述:“迄今很难发现,经济学家为什么应该深刻地关注与学习和适应行为密切相关的众多证据。新的研究文献使我们确信,学习模型在详细阐明趋向于标准的经济理论均衡调节过程中十分有用;而且它会引出颇为吸引人的有关学习意味着递归地把新的信息并入到决策行为之中的问题。但是,这点给我们留下的感觉是含混不清的学习有点依附于经济——附带动态的调节到核心理论上,也许完全没有必要在这一领域进行理论化,尽管它拥有令人感兴趣的思想”(Arthur, W.B., 1992)。

关于适应行为能够导致理性预期均衡的观点几乎没有争议,但是对于SFI经济学家而言,这只有在十分简单的问题中才得以成立。对于阿瑟来说,与经济学相关的遗传算法比理性预期均衡更为坚实。他喜欢认识人们是如何运用这一工具来模拟真实经济的演化,诸如物物交易、货币、中央银行、劳动工会甚至共产主义者的涌现。然而,他认为,人们应该从更为适合的问题开始,而不是从建立整个人工经济开始,这从而导致了人工股票市场的诞生。

从上述不同的研究动机和方法论视角出发,看一看新古典经济学家与SFI经济学家在他们各自模型中是如何对行为设计计算机程序的,给定他们各自的编码或程序,行为是如何演化成复杂的,这是一件有意思的事。阿里夫文科(1994)直接对厂商所做决策进行编码,也就是对厂商供给数量编码,它仅仅是一个数量。他没有对厂商的决策规则编码。因此,厂商一代接一代生存仅仅依靠简单的数量决策而已。无论时间范围怎样长,来自于这些厂商的预期不会太复杂。马里蒙等人(Marimon et al., 1990)却有些不同。他们对当成交换和消费的分类器的交易者决策规则进行编码。条件-行动空间十分简单,他们的模型中仅存在72个可行分类器,人们能够直接列举出它们。

帕尔默等人(Palmer et al., 1994)同样利用标准的三元字符串来为金融市场交易者经常使用的不同形式交易规则进行编码。每一个字符串是随机地从

三个字母 {0,1, *} 中选取。每一个字符对应于单一交易规则的条件部分。例如,双移动平均规则的条件部分是“价格的 20 时期移动平均高于 100 时期移动平均”。如果条件是正确,那么适当字符是 1,而如果条件不成立,那么适当字符是 0。他们典型地利用了 70~80 个字母的字符串,也就是,与交易规则数目相同。这就定义了一个带有从 $3^{70} \sim 3^{80}$ 个可行的无多余分类器的搜寻空间。然而,每一位人工交易者在其分类器中拥有自己的仅 60 个分类器。考察一种具有 100 个可计算的交易者的情况:在单一交易操作中至多存在 6000 个被估值的不同规则。与搜寻空间相比,该规则数目是很小的。这种相当大的搜寻空间确实超出了由阿瑟(1992)称之为问题复杂边界(problem complex boundary)可获得的演绎解的范围,而且人类行为是不可能计算它的,然而,这正是 SFI 人工股票市场开始起作用的地方。人工股票市场为应用遗传算法提供了良好的环境,同时为观察演化提供了大量的时机。正如阿瑟(1992)所阐述的那样:“我们没有发现市场行为曾经安定下来的证据,预报值的集合在连续不断地协调变化。检验此事的一种方法是把行为人从系统中取出,稍后再次注入其中。如果市场行为是平稳的,那么行为人应该在未来能够做得与他们今天做得一样好。但是,我们发现,当我们先‘冻结’一个成功行为人的预报值,然后过一段时间再将其放入到系统中,前面成功行为人现今成为一个保守的人。他所做出的预测是非适应的,而且执行效果欠佳。系统在变化。从我们有利看问题视角出发,市场(在计算机模拟上处于一个市区内博弈)看起来没有什么不一样

的。但是,它处于内在地协同进化、变动以及转变之中。它从来没有安定下来”(Arthur, W.B., 1992)。

或许现实的问题是,遗传算法能否强化理性预期均衡的观念,还是仅仅模拟人工生命,我们怎样为适应行为编程呢。这是关键性的问题,因为不同的程序模式会导致各种各样的结果。正像经济学家指出的,只有一种方式能够达到完美理性,而存在无数多种方式能够达到部分理性。关于适应行为编程的这种无限制的自由度,萨金特(1993)同样注意到了这点。他认为,这一领域是一片荒野,因为研究者在决定放弃由均衡理论提供的原理之后,会面对着非常多的选择。而阿瑟则确信,让行为从完全愚昧无知开始,然后他们从经历中学习变得越来越聪明。这样,核心的问题就是如何对行为编程,使他们像完全愚昧无知的个体一样去初始化,但是却能够潜在地变得非常聪明。

