

资源环境经济学中的基于主体建模方法最新进展

蔡晶晶*

摘要:文章介绍了资源与环境经济问题研究中,基于主体建模方法的应用前景,重点评述了这一交叉学科的“自下而上”仿真方法对分析当今复杂的社会-生态系统中人-自然耦合问题的作用。通过参数与变量的设置,基于主体建模类似于社会科学的“实验室”,有助于对资源环境经济学中,微观利益主体的复杂互动在宏观涌现的发生机制进行深入的考察。基于主体建模方法对传统单一学科视角的环境分析方法进行了外延拓展和内涵深化,并取得了突破性进展。文章梳理了基于主体建模方法发展的基本脉络,介绍了基于主体建模在资源环境经济学前沿——人与自然耦合分析中的最新研究进展,并指出了进一步拓展的方向。

关键词:资源环境经济学;基于主体建模;研究方法

一、引言

近年来,资源环境问题的研究日益呈现出交叉学科的发展趋势,复杂系统思维逐渐成为解释涉及经济学与环境科学之间多种因素的生态难题的一座桥梁,同时也为许多新兴的跨学科研究途径奠定了基础(Costanza, 1993),促使了“人与自然”耦合分析研究途径、项目和机构的兴起,如哈佛大学的“持续性科学”项目、联合国的千年生态系统评估、联合国开发计划署的合作倡议、由美国国家科学基金会资助的长达10年的大型研究项目“自然与人类耦合系统的动力学”研究等。复杂性研究一经提出,瞬间燃起研究者们的大量灵感,在广泛的科学谱系中旋起一场思维的革命。社会科学从了解结构和局部构件细节的还原时代,进入到研究复杂系统整体功能和演化的综合时代。许多资源与环境方面的难题逐渐被看做“复杂系统”问题,这些新的交叉学科前沿课题致力于对资源环境问题复杂性的研究,强调“干中学”,它们不仅在理论层面上推动了资源环境经济学研究在自然科学中的解释力,还在实践层面上促使了自然科学领域的一系列分析工具(如

*蔡晶晶,厦门大学经济学院,邮政编码:361005,电子信箱:crystalgly@xmu.edu.cn。

本文是国家自然科学基金“农田灌溉合作行为的演进与促发机制研究”(71303198)的阶段性研究成果。衷心感谢匿名审稿专家提出的修改建议,文责自负。

计算机建模、地理信息系统等)在资源环境经济学中的应用(蔡晶晶,2011)。

在复杂系统演化的研究中,计算机动态建模日渐兴起,它为社会科学提供了一个可验证的范式和跨学科交流的平台,逐渐发展成为一种能把现有纵向划分的学科沟通连缀起来的新的横断学科。随着资源环境领域日益呈现出跨学科的取向,对机构的关注、政策导向的研究以及经验型证据的强调和量化分析,计算机动态建模将有助于加快环境科学、生态学、农业经济学、资源经济学等资源环境经济学领域所涉及到的各个交叉学科之间的融合,从而大大提高人们解决和应对各种复杂资源环境问题的能力。计算机动态建模方法在资源环境经济学领域中的应用也越来越普遍,它不仅从外延上拓展了资源环境经济学的研究领域,为其提供了整合性的交叉学科研究途径,也从内涵上深化了已有的研究传统,更加注重资源环境中的各种非线性关联及复杂实际现象背后的机理,这有助于人们对各种管理和政策方案的短期和长期效果进行科学的预测或评估。

二、资源环境问题与基于主体建模方法的结合

基于主体建模(agent-based modeling, ABM),也称多主体模型(multi-agent simulations),属于一种计算机仿真技术,把经济模型化成由一系列相互作用的主体构成的进化系统,是复杂适应系统的经济学体现,其目的是通过计算机模拟来理解复杂的资源环境问题。其中的主体可能是动植物、人、组织或其他各种实体对象,主体之间是一种并行的、局部的、无中央控制的交互关系,这种微观的交互在宏观上涌现出种种规则,如集体行动准则,这样的宏观规则又影响和限制了主体间的交互行为方式。由于主体行为交互形成的规则网络互为因果,相互影响和作用,使得资源环境系统成为一个复杂自适应系统。这类系统广泛存在于不同领域并表现出各自独有的特征,但都具有基于适应性主体、共同演化、趋向混沌的边缘、产生涌现现象等主要特征。复杂自适应系统中要素之间存在的非线性关系很难用数学方程描述,以前对复杂自适应系统演化过程的研究不得不加了许多人为的限制条件。而运用基于主体的仿真研究,则可以通过主体之间的交互来表征这些非线性因素,从而突破了传统研究方法的局限。

基于主体建模方法能够从资源环境问题的复杂性中归纳出行动主体互动的机制与规则,进而基于简单的规则假设去模拟和演绎现实中主体互动的情形和结果,从而帮助我们更好地理解事物的作用过程与机理。与传统的数学模型相比,它具有更多的灵活性、过程导向性,基于特定的时空、网络范围内,它的分析对象是具有动态适应性和异质性的多个环境行动主体,这些特性使得它成为解决因人与环境间的复杂互动所引起的生态难题的有效途径。另一方面,计算机模型在运行过程中,主体互动的各个层面和环节都要具体化,例如互动的的时间、位置、行为主体所能得到的信息,它们是如何获取信息、权衡各种可供选择的方案的。因此,仿真模型往往能够帮助我们理解关键事件或行为的要素特征与互动过程,从而进一步完善理论。第三,传统的许多理论模

