

经济学研究与数值计算

何耀

摘要: 在经济学研究中,数学模型和计算机是两个重要工具,而数学与计算机之间最直接的桥梁是数值计算方法。要使数学工具与计算机工具充分发挥综合效用,经济学研究者也许应该了解一些涉及数值分析的基本内容和在经济分析中使用的有效计算方法。本文有选择地介绍了国外宏观、微观和部门经济学研究中模型计算方法在近年来的实际应用及发展趋势,以期引起我们在经济学研究中对数值计算问题的关注。

关键词: 经济学 数学 计算机软件 数值方法

一、模型、计算、软件

在经济学研究中最能把数学和计算机两个工具联系起来的是定量分析,而我们目前的定量分析又往往被局限在算术计算和统计意义的计算上。实际上,数学与计算机之间最直接的桥梁是数值计算方法,统计意义的计算只是数值计算中的一部分,经济学中大量的非统计数值计算问题在长时期内退出了研究者的视野。但是计算技术的快速进步与数值计算方法在经济学研究中的广泛应用,正在改变经济学传统的研究方式,定性分析与定量分析的领域中都有数值方法应用的广阔空间,它们的发展给经济分析带来了更为精确的工具和量化手段。

广义的说,数值计算是把求连续性数学问题的解析解转化为求其离散性数值解的近似方法。在计算机出现以后,所有已经出现的数值计算方法都及时地被编成用计算机计算语言实现的算法程序。为了更具体的说明数值计算在经济学研究中的定位,我们用图1来描述计算机解决经济计算问题的过程:



图1

图1中第一、第二和第七步是属于经济分析的典型范畴,第三至第六步则是数值计算的工作任务。要求所有经济学家精通计算数学是不实际的,但是对于关注量化分析的经济学研究者,却应该了解一些数值计算的基本方法和目前经济学研究中相关专业方向常用的可靠算法及其发展趋势。特别是对于不同计算软件所包括算法的了解将大大加强解决经济定量问题的针对性。现在有一些大型的通用科学计算软件如 MATHEMATICA、MEHLE、MATHCAD、MATLAB 和 GAUSS 等等是人们熟知的,但是他们在通用中有针对性。另外,有不少大型的专用软件如 SAS、SPSS 也是人们熟悉的统计计算软件,但是随着计算机内存的海量扩展,专用软件也越做越大而向通用性趋近,比方 SAS 中现在也含有优化算法。这些软件的设计变化反映了科学研究包括经济学研究的发展需要:从数学模型的研究方向来看,非线性、不确定性和最优化问题经常在同个研究课题中突显。而人们在研

究中引入它们并试图解决问题所依赖的工具至少有两个,其一是在速度和容量上不断扩张的计算机,其二是在计算机升级影响下不断发展的数学理论和算法。

大型软件功能较齐全,但是使用成本也高,这就为小而专、使用成本低的计算软件留下了发展空间,比如计量经济模型计算软件 EVIEWS 就基本涵盖了对单方程模型、联立方程组模型、平稳和非平稳时间序列模型以及时序与截面混合数据模型的计算方法,再如最优化模型计算软件包 LINDO 和 LINGO 也分别包括了线性规划、整数规划和非线性规划等模型计算的各种算法,而它们的使用成本大约只有大型软件的几拾分之一。还有一些更为专用的低成本计算软件,将在下文的相关内容中指出。总之,软件有大小之分,成本有高低之别,效用有优劣之判,其中关键在对于适用的软件选择。当然,软件的选择需要对具体经济模型的相应数值计算方法有所了解。

“物以载道”,计算机是我们思维延展的现代工具,计算方法是利用计算机试解更为复杂经济问题的利器,岂能不察?回顾近年来数值计算方法在一些经济模型研发中的进展有助于改进我们的经济学教学内容和科研方式。而明确定性分析与定量分析的互补关系将促使我们更加重视计算技术在经济学研究中的应用。下面我们选择性地介绍国外宏观、微观和部门经济模型计算方法在近年来的实际应用及发展趋势,以期引起我们在经济学研究中对数值计算问题的关注