为了进一步阐明上述的讨论,我们下面以表格形式总结出基于行为建模进化研究家族中遗传算法与分类器系统两种方法的比较(见表 2)。

目前,尽管遗传算法与分类器系统研究方法在经济与金融建模中已经取得了一些应用成果,但是在实际应用中存在一些操作上的困难,然而探讨利用基于行为模型去处理经济问题的论题是非常有前景的。实际上,如何将金融市场建模、演化算法、计算模拟有机地整合在一起对真实市场系统地进行探索是依赖于计算模拟的实施。在这个方面一些研究人员已经开发出几个自成体系的计算机编程专用软件,比如 Ascape, Repast, Starlogo, AgentSheet, Swarm 模拟平台等。

表 2 基于行为建模中进化研究方法类比

遗传算法	分类器系统	
种群	有限长度字符串 $A=x_1x_2 \dots x_n$, 其中 x_i 是 1 或 0	信息:有限长度字符串 $A=x_1x_2 \dots x_n$, 其中 x_i 是 1 或 0 分类器:产生可以解码(分类器)信息的规则
繁殖算子	使用个体字符串定义更为容易(概率)生存的适应度函数	用分类器代替适应度函数,定义更易于繁殖的规则(非个体字符串)
交叉算子	在繁殖过程中通过切除与转换字符串允许创造新的个体工具	在繁殖过程中通过切除与转换字符串允许创造新的个体工具
变异算子	通过以概率 P_m 对 x_i 的一个位置改变来创造新的字符串的工具	通过以概率 P_m 随机对规则改变来创造新的字符串的工具

四、对金融市场基于行为演化建模中问题的探讨

(一) 交易机制

基于行为市场的第二个最重要的部分是控制资产交易的真实机制。一旦把相对简单的均衡建模方法与思想放置在一边时,人们必须考察真实交易的详细情况。对于市场模型设计者而言,这是喜忧参半的事。就忧虑的方面而论,它开始了另外一种对设计问题缺乏深刻认识的序幕。然而,它为人们

研究各种各样的交易机制所产生的影响带来了一些有益的因素,这些交易机制不同于均衡世界的研究思想。相当多数的基于行为市场模型对这一问题的解决存在三种方式:第一种方式,假设简单价格对应于超额需求,建立一种局部均衡价格市场是非常重要的,以显性方式对交易动力学建模,看起来像真实市场中的连续交易。

许多最早期的基于行为市场运用了第一种方式对价格运动建模。这种类型市场对交易者的当前需求进行统计,然后汇总市场需求,如果存在超额需

求,那么价格上升;如果存在超额供给,那么价格下跌。此规则的一种简单形式为:

$$P_{t+1} - P_t = (D_t - S_t) \dots\dots\dots (1)$$

其中, D_t 与 S_t 分别表示 t 时刻的需求与供给,因而(1)式表明这类市场反应迅速。它强调市场连续不断地处于非常均衡之中,同时它给出了一些依赖于行为人所使用的结构的解析式分析。然而,它具有一些显著的成本。在早期的 SFI 市场实验中,人们发现动力对参数非常敏感。一旦设置太大,会导致价格过度反应且促使价格剧烈地往复波动。若设置太小,会引发市场反应缓慢而没有超额需求。当投资者没有获得其所需要的份额时,价格便缓慢地上升。这些趋势也会被学习性行为人所认识,并且由大量交易者所采用的跟上趋势交易所放大。

该种价格设置方式一个有意义的扩展与推广是,假设超额供给或需求的份额可以由市场做市商来消化。价格调整机制类似于前面所述,但是超额需求与超额供给可由市场做市商来弥补。这减少了有关行为人不满足的设置条件的需求,但是却带来了做市商贮存行为的新问题,如果不是最优的,那么至少是否是敏感的。除了参数敏感之外,这一价格调整机制还引发了另外一个问题,因为它在市场动力学中通过假设某一个定量的市场深度或流动性回避了一些重要问题。由于指令流(orderflow)并不平衡,这基本上是价格运动的解释。在真实市场中,这一深度是变动的,同时应该成为对抗于固定常数的当前交易行为人性的一种涌现性质(emergent property,又称为突现性质)。固定价格机制如何处理这个问题并不是十分清楚。

第二种设置价格的方式是,给出几种市场结构假设,以便确定一种暂时的均衡价格。在所有这些情况中,模型结构产生了定义良好的行为需求函数。于是,这可以进行解析式分析,或者有时可以进行计算分析。此方法解决了第一种设置价格方式的一些参数问题,同时考虑了变动的市场深度,但是它要求更多的关于市场经济结构的设置。特别地,对需求函数关于暂时价格确定具有足够良好行为的要求是一个非常强的限制条件。此特性对于高频率金融市场中的交易并不是一个良好的刻画,但是对于较低频率价格动力学而言却不是一个坏的假设。