型建立在系统稳定均衡状态的假设之上,然而对环境与资源系统来说,均衡就意味着死亡。瞬间万变的气候环境、层次交叠的生物链、物种入侵和地壳结构的突变性……这些跨时空、多元变化的异质性主体又交织在一个无形的网络中。传统的模型要么由少数几个主体构成,要么由很多主体构成。其结构相对稳定,当研究对象是动态变化的多元主体时,往往显得无能为力。基于主体模型则容易测量、调整,并可根据研究需要,增加行为主体或新的分析维度,互动的过程也是可以重复的,因而可以最大限度地接近社会系统及社会治理的实际情况,如同科学家做实验那样,对虚拟的社会情境做“沙盘推演”,通过与数学模型相结合,虚实并用、“自下而上”模拟资源环境问题中的治理行为与机制,从而对实际的政策执行起到预测和指导作用。

由此,将自然资源看做复杂的社会-生态系统,应用基于主体建模方法分析其中各利益主体的互动与行为博弈,探讨环境生态系统的可持续性成为资源环境中的热点问题。例如研究人员以南非为例,应用基于主体的仿真模型评估保守和机会主义的放牧策略下,循环放牧与连续放牧对草地生态系统造成的社会-生态效应,分析特定的社会-生态环境如何影响载畜量的结果及其公平性,发现从社会-生态系统角度看,保守策略下的连续放牧将产生最有利的结果(Rasch et al., 2016)。也有应用基于主体建模方法分析气候约束与能源结构转型(Brede & De Vries, 2013)、海洋生态系统对鱼类行为和种群动态的影响(Sansores et al., 2016);模拟加拿大阿尔伯塔省南部土地发展决策中利益相关者的协商过程(Pooyandeh & Marceau, 2013)等。

在我国,基于主体建模的研究途径也契合了“大数据”时代人们对社会复杂性治理的需求,一些研究开始应用这一方法分析大规模数据映射出的人类行为特征。例如,有学者应用水资源的优化配置模型(IOAM)模拟我国广东省东江流域水资源管理,说明该模型有助于权衡这一复杂自适应系统中,社会、经济、生态与环境之间的供给和需求,实现水资源配置的适应性管理和可持续发展(Zhou et al., 2015);也有研究者应用基于主体建模对建筑拆除废弃物的两种管理模式(常规管理与绿色管理)开展环境影响评价(Ding et al., 2016)。有学者在消费者购买行为研究成果基础上,建立了基于多主体的网络消费者购买决策动态模型(张骞文, 2011);通过建立我国蔬菜质量安全的多主体仿真模型,探讨政府监管者、农户及蔬菜供应链之间相互作用的机制及其对整个蔬菜质量安全状况的影响(汪普庆, 2009);将人工智能、计算机仿真技术与地理信息系统有效结合,建立城市大规模人员疏散应急仿真模型(郭丹, 2010);综合运用基于主体建模和社会网络分析方法考察蔬菜新品种种植面积在农户间通过社会网络逐步扩散的机制(Xiong et al., 2016)。一些研究者开始关注基于主体建模的合作演化(黄璜, 2010a),但就国内社会科学研究整体而言,基于主体建模仍然是一种新的研究方法,在资源、环境及公共管理等领域的研究还相对比较滞后。

三、人-自然耦合分析中的人类决策建模研究

复杂系统理论及其主要的模型工具——基于主体建模,在人-自然耦合分析的研究中应用

日益广泛。这些研究通常是应用细胞模型(如细胞自动机),结合空间分析来研究现实环境,例如关于能源与气候变化(Zhang et al., 2011; Gerst et al., 2013),农田灌溉(Bithell & Brasington, 2009; Schreinemachers & Berger, 2011),城镇发展(Haase & Lautenbach, 2010; Filatova et al., 2011),水资源管理(Moglia et al., 2010; Van Oel et al., 2010; Murillo et al., 2011),生态系统管理(Anselme et al., 2010; Brede and Vries, 2010; Simon & Etienne, 2010),社会-生态系统耦合中涉及的主体建模(de Almeida et al., 2010; Perez & Dragicevic, 2010)等,美国地理学年会、美国国家科学基金会资助的人-自然耦合分析的国际网络项目(CHANS-Net)还举办了多场次的复杂网络建模国际会议,可见,将主体建模方法应用于人-自然耦合分析的研究已经成为资源与环境领域的国际学术热点。具体而言,目前在人-自然耦合分析的前沿研究中,基于主体的人类决策建模研究可以归纳出以下几种研究维度:

(一)生态系统中的人类决策制定

这类文献多涉及生态系统与自然资源管理中的集体行动与人类多目标决策过程,如国内学者Gao等(2013)以西澳大利亚的一个标志性的珊瑚礁系统为例,提出了一个决策支持系统,旨在促进利益相关者在决策制定过程中的对话。该系统由两部分组成:一部分是基于主体的休闲渔业仿真模型,模拟休闲渔业行为和珊瑚礁生态系统的动态集成;另一部分是综合应用层次分析法(AHP)和逼近理想解排序法(TOPSIS)的评估系统。评估结果显示该系统有助于处理复杂的多目标决策问题。为评估我国天然林保护工程生态补偿政策的效果,Chen等(2014)构建了在这一政策背景下的人与自然互动模型(HANIP)。在目前以现金为补偿手段的政策机制下,通过构建基于主体的空间仿真模型,模拟了以电价补偿或没有任何补偿这两种替代性的政策情境下,天然林面积的动态变化。研究指出,在不同的补偿机制下,利益主体的决策制定会存在很大不同,个体层面的行为特征或社会人口因素等变量在微观领域的互动将对宏观层次的森林生态环境造成不同影响。Yang等(2013)基于四川卧龙自然保护区数据,模拟了人数规模(管理一个单元森林面积的家庭户数量)对集体行动(森林管理)和资源产出(森林面积变化)的影响。研究结果显示,人数规模对集体行动和资源产出都存有直接或间接的反作用,最终结果则是非线性效果。通过改变那些对人数规模具有非线性影响的因素,如惩罚搭便车者、增强团队整体和内部的执行力、增进社会资本、给予农户自我选择权等,有助于达成成功的自组织行动。

此外,基于主体建模方法也被广泛用于城镇管理(Gao et al., 2012b)、土地利用的动态多元变化(Gao et al., 2012a; Murray-Rust et al., 2014)与决策制定(Sansores et al., 2016)。特别是有关城镇可持续发展与自然灾害预测方面的研究方兴未艾。以往研究人员多是根据志愿者人群的行动轨迹帮助模拟地震发生现场被损坏的基础设施与受灾情况,这种数据有助于我们评估损害的程度与救济资源的配置,却无助于理解行为个体在灾难中的各种反应。有研究以2010年1

月的海地地震为例,利用众包(crowdsourcing)地理信息与公开的数据源研究受这次事件影响的初始人群是如何应对周围的环境,对援助的分布是如何评价的,以及谣言在信息传播中所起的作用等,这在灾民的社会文化信息与人道救援组织的救援布置间搭建了有用的链接(Crooks & Wise, 2013)。还有学者模拟耶路撒冷市中心发生地震的情景,构建基于主体模型分析不同收入阶层的群体在在供给侧的“自上而下”(土地利用和房屋价格)的政策影响下,是如何制定需求驱动的“自下而上”(工作地点,居住方位和日常活动的选择)的个体决策的。研究结论显示了不同收入群体在城镇灾难中的应对能力与恢复力,论证了政府恢复力项目与福利干预的必要性(Grinberger & Felsenstein, 2016)。类似的还有应用基于主体模型分析洪灾应急管理(Dawson et al., 2011)、城镇化进程中的房地产价格制定与居民搬迁过程(Ettema, 2011)、模拟城市活力(反弹或跳跃前进)(Grinberger & Felsenstein, 2014);应用集成大数据仿真城市灾害中居民的决策行为(Grinberger et al., 2014; Huang et al., 2014);城市反恐与公共安全(Park et al., 2012);产业事故案例中居民的风险意识与生存率的空间分布(Salze et al., 2014)等。

(二)基于主体的空间建模

仿真研究兴起的另外一个原因是它能够很好地应用于与空间位置和人的理性特征有关的理论研究中。在ABM中,主体可以是虚拟的动、植物、资源或人,也可以是以点、多边形或图形与网络来表示的不同主体。由于ABM中的主体是有限理性和策略性的行动者,其所能使用的往往是“在地”的信息(North & Macal, 2007)。这里的“在地”并不意味着物理形式上的相连,而是指每个主体有着有限个潜在的信息源群体(社会网络),如地理上相近的信息源、电话系统、即时通讯、电邮和因特网等遥感信息,没有一个主体能即刻知晓所有的一切事情。主体通常根据自己过往的经历来学习和采取适应性的对策,也可能因环境的变化而改变自己的空间位置。在ABM模型中,环境是一个至关重要的因素,尽管环境不能做决策,但环境会随时间发生演变,也会保留或存储行动主体之前的行为,进而可能影响主体将来的决策制定(Kevin, 2013)。

传统空间模型多是描述和解释所观察的空间模式,没有解释其中的因果关系或这一模式形成的互动过程。例如,在生物学上预测人类定居点和物种分布的模型中,研究者将一些环境特征,如土地植被、地形地貌或水文形状,作为物种是否能被发现的指标,显示新物种的出现和繁殖,但没有解释物种扩散、繁殖或死亡的机制与原因(Guisan & Zimmermann, 2000)。又如关于土地利用变迁的研究,研究者只注重评估现实的土地利用模式与预期的土地利用方式之间是否匹配,对土地利用过程的合理性则鲜少顾及(Pontius et al., 2004),而ABM的优势就在于能将所观察的空间现象和产生这种结果的过程与机制联系起来(Parker et al., 2003)。

近年来,空间分析与基于主体建模的联合逐渐成为交叉学科研究的典范(Crooks and Castle, 2012)。上文关于生态系统中人类决策制定的文献就广泛应用了空间分析方法,在城镇住房配置与土地利用模式的经济行为主体建模方面尤为多见(Magliocca et al., 2011; Magliocca et al.,

2015)。另外,社区资源管理与农业经济主题的文献也综合应用了主体建模和空间分析。例如,Wise和Crooks等(2012)以新墨西哥北部地区传统农田耕作区为例,使用经验性GIS数据构建出真实的社会-生态系统模型,分析当地水系统、水制度结构对土地的可持续发展构成的累积性影响。研究认为社区资源管理受到物理、经济和社会因素的共同影响,鉴于气候条件与政府规制,土地面积将缩减很多,但传统的农耕方式在不远的将来仍旧可持续,不过也可能一起消失。如何在保留传统的生活方式情况下,使社会组织形态与当地灌溉系统相互匹配,将是值得进一步探讨的主题。