二、宏观经济学与最优化计算

宏观经济学中线性模型发展为非线性模型模型是总趋势,所用到的计算方法与非线性领域的数值分析紧密相连。非线性模型与最优化方法是重点使用的数学工具,它包括神经网络模型和大规模的数学规划计算方法。随着计算技术的进步,一些以前涉及非线性动态规划,但难以求解的宏观模型恢复了生机。在宏观经济政策方面,平狄克早期设计的模型框架是线性和小规模的单动因优化模型 (Pindyck, 1973)。近来在应用上,这种模型扩展为使用开环优化方法计算的大型非线性宏观模型。萨金特等人也于 1970 年代后期,在私人公共因素都具有理性预期的条件下估计了多动因的优化模型解,但计算限制在小规模的线性模型上

(Sargent, 1978)。而在 1980 年代已有人应用欧拉条件的低阶差分方程逼近方法和前瞻性因素的政策分析思想将其扩展为并不复杂的非线性宏观经济模型(Fair, 1983)。

随机动态规划也已成为宏观经济学均衡问题的主要分析手段之一,在经济增长和经济周期的研究中亦为重要的方法论。经济周期理论中的一个基本的问题是要解释厂商或生产者对于不景气的回应,即为何是快速调整生产和雇员数量而不是调整价格。斯蒂格利茨等人的解释是:名义工资的刚性能够使厂商感知从数量上减少生产成本是低风险的,而处理与需求相关的收益——即价格却有更高的不确定性(Greenwald, B. and J. Stiglitz, 1989)。这一问题也可用不确定性下的优化方法作分析,其中含有随机系数状态方程的近似线性——二次高斯型方程组。

在实证分析中,宏观经济研究也正转向使用微观行为分析所倚重的时序数据与截面数据混合的面板数据库,以便获得更切合实际的经验结果。宏观经济系统的特征往往归结为复杂的动态总量,比如布兰查德关于对粘性价格的累积滞后解释,对于同质经济人微观行为估计的总量分析往往是被经济分析所忽略的问题(Blanchard, 1987),而自 20 世纪 80 年代末以来由于计算技术的发展,促使人们应用非总量的微观面板数据研究这些宏观问题。

在增长和发展问题中,经过一段长时期的非活跃期后,目前又对理论和计算形式的增长模型感兴趣,这些模型包括各种类型的资本存量,如在各种部门中的设备、建筑和运输车辆。生产函数被用于分析各类资本之间和不同类别的劳动力之间的特殊替代可能性。劳动力投入将根据教育和经验的水平加以区分,并且这些模型也包括关于教育和劳动力的子模型。投入—产出模型被用于各部门间的商品流。出口和进口函数的引入有助于资本物品与原材料进口以及中间产品和最终产品出口的决策分析。这种工作将更类似于涵盖投资成本分析中规模经济的分析。它反映了利润水平和研发支出的技术进步内生倾向。这种结构的模型成为产业政策分析的导向性工具。计算方法现在将更有效地用于分析带有规模经济特征的多部门增长模型。此类模型常用到大型稀疏矩阵的数值解法,稍前提及的非线性模型的数值解法也有近似地化为线性问题求解的情况,计算软件 MATLAB 和 GAUSS 对稀疏矩阵和线性问题求解具有针对性。还有一些可供网上免费下载或使用的专用于线性模型计算的小型软件包,如 LAPACK 是用于计算线性方程组及其特征值、奇异值等的软件包,PCGPACK 则是用共轭梯度迭代法求解大型稀疏线性方程组的分布式并行算法软件包。

三、微观经济学与整数规划和变分不等式算法

“计算”实际上已经在微观经济分析上添加了一个新的维数。一般来讲,为了在微观经济分析中获取解析解,往往使理论经济模型的规模和形式都受到制约,但对于数值计算方法而言,也许就不存在这些障碍。

马尔科维奇在规模经济理论的基础之上应用整数规划方法计算动态投资模型(Markowitz, 1957),在 20 世纪 70 年代这一基础性的工作进一步应用在世界银行关于钢铁、造纸、肥料等行业的微观经济研究中。

20 世纪 90 年代以来,这一工作被引入到一些专家系统和工业生产计划模型中。特别是使模型在计算过程中表现出图形界面。一个生产和运输问题的线性规划模型能在计

算机屏幕上开若若干个窗口:(1)显示工厂与市场的地区分布图;(2)显示此问题的数学模型及其目标函数和约束条件;(3)显示建模语言 GAMS 构造的模型;(4)显示工厂到市场之间的运输成本和指定生产过程的投入产出数据;(5)显示专家系统代码和提供数据的部门数据库,以描述模型构成。此类描述的任何一种都可用于模型的各部分更新,比如将另外的工厂在直观的图形界面上加入到模型和专家系统的数据库中去,让使用者能即时直接地“看着”模型的扩充和更新,这种将“抽象”数学模型“具体”形象化的描述对于企业管理者是非常重要的,因为它让使用者感觉到实际的“管理”,而不是在做虚拟的“控制”,他是一个管理者而不仅是一个技术人员(Kendrick, 1991)。

