

复杂性科学及其在经济领域中的资助和研究进展^①

张江华¹, 陈中飞², 任之光³, 杨列勋^{3*}

(1. 山东大学管理学院, 济南 250100; 2. 暨南大学经济学院, 广州 510632;
3. 国家自然科学基金委员会管理科学部, 北京 100085)

摘要: 统计和分析了国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)管理科学部自1986年以来对复杂性科学及其在经济领域中相关研究的资助情况,同时,对复杂性科学及其与经济科学融合所产生的复杂经济学等研究进行了梳理,系统总结和分析了国内外相关研究的进展和发展趋势,以期为该领域的研究者提供参考和启示,促进复杂系统管理的研究,进而为管理科学部的十四五学科战略规划提供参考,为国家经济治理体系的完善等提供理论储备。

关键词: 复杂性科学; 复杂经济学; 复杂系统管理; 经济系统; 研究进展

中图分类号: F01; F08; F09 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2020)11-0117-10

0 引言

在“百年未有之大变局”的背景下,我国即将进入“十四五”规划的开篇之年,而新冠疫情加剧了全球经济发展前景的扑朔迷离,我国经济系统亦面临着复杂且严峻的内外部形势和考验。习近平新时代中国特色社会主义思想体系早已深刻地揭示了经济系统的复杂性,强调运用系统思维和复杂性科学(complexity science)方法揭示和分析复杂经济系统的重要性。习近平总书记在2019年的中央经济工作会议上指出“必须从系统论出发优化经济治理方式,协调不同部门、不同政策在国家经济治理体系中的定位和功能,加强全局观念,防止顾此失彼,在多重目标中寻求动态平衡,在高质量发展中实现系统优化”。为了落实习近平总书记的系列讲话精神,揭示复杂性科学在经济科学领域的研究进展,本文通过梳理自1986年基金委成立以来管理科学部资助的所有项目,分析了对复杂性科学及其在经济系统相关领域的资助情况,并对复杂性科学及其与经济科学融合所产生的复杂经济学(complexity economics, CE)

等相关研究进行了评述,从而为管理科学部的十四五学科战略规划和有效服务国家重大战略需求提供科学支撑;并为总结和分析过去40多年中国经济成功创造奇迹的经济现象和今后的发展探索可能路径,进而为国家经济治理体系的完善等提供理论储备。

1 资助概况

首先,对自1986年基金委成立以来管理科学部资助的22641个项目进行关键词搜索和分析,选定关键词分别为“经济”、“复杂”和“系统”,发现共计有296个项目同时包含两个以上关键词(以下用“复杂经济系统”代替),其中面上项目165项,青年项目77项,地区项目18项,重点项目9项,创新研究群体项目4项(含连续资助2项)、国家杰出青年项目3项、优秀青年项目4项、其他项目16项(见图1)。通过将项目按1986年~1999年、2000年~2009年和2010年~2019年3个时间段进行划分,其中1986年~1999年期间55项,2000年~2009年期间72项,

① 收稿日期: 2019-11-05; 修订日期: 2020-05-06.

通讯作者: 杨列勋(1968—),男,浙江慈溪人,博士,研究员. Email: yanglx@nsfc.gov.cn

2010年~2019年期间169项(见图2)。

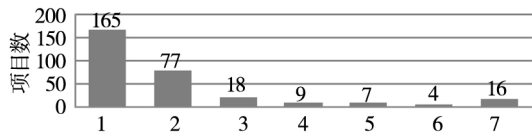


图1 1986年以来包含“复杂经济系统”的项目分类情况

Fig. 1 Amount of difference categories of projects on “complex economic systems” since 1986

说明: 1. 面上项目; 2. 青年项目; 3. 地区项目; 4. 重点项目; 5. 优秀、杰出青年项目; 6. 创新研究群体项目; 7. 其他项目; 其他项目包括海外及港澳学者合作研究基金项目、专项基金项目、重大项目、国际(地区)合作与交流项目。