(三)与实验经济学相结合的基于主体建模研究

哪一种备选的行为模型能更好地解释实验数据?用实验室实验如何检验计算机模型?学者们将市场交易和社会困境中的实验数据与基于主体建模方法结合起来分析,认为ABM能够复制实验中参与人的行为模式(Duffy,2006)。这类文献散见于以心理动机、信任与互惠、声誉、学习、社会偏好等为研究主题的公共池塘资源与公共品的提供实验。早期的如Deadman是将ABM用于探索实验数据的先驱,他基于既有的公共池塘资源实验数据,定义每个主体拥有的可能的策略组合,其研究结论与Ostrom等(1994)所做的资源占用实验结论类似。在Deadman等(2002)的开拓性研究基础上,Janssen和Rollins(2009)应用基于主体的文化群体选择模型,研究了非对称社会两难中合作的演进^①。以往关于非对称社会两难的田野实验表明,基于自组织治理的灌溉系统能够实现长期可持续的高生产力。该文指出,当主体踌躇于其他类型的社会困境中,例如当灌溉主体定期参与与挑战性小的对称公共物品两难时,这一结论同样可以成立。在作者新近发表的著作中,进一步用基于主体建模方法比较了一系列灌溉游戏的实验数据,测试哪些行为理论能更好地解释主体之间沟通的效果,研究发现没有一个理论在解释数据方面能明显优于其他理论(Janssen et al.,2016)。此外,与环境心理学、集体行动相关的文献中也注重将实验方法和基于主体建模相结合,如探讨信息在灌溉系统行为实验中的效果(Janssen et al.,2015);以村庄林农为建模对象——他们通过与邻居的社会互动所获得的信息(一个双向信息流的非正式网络)来选择森林产品的提取水平——构建基于主体模型,比较正式规则与非正式网络规范之间的差异,探讨这些差异和社会网络结构的变化如何影响使用者的行为和森林收获水平,对资源和治理结果产生了什么样的不同影响。在此基础上分析不同类型的制度如何激励使用者,如何设计组织和制度规则以促进可持续的资源治理等(Agrawal et al.,2013)。

(四)面向模式的建模方法(Pattern-oriented Modeling,POM)

^①在对称社会两难(symmetric social dilemma)中,物品捐献或资源拥有是均等的,人们往往倾向于平等原则(equality),并且期望别人也遵循这样的原则。然而,现实生活中,资源的分配或拥有往往是不均等的,从而使资源所获得的利益是不均等的。在非对称社会两难中(asymmetric social dilemma),捐献或拥有是不均等的,人们往往倾向于比例原则(equity),也就是给公共物品的捐献或公共资源的拥有应该与已有财富成比例。

基于主体的复杂适应系统使用的是“自下而上”的建模方式,但由于资源与环境问题的复杂性和不确定性,这种建模方式缺乏明确的应对策略,妨碍了我们对复杂适应系统组织内部的一般性原则的识别(Bankes, 2002),在具体的时空尺度下所观察到的单一模式也不足以减少模型结构和参数中的不确定性。因此,在选择模型结构时,研究者往往缺乏充分的分析与验证:所用的模型对实际问题的适用性如何?

面向模式的建模方法能使“自下而上”的建模方式更严谨,更全面。在POM里,实际系统中观察到的多个模式在不同的层次和尺度下可以系统地优化模型的复杂性,减少模型参数的不确定性,使模型结构更加真实,降低模型对参数变动的灵敏度。其次,这种模型在结构和机制上的真实性,能使参数间的互动方式更接近真实机制的互动方式。面向模式的模型还提供了统一的分析框架,能够解构基于主体的复杂自适应系统中的内部组织,引领适应性行为与系统复杂性两者在算法理论上的统一(Grimm et al., 2005)。

POM方法最早起源于生态学,因此在此类主题的文献中较为常见。例如在一篇研究鹅群社会学习能力的文章中提到(Chudzińska et al., 2016),最佳觅食理论认为,为了能够最大限度地获取生存所需的食物和养分,动物花很多时间在搜寻成本上,动物所采用的搜索策略的类型,取决于搜索过程中的信息量。由于自然景观的动态变化性,动物们不太可能拥有关于资源分布的完整知识,这使它们无法最大限度地获取所需要的食物。然而,在资源丰富的条件下,随机搜索可能是一个很好的策略。作者以该模式为导向构建基于主体模型,以春季时节挪威中部农业地区红脚鹅群的行动轨迹为研究对象开展模拟实验,分析其觅食的决策规则(FDR)。研究发现,尽管鹅群并未拥有可用栖息地的完整知识,对鹅群首领来说,也没有一个唯一的最佳觅食策略,鹅群采取随机的搜索策略时,单只鹅也能找到最有利的觅食地点并且能顺利返回,这种能力并不是从群体的行动中学习的,这与以往对鸟类的研究相左。该模型有助于将来对人为干扰和农业实践的变化开展风险评估。也有研究者基于在加拿大魁北克萨格奈-圣劳伦斯海洋乐园及其周围观察海洋哺乳动物时船长的决策制定过程,将大量田野观察所收集到的历年数据和实际船只运行的轨迹进行数据统计比较,开发了一个基于主体的空间模型来模拟商业赏鲸船运动的轨迹(Chion et al., 2011)。文章使用POM方法检验有限理性情况下,人类如何采取策略性方式去解决不同背景下的决策问题,发现在信息分享情况下,赏鲸船长之间的合作机制至关重要。类似的还有提出面向模式的模型,模拟欧洲鳗种群动态(老化、更替、性别分化、银化、迁徙、自然死亡等),并根据模型结论提出应缓解下游集水区鳗鱼迁移的负荷量(Lambert & Rochard, 2007),黑珊瑚物种的生存策略(Jiang et al., 2015)等。