数学规划模型在经济问题中的另一个有希望发展领域是对均衡问题计算的变分不等式算法。由于变分不等式问题包含或说特殊表现为求解非线性方程组的极大与极小、不动点等问题,因此它又是一个具有某种统一性的研究框架。在网上可以搜寻到计算非线性和不动点问题的专用软件包,如 MINPACK 是免费使用的计算非线性方程组和非线性最小二乘问题的程序,HOMPACK 是用同伦方法计算非线性方程组和不动点问题的程序。

变分不等式理论是在 20 世纪六七十年代为研究偏微分方程问题而发展起来的。到八九十年代有限维形式的变分不等式问题已经被用于特定均衡条件下多种经济问题的定式和求解,如由数个厂商控制的寡头市场的均衡问题和特殊价格的均衡问题(Nagurney, 1988)。它能处理多商品市场的价格均衡,并且不再局限于涉及供给、需求价格和运输成本函数的雅可比矩阵对称条件,而这一条件的限制出现在 Takayama - Judge 模型中(古典萨缪尔森模型)。一般经济均衡问题可通过变分不等式的分解算法求解,并且此数值结果表明这一算法对于大规模问题也是非常适用的。变分不等式与随机过程的研究相结合,则在 20 世纪 90 年代后期被用于分析期权定价的问题上。

变分不等式算法之所以比不动点算法更适合于解决大规模问题,一个主要的优点在于它的并行分解算法,这种算法已经被用于求解多商品市场和动态市场的均衡问题以及多商品交易模型中的高、低限价的控制问题(Nagurey, 1991)。

可计算一般均衡(CGE)问题是经济学中最为成熟的计算论题。它发端于 20 世纪 60 年代,最近的工作也已经研究了更为一般性的变分不等式问题。而布朗等人则使在不完全资产市场条件下计算一般均衡问题成为可能(Brown, 1996)。

动态规划也是动态经济理论的一个重要的组成部分。一些经济学家已经把动态均衡问题中的线性——二次型模型用于完全信息及非完全信息条件下的竞争和博弈问题上,这改善了动态规划控制问题中的 Riccati 方程求解方法。线性——二次型模型的局限性又促使研究转到非线性动态模型上,这方面的工作可参见拉斯特(Rust, 1996)的文章。

更完美的预测模型已被用于确定性动态经济均衡,这类模型典型地简化为二点边界值问题,有大量的求解方法针对此类数学问题。许多经济学家对于非线性随机理性预期模型计算方法的发展作出了贡献。比如嘉德等人用数值分析中的投影法开发出求解理性预期模型的方案并计算出高阶 Taylor 展开的理性预期模型(Judd, 1996)。

对于计算 Nash 均衡的博弈问题,也有不少成功的算法被开发出来,从计算二人博弈的 Nash 均衡,到将其扩展到一

般 n 人博弈的情况。这些算法还只能用于少数特殊问题。带有线性——二次型的动态博弈问题是易于求解的。但是,除了这些少数的例子外,它们还不能被用于理论形式的产业组织问题上。但比较而言,这些算法也已被用于国际贸易政策博弈和货币政策的博弈问题中 (Canzoneri, 1991)。更近些时期,米兰达等人应用正交多项式逼近方法计算了一般非线性动态博弈问题 (Miranda, 1997)。前面提及的计算程序 HOMPACT 也可用于计算 Nash 均衡的博弈问题。

近来,应用蒙特卡罗模拟方式研究带有非传统行为模型的动态经济系统已有趋势。标准动态一般均衡分析,通常给定了一种很强的假定前提条件:经济人有分析信息和进行预测的能力。不少研究者认为真实环境中的人们并不具备传统模型中理性经济人的预设能力。因此引入蒙特卡罗模拟方法去研究在近似真实环境中经济人对于事件的行为反应、学习能力以及行为的演进更具有合理性。这类工作也被称为进化模型,其最为关注的是对模拟经济人的决策规则建立模型并对这种规则的总体影响进行评估。