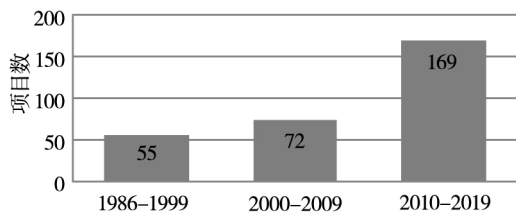


图2 3个阶段包含“复杂经济系统”的项目数量分布情况

Fig. 2 Distribution of projects on “complex economic systems” by three periods

对包含“复杂经济系统”的296项按学科进行划分,管理科学与工程学科(G01)191项、工商管理学科(G02)30项,经济科学学科(G03)36项,宏观管理与政策学科(G04)39项。其中G01的项目数占65%,占据绝对主导地位,而G02、G03和G04的项目数基本相近,分布较为均匀(见图3)。究其原因主要是G01中一直有关于复杂性科学研究的申请代码,如:2000年版G0113复杂性研究(含一般理论与方法、社会经济系统的复杂性、其他复杂性研究);2007年版G0115管理复杂性研究;2017年版G010903管理系统复杂性。

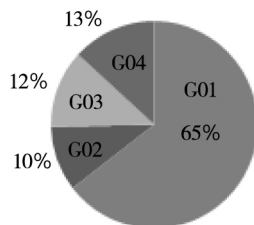


图3 包含“复杂经济系统”项目的学科占比

Fig. 3 Proportion of projects on “complex economic systems” by different disciplines

考虑到2017年管理科学部新增经济科学学科(G03),对2017年以来立项的项目进行题目文

本搜索和分析,发现总计有115项项目聚焦关键词“复杂”,其中涵盖面上项目57项,青年项目39项,地区项目8项,三者共计占总项目数量的90.43%。此外,还有国家杰出青年和优秀青年项目5项,应急和专项项目2项(见图4)。从研究对象来看,涉及全球经济体系的项目有2项,关于产业和区域经济的項目有5项;细分到具体的经济子系统来看,涉及金融系统、贸易系统和能源系统的项目分别有10项、2项和3项。

总体来看,管理科学部长期资助了有关复杂性科学及其在经济领域中的相关研究,资助情况呈现以下特点:第一,关于复杂经济系统的项目资助数一直在增长,特别是近10年来数量有了较大幅度的增加。第二,在所有关于复杂经济系统的资助项目中,G01学科所占比率一直较大,进一步分析发现复杂系统管理研究在国内已经形成了一批较为稳定的研究团队,并且主要集中在基础理论和研究方法方面。第三,2017年G03学科设立以后,关于经济系统的复杂性研究有所增加,其中宏观经济、产业和区域经済方面的研究较为集中。另外,在经济各子系统中,金融系统、能源系统和贸易系统的相关研究也相对较多。但G03学科成立时间较晚,复杂性科学在经济系统中的研究相对于国家战略需求还是较少,亟待加强。

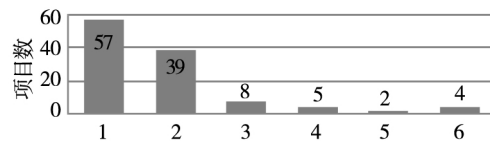


图4 2017年以来包含“复杂”项目数量分布情况

Fig. 4 Amount of difference categories of projects on “complexity” since 2017

说明: 1. 面上项目; 2. 青年项目; 3. 地区项目; 4. 优秀、杰出青年项目; 5. 应急项目; 6. 其他项目; 其他项目包括海外及港澳学者合作研究基金项目、专项基金项目、重大项目、国际(地区)合作与交流项目。

2 研究现状与评述

根据研究内容和学科的发展,将从复杂性科学及其与经济科学融合而产生的复杂经济学的相关研究两方面进行回顾和评述。

2.1 复杂性科学研究进展

复杂系统具有非线性和动态性、非均衡、非周

期性和开放性等一系列特征,而复杂性科学是运用非还原论方法研究复杂系统产生复杂性的机理及其演化规律的科学^[1,2]。复杂性科学兴起于 20 世纪 80 年代,是系统科学发展的新阶段,也是当时科学发展的前沿领域之一。复杂性科学的发展,不仅引发了自然科学界的变革,而且也日益渗透到人文社会科学等领域。英国著名物理学家 Hawking S 称“21 世纪将是复杂性科学的世纪”。国内在钱学森、成思危等老一辈学者的大力推动之下,复杂性科学的相关思想、理论逐渐被认可、接受、应用和发展,而且还广泛运用到经济系统和管理实践中。

复杂性科学最早可追溯至奥地利生物学家 Bertalanffy 对“一般系统论”的研究,而 1984 年成立的美国圣塔菲研究所(Santa Fe Institute)则被视为世界复杂性问题的研究的中枢。圣塔菲研究所聚集了以 Cowan G、Holland J、Kauffman S、Schultz R 和 Sherman H 等为代表的一大批具有物理、生物、经济和计算机等多学科背景的研究者,并由此形成了包括系统动力学派、适应性系统学派和混沌学派等不同学派^[1,2]。与此同时,也有学者将国外相关研究简单地分为欧洲学派和美国学派,其中欧洲学派包括布鲁塞尔学派和哈肯学派等;而美国学派则以圣塔菲学派和结构基础学派为主^[3]。