第三种设置价格方式涉及到对市场中真实交易机制的建模。这意味着真实地对复制真实市场中所使用的交易机制建立模型,包括可能的限价指令(limitorder)以及指令交叉规则。此方式大部分要求运用高频率数据来建模,同时对前面的一些批评显得并不敏感。当市场出清机制成为一个机制性规则时,它很容易实行。如同纽约证券交易所专家系统

一样,通过人们的干扰来运作,它要求对能够变得复杂的、可学习与适应的行为人进行建模。能够很容易运用这一方法的一个领域是起因于非常简单市场的复制实验。在这些情况下,基于行为市场忠实地遵从人类实验市场中所运用的市场设计。由于这些市场是人为仔细控制的实验,所以这给出了人工市场构建者设计运作的一些结构。此外,来自于实验市场中可复制结果被证明是未来探索有效性的一个有用的方法。

(二) 行为演化

演化作为相当多数基于行为市场建模中的极为关键的环节,它会以许多既在实践上、又在哲学意义上起作用的方式成为动力学核心。早期的有关演化与非理性投机的讨论可以回溯到经济学家弗里德曼(Friedman,1953)的《论弹性汇率》,他认为非理性投机者因为其绩效不佳,不能与较好的理性交易者相对抗而被市场所驱出。当沿着协同进化思想考察时,这一论述不再成立。交易者绩效严重地依赖于其他交易者的行为,因此,对任何一个作为非理性的事前策略,不知晓其所处的环境来判断好坏是不可能的。

在金融学中,早期的关于噪声交易与有限套利(limitstoarbitrage)讨论重新开始了对这一问题的讨论。这些模型强调了理性交易者担心非理性交易者会把价格推向他们没有预测到的方向上,而退缩到自己的某一头寸上。

把演化思想应用在社会科学研究中开创了“什么应该作为适应度准则”的这一主要问题的研究与探索。金融学是特别幸运的,因为财富测度好像是一个良好的选择,但是这点是不确定的。一些研究者利用效用测度作为适应度的代表,但是为什么这应该导致全体行为人生存,并不是非常明显的。布卢姆和伊斯利(BlumeandEasley,1992)在《演化与市场行为》中证明,效用最大化与财富最大化不是同义的。在他们的模型中,财富选择机制不必选择最经济的理论行为人生存。跨越作为有意义的哲学上的关于口味与偏好的问题,由于风险规避问题存在,所以这一问题在金融学中显得特别重要。风险规避的行为人会事前实行最优的、谨慎的投资组合计划,但是从长期来看,这些计划不会依据财富最大化使他们处于领头地位。演化将把市场带入到显著的过度自信中,这点在长期中是十分可能的。

演化还会极大地影响到适应度规则的评估以及控制其随时间变化的学习机制。比如遗传算法,这类机制常常被作为新规则产生与实验的学习动力。这也依赖于作为在市场取向方面极为重要的适应度测度。这应该是那种使预测收益、财富、效用、预测误差或者某一生存性估计最大化的规则吗?给定适

度测度将是极度噪声的,行为人在其规则选择中应该如何调整该测度?在某一适应度或选择机制下,群体经常迅速地缩小到一个小的潜在策略子集上。此处能够给出的惟一方法是采用相对稳健的适应度测度,以此适应度测度剔除策略是困难的。

五、未来发展方向

这些研究成果的取得与展开,将会推动人工金融市场在几个方向上向前扩展。其中之一将是向着现实性与有效性方向。此领域中的市场将必须致力于数据信息的严格获得上。显然,来自经济学中关于标定参数研究文献中所利用的工具将是十分有用的。这些工具将不得不面对连续不断地要求标定参数的所有问题。对于上述批评几个最初反应与回应是可行的。通过匹配数据中的大量特征,一种反应是在大规模基础上实行标定参数。在传统意义上,人们是企图获得预期收益或方差的一小部分,努力匹配上许多重要特征,包括交易量,以及各种交叉相关将是重要的。

第二个方向涉及更好地认识与理解多个行为人的系统的遗传性质是什么。看起来像是传统金融模型发现很难生成的特征正在不断地增长,然而基于行为人的市场模型会很容易地提供这些特征。或许存在一些起作用的非常有意义的遗传问题,相当多的基于行为人的市场将要生成这些结果是可能的。一部分基于行为人的建模的世界在简单的市场模型的方向上以及能够揭示其遗传性质的工具上处于领先的地位。这一系列的研究有助于揭露多个行为人的、复杂系统世界中的一些基本共同特性。