四、部门经济学中的非线性规划模型计算

计算能力的提高使部门经济的模型研究突破单一部门因素的模式,而与更宽泛的经济因素、政策因素相结合。尽管有的研究对象是单个的产业部门,但引入的变量却包括多种相关联的公司、厂商、市场以及技术和政策因素。

杜罗伊等人的模型是研究墨西哥农业的部门经济模型 (Duloy, 1973),它是现代部门经济模型的先行者。模型不仅考虑了各种不同的农作物的所需投入,如劳动力、土地、水和肥料,而且引入了与各种农作物相关联的其他重要因素,如在一年内不同的生长期,对农业劳动力不同的需求量等等。更进一步,模型还考虑了当地不同地区的各类可耕地面积和现存的劳动力总量。因此,利用模型能够分析农业劳动力的迁移方式和研究多种农业政策所引致的收入分配效果,比如减少农产品价格补贴和放开对投入生产资料(如肥料和种子)价格控制的后果。显然,由于模型综合引入了大量的与作物、季节、地区相关变量,而使模型规模迅速增大,要求解和分析此类模型就需要快速的计算机和适合的算法,卡彻等人在 1986 年出版的专著详细论及了此类模型的研发问题 (Kutcher, 1986)。

此后,平狄克关于欧佩克(石油输出国组织)的模型研究 (Pindyck, 1978) 则树立了工业部门经济分析的典范。他的模型是一个非线性动态模型,把欧佩克与其他次要产油国在世界范围内的油价竞争作为研究对象。欧佩克能在短期内提高油价并得以增收,但更高的油价却导致其他产油国如挪威、英国、美国等国在其同时增加它们自产油的数量,消费者面对高价油也在调整其消费行为,如此运作的结果是欧佩克只得降低其油价。后来的石油涨价结果仍是如此。Pindyck 模型是一个非线性规划问题,在它被开发出来时,求解是较困难的,但在目前条件下,一台 PC 机就可对其求解。因此这类非线性规划模型仍然可以继续发展和更新以助我国能源政策的制定。线性规划模型已是多年应用于石油精炼商务的主要决策工具,目前这类模型也发展为大型的非线性规划模型。此类模型起初只用于单个的炼油厂,而目前已成为某一国或国际范围的大公司炼油商务决策模型。早在 20 世纪 80 年代中期,世界银行就开始把这种模型应用于国际上冶炼行业的发展分析 (Danmerr, 1985)。模型中应用的数据资料

涉及了世界上主要铝矾土矿产国,如澳大利亚、巴西和苏里南,并且也包含了多个采矿、冶炼设备生产国以及矿产、冶炼与原料市场、设备市场和制成品市场之间的运输成本分析内容。因为电解铝需要大量的电力,电力消耗的成本也成为模型变量之一。特别是用经济规模来表示特征化的投资成本,致使此模型成为非凸集合上的优化问题,模型求解则要用到混合整数规划方法。尽管这样的模型计算量非常大,但由于模型包容了世界范围制铝工业的基本经济特征,因此在经济全球化时代使用此类模型去分析其他跨国工业的产业发展则有着广泛和重要的意义。值得一提的是,解决大型线性规划、非线性规划问题的软件也在发展升级,如 LINDO 和 LINGO 的 Windows 版本也可以应用在此类问题的计算上。

五、定性分析与定量计算

计算与经济学现在是相互影响,现代计算技术的发展使经济学的定性和定量分析并行不悖。

标准理论分析的主要弱点是其分析仅仅是定性的。一般均衡理论是说明问题的一个最好例子。均衡的存在性是一个重要的问题,但存在性并没有告诉人们任何关于量的信息,也就没有对于均衡有更多理解。另一个重要的问题是有关效率方面的,定性分析结论中带有不少脱离实际的假定条件,比如交易成本为零以及完全信息的条件。只要对这些条件作些许放松,则只能得到均衡是无效率的结论,但是这种刻板的判断——有效率或者无效率——很难有什么实际价值。因为结论非此即彼,没有中间状态,没有高效率或低效率的区别。这要由“量化分析”即计算来断定影响程度的“低”和“高”,而不仅仅是“有”或“无”。定性解决“有”或“无”,定量解决“大”还是“小”,这正是二者之间的互补作用。