复杂性科学的兴起和发展是科学史上研究范式的一次重大的转变,是一场方法论或者思维方式的变革^[4]。它涵盖了非线性科学、混沌理论、分形学、模糊学、信息论、控制论、自组织理论、系统论和耗散结构论等不同分支学科的内容^[4,5]。具体而言,欧洲的布鲁塞尔学派的代表人物前苏联化学家 Prigogine I 在 20 世纪 70 年代提出了复杂性科学的概念,并以非平衡理论研究为主导,提出了耗散结构理论^[6,7]。同一时期,哈肯学派的代表人物德国物理学家 Haken H 在首次提出通过演化方程的方法研究协同系统的各种非平衡状态和不确定性,并开启了协同学理论的研究。美国的圣塔菲学派则提出了复杂适应系统理论(complex adaptive system, CAS),认为根据外部环境的不

同,微观层面的智能主体可以互动、学习,改变自身的结构和行为方式,进而造成宏观系统的演变和进化^[8-10]。该学派中最著名的学者诺贝尔物理学奖获得者 Gell-Mann M 认为复杂性系统起始于一系列的简单规律,这些简单规律可以随机运转并组合出一系列“冻结的偶然事件”,进而演化出复杂性系统^②。此外,圣塔菲研究所的第一任所长 Cowan G 是最早研究复杂适应系统理论的科学家,尤其在运用非线性动态数学模型对于复杂系统行为预测的理论方面取得了突出的成就^③。

复杂性科学的相关研究,国内在 20 世纪 80 年代末才逐渐兴起。最早明确提出探索和应用复杂性科学的是钱学森院士,他提出了具有开创性意义的“开放的复杂巨系统”理论。黄欣荣^[11]对复杂性科学的方法论进行了较为系统的阐述。顾基发等^[12]深入研究了“物理-事理-人理”三位一体的复杂性系统工程方法论。戴汝为和操龙兵^[13]则在智能控制、模式识别及人工智能等方面运用复杂性科学开展了广泛的研究。汪小帆等^[14]在复杂网络理论、动力系统理论与控制系统理论相结合基础上开展了复杂动态网络同步与控制理论的相关研究。

目前国内复杂性科学的研究已经突破了物理、生物和数学等研究领域的界限,延伸到经济、社会和管理等领域。宋学锋^[15]系统总结了复杂性研究的主要思路、内容和研究中存在的问题,以及相关理论在经济管理等学科领域的应用和可能发展。徐绪松等针对 21 世纪的时代特征提出了“复杂科学管理”,阐述了其科学性和理论内涵。吴启迪等深入研究了复杂制造系统生产计划与调度体系结构及其关键问题。陈国权等推进了复杂变化环境下企业组织管理整体系统及其学习变革的研究。范如国等^[16-18]将复杂网络理论应用于研究环境规制、产业集群演化、企业治理等不同经济子系统问题。黄海军和王慧文等在基于行为的社会经济复杂系统的建模与管理方面取得了较为突出的进展,促进了经济管理领域中高度复杂数据分析的理论与应用。成思危^[8]在研究复杂性科学系统论的基础上,引领了管理科学方面复杂系统的研

② Santa Fe Institute. In memoriam: George Cowan. <https://www.santafe.edu/news-center/news/george-cowan-passes-away>

③ Santa Fe Institute. In memoriam: Murray Gell-Mann. <https://santafe.edu/news-center/news/murray-gell-mann-passes-away> - 89

究,特别是聚焦了经济系统的非线性问题。

基金委管理科学部一直资助复杂性科学研究相关的项目、人才和团队,包括:2项创新群体(黄海军团队、魏一鸣团队)、10多项杰出青年\优秀青年人才项目。通过创新群体项目、人才项目以及面上、青年和地区项目的资助,在城市交通领域形成了2支具有国际影响力的研究团队:北京航空航天大学黄海军团队和北京交通大学高自友团队^④。黄海军团队和高自友团队聚焦大城市交通需求生成、演化与引导,依据大城市复杂交通系统的特性,通过探索个体出行的决策机理和群体涌现的基本规律,刻画了多式、多链活动与多态出行之间的复杂关系,并在不同场景和活动目的下研究了动态用户最优的路径选择行为,发现了大城市多方式交通需求动态演化的基本规律。在能源环境领域形成了以魏一鸣为代表的特色研究团队,魏一鸣团队最早从复杂系统分析与建模的角度出发,结合各模型的建模方法、功能、结构以及其典型应用,系统总结和比较了国际上具有代表性且应用比较广泛的能源-经济模型,并在此基础上,通过复杂性系统进行能源环境政策分析和能源-环境-经济系统的研究,形成了一系列具有影响的研究成果。