人们期待不久的将来,源自人工市场所具有的实证性的研究进展会进入到经济学的其他领域和社会科学中。这里所尝试和试验的一些技术被证明在其他地方也是十分有益的。这些向外扩张的进展将会远远超出金融学范围,而在许多不同情况下导致一些有关人类行为的新洞察力。

参考文献:

1. Ankenbrand, T. and Tomassini, M., 1997. "Agent Based Simulation of Multiple Financial Markets." *Neural Network World*, No. 4, pp. 397-405.
2. Arifovic, J., 1994. "Genetic Algorithms Learning and the Cobweb Model." *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 18, pp. 3-28.
3. Arifovic, J., 1996. "The Behavior of the Exchange Rate in the Genetic Algorithms and Experimental Economies." *Journal of Political Economy*, Vol. 104, pp. 510-541.
4. Arthur, W. B., 1992. "On Learning and Adaptation in the Economy." Santa Fe Institute Working Paper, 92-07-038.
5. Arthur, W. B.; Holland, J. H.; LeBaron, B.; Palmer, R. G. and Tayler, P., 1997. "Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market," in Arthur, W. B.; Durlauf, S. and Lane, D., eds., *The Economy as an Evolving*

Complex System. Addison-Wesley, Reading, MA, pp. 15-44.

6. Blume, L. E. and Easley, D., 1992. "Evolution and Market Behavior." *Journal of Economic Theory*, Vol. 58, pp. 9-40.
7. Chen, S. H. and Yeh, C. H., 2001. "Evolving Trades and the Business School with Genetic Programming: A New Architecture of the Agent-based Artificial Stock Market." *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 25, pp. 363-394.
8. Holland, J. H. and Miller, J., 1991. "Artificial Adaptive Agents in Economic Theory." *The American Economic Review*, Vol. 81, pp. 365-370.
9. Holland, J. H., 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. 2nd Edition. Cambridge, MA: MIT Press.
10. Kirman, A. and Salmon, M., 1995. *Learning and Rationality in Economics*. Basil Blackwell.
11. Kiyotaki, N. and Wright, R., 1989. "On Money as a Medium of Exchange." *Journal of Political Economy*, Vol. 97, pp. 927-954.
12. Kuan, C. M. and White, H., 1994. "Artificial Neural Networks: an Econometric Perspective." *Econometric Reviews*, Vol. 13, pp. 1-91.
13. Kydland, F. E. and Prescott, E. G., 1996. "The Computational Experiment: An Econometric Tool." *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, pp. 69-85.
14. LeBaron, B.; Arthur, W. Brian and Palmer, R., 1999. "The Time Series Properties of an Artificial Stock Market." *Journal of Economic Dynamics and Control*, pp. 1487-1516.
15. Levy, M.; Levy, H. and Solomon, S., 1994. "A Microscopic Model of the Stock Market: Cycles, Booms, and Crashes." *Economics Letters*, Vol. 45, pp. 103-111.
16. Levy, M.; Levy, H. and Solomon, S., 2000. *Microscopic Simulation of Financial Market*. New York: Academic Press.
17. Lucas, Robert E., 1986. "Adaptive Behaviour and Economic Theory," in Hogarth, R. and Reider, M., eds., *Rational Choice: The Contrast between Economics and Psychology*. University of Chicago Press, pp. 217-242.
18. Marimon, R.; McGrattan, E. and Sargent, T., 1990. "Money as a Medium of Exchange in an Economy with Artificial Intelligent Agents." *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 14, pp. 329-373.
19. Palmer, R. G.; Arthur, W. B.; Holland, J. H.; LeBaron, B. and Tayler, P., 1994. "Artificial Economic Life: a Simple Model of Stock Market." *Physica D*, Vol. 75, pp. 264-274.
20. Palmer, R. G.; Arthur, W. Brian; Holland, John H. and LeBaron, Blake, 1998. "An Artificial Stock Market." *Artificial Life and Robotics*, 3, pp. 27-31.
21. Sargent, T., 1993. *Bounded Rationality in Macroeconomics*. Oxford, UK: Oxford University Press.
22. Luna, Francesco and Stefasson, Benedikt, 2001. *Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming*. Kluwer Academic Publishers.
23. Luna, Francesco and Perrone, Alessandro, 2003. *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm*. Kluwer Academic Publishers.
24. Nelson, R., 1995. "Recent Evolutionary Theorizing about Economic Change." *Journal of Economic Literature*, 33, pp. 48-90.
25. 王忠玉、冯英浚:《进化对策论:理论、模型与应用》,载《经济评论》,2002(12)。

(作者单位:哈尔滨工业大学管理学院 哈尔滨 150001)
(责任编辑: N)