嘉德在他前几年出版的一本书中举了两个例子 (Judd, 1998) 来说明量化计算的重要性。

费雪 (Fischer, S.) 在 1979 年考察了一个货币需求和理性预期的 Sidrauski 模型。他提出了一个问题——这个模型是否显示了托宾效果。也就是说,在鼓励人们用实际投资代替货币资产储蓄时,通货膨胀是否影响经济增长。他的结论是,此模型中确有托宾效果存在。1985 年,嘉德等人对这个模型的托宾效果作了计算,他们发现,年度通货膨胀从零上升到一百个百分点时,将仅使净投资至多增加十分之一个百分点。量化的结论是这种效果实在是太小了(百分之百的通胀率,提升千分之一的净投资)。这使人们知道,通货膨胀对经济增长的确有作用“存在”,但影响的程度很小,“不明显”。由此可见,定性分析与定量分析相互补充的重要性。

理论的定性分析也有因为使用简单假设而导致不真实结论的例子。简森和莫菲 (Jensen, M. C. and Murphy, K. J.) 在 1990 年发现一个典型企业的管理者边际收益仅是千分之三,即厂商利润每增加 1 000 美元中只有 3 美元是付给管理者的。他们认为这相对于管理层合理的激励水平而言就显得太低,并且这种低水平的业绩激励不能用管理层的风险厌恶来做解释。这种观点最初看来是有道理的,因为我们知道边际补偿在管理者取风险中性时为 1(增加一美元利润获一美元补偿)。而在管理者为无限风险厌恶时,边际补偿为 0。由于管理者相对于无限风险厌恶更愿意择取接近于零风险厌恶,因此一种合理的猜测就是:管理者的激励水平应该超过千分之三。风险中性假设在企业激励机制文献中是非常普遍的,这是由于分析者要避免引入非线性(下转第 52 页)

动,能够促进潜在比较优势转化为现实优势,从而进一步形成产业集聚。本文发现,一方面由于我国过高的省际边界效应、不完善的要素市场,以及在渐进式改革中出现的寻租机会和对地区局部利益的追求阻碍了商品流通和要素流动,影响了潜在比较优势的发挥和转化,造成了产业集聚度低、布局分散的局面;另一方面,由于我国各地区日益融入国际市场,各省国际边界效应不断下降,市场规则在国际贸易中体现得更为充分,从而有利于各地区发挥比较优势。因此,在我国渐进式改革中,区域比较优势与产业地理集聚呈现出非协整的发展关系,而在对外开放进程中,我国各地区的出口贸易却较好地体现了其潜在的比较优势。

注释:

P 萨缪尔森、W 诺德豪斯:《经济学》(第 16 版),中文版,2 页,北京,华夏出版社,1999。

樊纲:《把比较优势、后发优势变为竞争力》,载《中国经济导报》,2000-03-15。

樊纲:《首先要重视“现实的竞争力”》,载《中国经济时报》,2000-07-19。

林毅夫:《对实现可持续发展的几点看法与建议》,载《五十人论坛》,2000(7)。

J·E 斯蒂格利茨:《经济学》,中文版,57 页,北京,中国人民大学出版社,1997。

约翰·伊特韦尔等:《新帕尔格雷夫经济学大辞典》,中文版,第 1 卷,561 页,北京,经济科学出版社,1989。

[美]保罗·克鲁格曼:《地理与贸易》,中文版,36 页,北京,中国人民大学出版社,2000。

蔡昉:《比较优势差异、变化及其对地区差距的影响》,载《中国

社会科学》,2002(5)。

蔡昉:《劳动力市场扭曲对区域差距的影响》,载《中国社会科学》,2001(2)。

Young, A., 2000. The Razor's Edge: Distortions and Incremental Reform in the People's Republic of China. Quarterly Journal of Economics, Vol. 115, No. 4, pp. 1 091 ~ 1 136.

参考文献:

1. 胡荣涛等:《产业结构与地区利益分析》,北京,经济管理出版社,2001。

2. 林毅夫等:《比较优势与经济发展》,载《中国社会科学》,1999(5)。

3. 陆大道等:《1999 中国区域发展报告》,北京,商务印书馆,2000。

4. 杨宝良:《西部地区劳动力比较优势及其瓶颈约束》,载《国际商务》,2002(3)。

5. 《中国统计年鉴》(1992 - 2002),北京,中国统计出版社。

6. 《中国海关年鉴》(1995 - 2000),北京,中国海关数据库。

7. [德]韦伯:《工业区位论》,中文版,北京,商务印书馆,1997。

8. 王缉慈等:《创新的空间:企业集群与区域发展》,北京,北京大学出版社,2001。

9. 王耀中、杨宝良:《西部开放中的比较优势分析和对外贸易战略选择》,载《求索》,2000(6)。

10. Krugman, P., 1991a. History and Industry Location: The Case of the US Manufacturing Belt. American Economic Review.

11. Krugman, P., 1991b. Increasing Returns and Economic Geography. Journal of Political Economy.

12. Marshall, A., 1920. Principles of Economics London: Macmillan.

13. Sandra Poncet:《中国市场正在走向“非一体化”——中国国内和国际市场一体化程度的比较分析》,载《世界经济文汇》,2002(1)。

(作者单位:上海财经大学 上海 200083)