四、简评

在讨论的过程中我们看到,在资源环境问题中使用基于主体建模方法,首要的是要遵循一

种“自下而上”的建模路径,着重讨论的是微观行动主体的行为及其之间的互动与社会宏观系统变迁之间的关系。它增进了我们对复杂的社会-生态系统中,事物之间的非线性关系与互动机制的理解,促进了交叉学科工具的融合与发展,为资源环境问题中的集体行动与公共合作研究提供了整合性的研究途径。但是,这种方法的技术门槛较高,对人类社会的仿真不可能做到完全复制,对于这一方法的适用性也仍然存在争论。另一方面,在资源环境经济学中使用ABM方法,还应注意识别外部性对主体行为的影响,这是区别于金融学等其他经济管理领域ABM的关键所在。

首先,ABM有助于探究微观层面个体互动过程的作用与机理,帮助我们更好地理解较高层次涌现出的现象。模型不是无中生有的,其发展是基于对实证数据观察的结果,如主体是如何制定决策的、如何预测未来发展,如何记忆过去的,又是如何交换信息的?主体间的互动结构,如交易、组织、亲缘关系,如何影响高一层次的现象?主体不是盲目追求自我利益者,而是有条件的合作者。在没有信息沟通的情况下,公共物品或公共池塘资源实验中的行为最终将趋向纳什均衡。ABM作为程式化的模型,显示了沟通、信任、互惠、规范的重要性,更好地展现了不同主体间的互动、共享、学习等过程,甚至对那些还未实际观测到的假设或理论,ABM也能以理论仿真的形式帮助人们“模拟现场”、验证理论假设,进而推动理论的创新与发展。在参与式主体建模研究中,由于利益相关者直接参与到建模过程,它同时也是解决实际问题的过程。ABM并未将检验理论作为目标,但可以为理论的发展提供新的方向。

其次,以实证为基础的基于主体模型研究联合了各种建模方法、数据收集和分析技术,增加了研究结论的外部有效性和内部有效性,促进模型内部与理论间的逻辑自洽,同时也为资源环境经济学中的集体行动与公共资源研究提供了整合性的研究途径(Poteete et al., 2010)。基于主体建模方法建立在实验室实验、案例研究、参与式行为模拟、计算机仿真与空间分析技术等基础上,使我们可以对比和解释在不同假设条件下所观察到的集体行动模式。它使用的是面向对象的程序语言,如C++、Java、Swarm、Repast、Ascape、MASON以及其他提供GIS功能的软件,它与多种实证分析工具的结合应用,有助于我们厘清资源环境问题中的复杂性,从多种环境主体的互动网络中抓住其本质联系。通过模型的检验(灵敏度分析、稳健性检验等),增强研究结论的外部有效性和内部有效性,促进模型内部与理论间的逻辑自洽。它要求研究者要能驾驭交叉学科知识,不断去掌握新的方法论技能。在这个意义上,它是一种集合了各学科知识的研究网络,为资源环境经济学中不断涌现的人-自然耦合分析研究提供了整合性的研究途径。

最后,ABM方法有助于分析资源环境经济学中的外部性问题。由于资源环境经济学领域涉及的研究主题很多是公共物品,在微观领域中互动联系的主体行为往往会产生外部性问题,这是与其他经济管理领域应用ABM方法最大的区别之一。不过,外部性问题是这一学科涉及

的研究主题中一般性的特点,其他研究方法的引入同样会存在此类问题,但应用ABM方法来考察外部性问题具有一些独特的优势,例如在计量分析中不太容易考察的问题在ABM中可以实现,这是ABM建模思路本身所带来的特点。ABM方法强调的是主体互动的过程而不仅仅是结果,通过计算机仿真研究,“自下而上”(Bottom-up)模拟这一“有机”过程,观察个体之间局部、微观的交互行为在宏观上涌现出的种种规则,比如合作行为规范等;这些涌现出来的宏观规则反过来又影响和限制了主体间的交互行为方式。这种基于过程的动态分析方法能促进我们对资源环境中各种主体演化过程的理解,有助于推动复杂性科学的前沿理论与工具在我国资源环境管理领域的应用和本土化,促进学科的交叉、综合和统一。