(责任编辑: S)

(上接第 47 页)效用函数的复杂性而假定管理者是理性地选择近似于有限风险厌恶的。为了弄清这个问题,哈波瑞奇(Haubrich, J. G.)在 1994 年实际计算了一些含有较为合理的风险厌恶评估的最佳合同,计算表明这些最佳合同更倾向于付给管理者较小的边际激励报酬,事实上的边际激励就是千分之三。定量计算在这里实证了定性分析中假设条件的不合理。

传统的理论分析告诉我们在何种条件下什么是可能的,但是,只有加上定量计算分析的理论才能使我们确认预设条件及其结果是否具有真实性和实际价值。而定量就是数值计算。因此,我们在经济学研究中不仅要重视一般意义上定性分析与定量分析的结合,也要把定量分析与具体适用的数值计算方法相联系,如此才可能有针对性地做出高质量低成本的研究成果。

参考文献

1. Blanchard, O., 1987. Aggregate and Individual Price Adjustment. Bookings Papers on Economic Activity, 1, 57 - 122.

2. Brown, D. J. and P. M. DeMarzo, 1996. Computing Equilibria when Asset Markets are Incomplete. Econometrica, 64, 1 - 27.

3. Dannert, Alfredo and Sethu Palaniappan, 1985. Modeling Investments in the World Copper Sector, University of Texas Press.

4. Duloy, John H. and Roger D. Norton, 1973. CHAC. A Programming Model of Mexican Agriculture. Chapter IV in Louis, M. Oreux and Alan S. Manne, Multi - Level Planning: Case Studies in Mexico, North Holland, Amsterdam.

5. Fair, Ray and John Taylor, 1983. Solution and Maximum Likelihood Estimation of Dynamic Nonlinear Rational Expectations Models. Econometrica, 51 (July), 1169 - 1185.

6. Greenwald, B. and J. Stiglitz, 1989. Toward a Theory of Rigidities. American Economic Review, Papers and Proceedings, May. 364 - 369.

7. Judd, K. L., 1996. Approximation, perturbation, and projection methods in economic analysis. in H. Amman et al., eds., Handbook of Computational Economics. Amsterdam: Elsevier.

8. Judd, K. L., 1998. Numerical Methods in Economics. The MIT Press, Second Printing 1999, 6 - 7.

9. Kendrick, David A., 1991. A Graphical interface for Production and Transportation System Modeling: PTIS. Computer Science in Economics and Management, Vol. 4, 229 - 236.

10. Kutcher, Gary P. and Alexander Meeraus, Gerald T. O'Mara, 1986. Agricultural Model for Policy Analysis, The World Bank, Washington D. C.

11. Markowitz, H. M. and Alan S. Manne, 1957, On the Solution of Discrete Programming Problem. Econometrica, 25, No. 1, January.

12. Miranda, M. J. and X. Rui, 1997. Maximum Likelihood Estimation of the Nonlinear Rational Expectations Asset Pricing Model. Journal of Economic Dynamics and Control, 21.

13. Nagurney, Anna, 1988. Algorithms for Oligopolistic Market Equilibrium Problem. Regional Science and Urban Economics, Vol. 18, 425 - 445.

14. Nagurney Anna and Lan Zhao, 1991. A Network Equilibrium Formulation of Market Disequilibrium and Variational Inequalities. Networks, 21, 109 - 132.

15. Pindyck, R. S., 1973. Optimal Policies for Economic Stabilization. Econometrica 41, (No. 3, May): 529 - 560.

16. Rust, J., 1996. Numerical Dynamic Programming in Economics. in H. Amman et al., eds., Handbook of Computational Economics. Amsterdam: Elsevier.

17. Sargent, T., 1978. Estimation of Dynamic Labor Demand Schedules Under Rational Expectations. Journal of Political Economy, 86, 1 009 - 1 044.

(作者单位:武汉大学经济系 武汉 430072)

(责任编辑: N)