同时我们也应该看到,尽管资源环境经济学建模领域在一般性的建模策略上已经取得了较好的进展,但对ABM这种“自下而上”模型的设计、检验和分析的一般性框架还未建立起来,在参数估计和模型对比分析方面依然存在方法论上的挑战。Salmon (2001)就曾指出,应用计量方法的仿真模型会导致一些潜在的问题,模型往往简化了既有的限定条件以更好地量化和抽象所观察到的行为现象,它聚焦在量化的信息,对互动行为的内在机制设定了假设——如ABM假设决策并不是个体独立作出的,噪声过程也不一定服从高斯分布(一种具有正态分布的概率密度函数的噪声),也假设了行动者的偏好或决策制定策略,而这些因素只能间接观察到。模型产生的实证结果并不必然意味着这些假设可以在不同的背景下成立。另一方面,基于微观个体层面的模型在宏观层次上发生的涌现现象,用对微观层面上的单个主体行为的估计作为校验手段,也是不妥当的。那么,如果基于主体模型对所研究的决策过程预测力有限,我们如何以数据评估仿真结果?一个可能的途径是在不同的时空尺度下,比较从数据中观察到的行为模式。由于仿真参数的可变性,数据具有不确定性,模型的不同版本应能匹配相应的行动模式。因此,与其使模型拟合实际数据,不如使各种版本的模型都能再现出最重要的经验模式。对此,在人-自然耦合系统的集体行动问题的文献中,有学者提出了“面向模式的模型方法”,侧重对模型不同行动层面的行动模式与尺度的比较。此外,对于那些依赖于背景因素的研究,除了对模型进行科学的量化检验(如质性的稳健性检验),纳入利益相关者的观点及使用图灵测试(Turing Test)等也同样是重要的可选方式(Poteete et al., 2010)。

参考文献:

- [1] 蔡晶晶. 环境与资源的“持续性科学”——国外“社会-生态”耦合分析的兴起、途径和意义[J]. 国外社会科学, 2011(3): 42-49.
- [2] 郭丹. 基于主体建模方法的多分辨率城市人口紧急疏散仿真研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [3] 黄璜. 基于“信任”与“网络”的合作演化[J]. 软科学, 2010a, 24(2): 30-35.
- [4] 黄璜. 社会科学研究中“基于主体建模”方法评述[J]. 国外社会科学, 2010b, (5): 5-15.
- [5] 汪普庆. 我国蔬菜质量安全治理机制及其仿真研究[D]. 武汉: 华中农业大学博士学位论文, 2009.

- [6] 张骞文. 基于多主体的网络消费者购买决策模拟研究[D]. 山东:山东大学硕士学位论文,2011.
- [7] Agrawal, A., D.G.Brown, G.Rao, R.Riolo, D.T.Robinson, and M.Bommarito. Interactions between Organizations and Networks in Common-pool Resource Governance[J]. *Environmental Science & Policy*, 2013, 25(1): 138–146.
- [8] Anselme, B., F.Bousquet, A.Lyet, M.Etienne, B.Fady, and C.Le Page. Modelling of Spatial Dynamics and Biodiversity Conservation on Lure Mountain (France)[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25(11): 1385–1398.
- [9] Bankes,S.C. Agent-based Modeling: A Revolution?[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(3): 7199–7200.
- [10] Bithell,M. and J.Brasington. Coupling Agent-based Models of Subsistence Farming with Individual-based Forest Models and Dynamic Models of Water Distribution[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(2): 173–190.
- [11] Brede,M. and H.J.M.De Vries. Harvesting Heterogeneous Renewable Resources: Uncoordinated, Selfish, Team and Community-oriented Strategies[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25(1): 117–128.
- [12] Brede,M. and H.J.M.De Vries. The Energy Transition in a Climate-constrained World: Regional vs. Global Optimization[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 44, (6): 44–61.
- [13] Chen,X.D., A.Viña, A.Shortridge, L.An, and J.G. Liu. Assessing the Effectiveness of Payments for Ecosystem Services: An Agent-Based Modeling Approach[J]. *Ecology and Society*, 2014, 19(1): 7.
- [14] Chudzińska, M.E., D.Ayllón, J.Madsen, and J. Nabelnielsen. Discriminating between Possible Foraging Decisions Using Pattern-oriented Modelling: The Case of Pink-footed Geese in Mid-Norway during Their Spring Migration [J]. *Ecological Modelling*, 2016, 320(1): 299–315.
- [15] Chion, C.P.Lamontagne, S.Turgeon, L.Parrott, J.A.Landry, D.J.Marceau, C.C.A.Martins, R. Michaud, N. Ménard, G.Cantin, and S.Dionne. Eliciting Cognitive Processes Underlying Patterns of Human-wildlife Interactions for Agent-based Modelling[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(14): 2213–2226.
- [16] Costanza, R., L.Wainger, C.Folke, and K.Maler. Modeling Complex Ecological Economic Systems: Towards an Evolutionary Dynamic Understanding of People and Nature[J]. *BioScience*. 1993, 43: 545–555.
- [17] Crooks,A.T. and C.Castle. The Integration of Agent-based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation[A]. *Agent-based Models of Geographical Systems[M]*. New York: Springer, 2012: 219–252.
- [18] Crooks,A.T. and S.Wise. GIS and Agent Based Models for Humanitarian Assistance[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 41(3): 100–111.
- [19] Dawson,R.J., R.Peppe, and M.Wang. An Agent-based Model for Risk-based Flood Incident Management[J]. *Natural Hazards*, 2011, 59(1): 167–189.
- [20] Deadman, P.J. and E.Schlager. Integrating GIS and Agent Based Modeling Techniques for Understanding Social and Ecological Processes[M]. USA: Oxford Press and the Santa Fe Institute, 2002.
- [21] de Almeida, S.J., R.P.M. Ferreira, and Á.E.Eiras. Multi-agent Modeling and Simulation of an Aedes Aegypti Mosquito Population[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25(12): 1490–1507.
- [22] Ding,Z.K., Y.F.Wang, and P.X.W. Zou. An Agent Based Environmental Impact Assessment of Building Demolition Waste Management: Conventional Versus Green Management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133(10): 1136–1153.
- [23] Duffy,B.J. Agent-based Models and Human Subject Experiments[J].In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd ed.*Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics[M]*. Oxford: Elsevier.2006,2: 949–1011.
- [24] Ettema,D.A. Multi-Bgent Model of Urban Processes: Modeling Relocation Processes and Price Setting in Housing Markets[J]. *Computers, Environment & Urban Systems*, 2011, 35 (1): 1–11.

- [25] Filatova,T., A.Voinov, and A.van der Veen. Land Market Mechanisms for Preservation of Space for Coastal Ecosystems: An Agent-based Analysis[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2011, 26 (2): 179-190.
- [26] Gao, L. and A.Hailub. Ranking Management Strategies with Complex Outcomes: An AHP-fuzzy Evaluation of Recreational Fishing Using an Integrated Agent-based Model of a Coral Reef Ecosystem[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2012a, 31(7): 3-18.
- [27] Gao,L. and A.Hailub. Identifying Preferred Management Options: An Integrated Agent-based Recreational Fishing Simulation Model with an AHP-TOPSIS Evaluation Method[J]. *Ecological Modelling*, 2013, 249(24): 75-83.
- [28] Gao,L., B.Durnota, Y.Ding, and H.Dai. An Agent-based Simulation System for Evaluating Gridding Urban Management Strategies[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2012b, (26): 174-184.
- [29] Gerst,M.D., P.Wang, and M.E.Borsuk. Discovering Plausible Energy and Economic Futures under Global Change Using Multi-dimensional Scenario Discovery[J]. *Environmental Modelling Software*, 2013, 44(2): 76-86.
- [30] Grimm,V., E.Revilla, and U.Berger. Pattern-oriented Modeling of Agent-based Complex Systems: Lessons from Ecology[J]. *Science*, 2005, 3(10): 987-91.
- [31] Grinberger,A.Y. and D.Felsenstein. Bouncing Back or Bouncing Forward? Simulating Urban Resilience[J]. *Urban Design & Planning*, 2014, 167(3): 115-124.
- [32] Grinberger,A.Y. and D.Felsenstein. Dynamic Agent Based Simulation of Welfare Effects of Urban Disasters [J]. *Computers, Environment & Urban Systems*, 2016, (59): 129-141.
- [33] Grinberger,A.Y., M.Lichter, and D.Felsenstein. Dynamic Agent Based Simulation of an Urban Disaster Using Synthetic Big Data[R]. 2014.
- [34] Guisan,A., and N.E.Zimmermann. Predictive Habitat Distribution Models in Ecology[J]. *Ecological Modelling*, 2000, 135(2-3): 147-86.
- [35] Haase,D. and S. Lautenbach. Modeling and Simulating Residential Mobility in a Shrinking City Using an Agent-based Approach[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25 (10): 1225-1240.
- [36] Huang,Q., D.C.Parker, T.Filatova, and S.Sun. A Review of Urban Residential Choice Models Using Agent-based Modeling[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2014, 41(4): 661-689.
- [37] Janssen,M.A. and J.A.Baggio. Using Agent-based Models to Compare Behavioral Theories on Experimental data: Application for Irrigation Games[J]. *Journal of Environmental Psychology*. 2016, 10(4)
- [38] Janssen,M.A. and N.D.Rollins. Evolution of Cooperation in Asymmetric Commons Dilemmas[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2009, 81: 220-229.
- [39] Janssen,M.A. J.M.Anderies, I.Pérez, and J.Y.David. The Effect of Information in a Behavioral Irrigation Experiment[J]. *Water Resources and Economics*, 2015, 12(10): 14-26.
- [40] Jiang,W.M. C.Cornelisen, B.Knight, and M.Gibbs. A Pattern-oriented Model for Assessing Effects of Weather and Freshwater Discharge on Black Coral (*Antipathes Fiordensis*) Distribution in a Fiord[J]. *Ecological Modelling*, 2015, 304(24): 59-68.
- [41] Kevin,M.J. Agent-based Modeling in ArcGis[M]. USA: Esri Press, 2013.
- [42] Lambert,P. and E.Rochard. Identification of the Inland Population Dynamics of the European Eel Using Pattern-oriented Modelling[J]. *Ecological Modelling*, 2007, 206(1): 166-178.
- [43] Magliocca,N., E.Safirova, V.McConnell, and M.Walls. An Economic Agent-based Model of Coupled Housing and Land Markets (CHALMS)[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2011, 35(3): 183-191.
- [44] Magliocca,N., V.McConnell, and M.Walls. Exploring Sprawl: Results from an Economic Agent-based Model of Land and Housing Markets[J]. *Ecological Economics*, 2015, 113(2): 114-125.
- [45] Moglia,M., P.Perez, and S.Burn. Modelling an Urban Water System on the Edge of Chaos[J]. *Environmental*

Modelling & Software, 2010, 25(12): 1528–1538.

[46] Murillo,J.D., Busquets, and J.Dalmau. Improving Urban Waste Water Management through an Auction–based Management of Discharges[J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 26(6): 689–696.

[47] Murray–Rust,D., C.Brown, J.van Vliet, S.J.Alam, D.T.Robinson, P.H.Verburg, and M.Rounsevell. Combining Agent Functional Types, Capitals and Services to Model Land Use Dynamics[J]. Environmental Modelling & Software. 2014, 59(9): 187–201.

[48] North,M.J. and C.M.Macal.Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent–based Modeling and Simulation[M]. UK: Oxford University Press, 2007.

[49] Ostrom,E., R.Gardner, and J.Walker. Rules, Games, and Common–pool Resources[M]. Ann Arbor: University of Michigan Press. 1994.

[50] Park,A.J., H.H.Tsang, M.Sun, and U.Glässer. An Agent–based Model and Computational Framework for Counter–terrorism and Public Safety Based on Swarm Intelligence[J]. Security Informatics, 2012, 1(1): 1–23.

[51]Parker,D.C., S.M.Manson, M.A.Janssen, M.J.Hoffmann, and P.Deadman. Multi–agent Systems for the Simulation of Land–use and Land–cover Change: A Review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93 (2): 314–37.

[52] Perez,L. and S.Dragicevic. Modeling Mountain Pine Beetle Infestation with an Agent–based Approach at Two Spatial Scales[J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(2): 223–236.

[53] Pontius,R.J., D.Huffaker and K.Denman. Useful Techniques of Validation for Spatially Explicit Land–change Models[J]. Ecological Modelling, 2004, 179(4): 445–61.

[54] Pooyandeh,M. and D.J.Marceau. A Spatial Web/Agent–based Model to Support Stakeholders’ Negotiation Regarding Land Development[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 129: 309–323.

[55] Poteete,A.R., M.A.Janssen, and E.Ostrom. Working Together: Collective Action, the Commons, and Multiple Methods in Practice[M]. USA : Princeton University Press, 2010.

[56] Rasch,S., T.Heckelei, and R.J.Oomen. Reorganizing Resource Use in a Communal Livestock Production Socio–ecological System in South Africa[J]. Land Use Policy, 2016, 52(10): 221–231.

[57] Salmon,T.C. An Evaluation of Econometric Models of Adaptive Learning[J]. Econometrica, 2001, 69(6): 1597 – 628.

[58] Salze,P., E.Beck, J.Douvinet, M.Amalric, E.Bonnet, E.Daudé, and S.Sheeren. TOXI–CITY: An Agent–based Model for Exploring the Effects of Risk Awareness and Spatial Configuration on The Survival Rate in the Case of Industrial Accidents[J]. Cybergeog–European Journal of Geography, 2014: 692.

[59] Sansores,C.E., F.Reyes–Ramírez, L.E.Calderon–Aguilera, and H. Gómez. A Novel Modeling Approach for the “end–to–end” Analysis of Marine Ecosystems[J]. Ecological Informatics, 2016, (32): 39–52.

[60] Schreinemachers,P. and T.Berger. An Agent–based Simulation Model of Human–environment Interactions in Agricultural Systems[J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 26(7): 845–859.

[61] Simon,C. and M.Etienne. A Companion Modelling Approach Applied to Forest Management Planning[J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(11): 1371–1384.

[62] Van Oel, P.R., M.S.Krol, A.Y.Hoekstra, and R.R.Taddei. Feedback Mechanisms between Water Availability and Water Use in a Semi–arid River Basin: A Spatially Explicit Multi–agent Simulation Approach[J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(4): 433–443.

[63] Wise, S. and A.T.Crooks. Agent–based Modeling for Community Resource Management: Acequia–based Agriculture[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(6): 562–572.

[64] Xiong, H., Diane Payne, and Stephen Kinsella. Peer Effects in the Diffusion of Innovations: Theory and Simu

lation[J]. Journal of Behavioral and Experimental Economics, 2016, 63(8): 1–13.

[65] Yang,W., W.Liu, A.Viña, M.N.Tuanmu, G.H.He, T.Dietz, and J.G.Liu. Nonlinear Effects of Group Size on Collective Action and Resource Outcomes[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(27): 10916–10921.

[66] Zhang,B., Y. Zhang, and J.Bi. An Adaptive Agent–based Modeling Approach for Analyzing the Influence of Transaction Costs on Emissions Trading Markets[J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 26(4): 482–491.

[67] Zhou,Y.L., S.L.Guo, C.Y.Xu, D.Liu, L.Chen, and D.Wang. Integrated Optimal Allocation Model for Complex Adaptive System of Water Resources Management (II): Case Study[J]. Journal of Hydrology, 2015, 531(12): 977–991.

Review of the Frontier Research on Agent–based Modeling in the Resources and Environmental Economics

Cai Jingjing

(School of Economics, Xiamen University)

Abstract: This paper introduces the application prospect of the method of agent–based modeling in the resources and environmental economics. It claims the effect of the cross disciplinary and "bottom–up" simulation method for analyzing the complexity of coupled human and nature in the social–ecological systems. Similarly to the "laboratory" of social sciences, through setting the parameters and variables, ABM contributes to the in–depth study of the complex interaction of the micro stakeholders under the mechanism of macro emergence in the resources and environmental economics. ABM has made a breakthrough on extensive expanding and connotation deepening for the traditional method of environmental analysis which only focuses on a single subject. The paper reviews the basic context of ABM method and introduces the frontier research of ABM in the studies of coupling human and nature as the forefront of the resources and environmental economics. This paper also pointed out the further development of the method of ABM.

Keywords: Economics of Environment and Resources; Agent–based Modeling; Research Method

JEL Classification: C0, Q0

(责任编辑:卢玲)