2.2 复杂经济学和基于主体的计算经济学研究进展

复杂性科学与系统密切关联,其特色是分析非线性关系、不确定性、自组织性和涌现性,立足于全新的视角,试图借助于计算和大量的数据来解读既有的自然和社会问题。自诞生以来,复杂性科学迅速与其他学科交叉、融合,得到了快速发展^[19]。在经济领域,复杂性科学与经济科学的融合产生了复杂经济学及其建模工具“基于主体的计算经济学(agent-based computational economics, ACE)”;而复杂经济学还与经济物理有着千丝万缕的联系,都在一定程度上依赖物理学家开发的范式、理论和方法以应用或类比研究经济学问题^[20]。在2008年国际金融危机爆发后,复杂系统方面的知名经济学家 Farmer 和 Foley^[21]就呼吁、提倡使用基于主体建模的思想,规避传统经济学

中基于历史数据的实证分析和假定理性预期(rational expectations)^⑤的动态随机一般均衡模型所带来的不足和缺陷^[22]。因此,将对国内外该方面的相关研究进行总结和分析。

美国圣塔菲研究所的 Holland 和 Arthur 等学者首先尝试将复杂性科学与经济学问题融合起来,并逐渐产生了新的研究方向“复杂经济学”^[23,24]。不同于传统新古典经济学,复杂经济学强调经济体不必然处于均衡状态中,而是在不断地运行和变化中;规模报酬递增和递减可能共存于一个经济状态中;经济体并不是给定的,而是发源于一系列的制度、措施和技术创新的平稳演变^[25]。随着行为经济学、神经经济学和实验经济学的兴起,近年来复杂经济学很好地借鉴了它们的最新成果,用于刻画经济主体行为,分析涌现的成因^[24]。

对于复杂系统,需要考虑大量适应性主体的反馈和互动,传统的经济学分析工具和手段受到了极大的制约。因此,系统建模和模拟仿真成了更有效的手段,即基于计算机技术发展起来的基于主体的计算经济学^[24],有时也称为基于主体的建模(agent-based model, ABM)。基于不同的经济系统和研究问题,研究人员可以选择不同的互动主体,比如个人、社会团体、管制机构等,并通过一系列数据和行为模型来刻画各个主体间的互动关系^[26]。在早期,ACE建模主要是基于简单同质的主体来构造复杂系统,这种建模思路虽然能够很好地运用到金融市场中,并能解释一些现象^[27,28],但是由于不能考虑主体之间的反馈,包括学习和适应等,使得其应用和发展受到了制约。后来,简单主体就替换为自主主体(autonomous agents),根据一些设定和规则,用以更接近现实的方式来刻画有限理性主体的学习、适应等决策行为,从而形成了复杂适应系统及其建模^[29]。美国爱荷华州立大学的 Tesfatsion 和布兰迪斯大学的 LeBaron 在 ACE 领域开展了大量基础性建模工作,为在宏观经济学领域应用基于主体的建模方法提供了技术基础^[30]。近年来,对于自主主体的智力异质性、心智模块化(modular mind/brain)及

④ 国家自然科学基金共享服务网: <http://output.nsf.gov.cn>

⑤ 在理性预期设定下,经济主体可以获取大量的信息,并快速地、理性地做出决策,使得长期利益最大化。

其偏好等方面的研究和应用,完善了复杂经济系统微观层面的研究,发展形成了神经认知主体(neurocognitive agents),并为基于主体的计算机模拟和基于人类主体的经济实验搭建起了桥梁^[31]。我国一些学者在 ABM 建模理论与方法方面进行了一系列的相关研究^[32-34],其中,中国台湾政治大学的陈树衡在 ACE 建模方面开展了不少重要的探索工作,如计算经济与实验经济融合、结合大脑与认知能力的 ACE 模型、基于主体建模与人工智能结合、基于主体建模的计量经济、基于主体建模的政策设计以及智能计算在金融领域中的应用等^[31-33]。

在国家自然科学基金的资助下,国内学者如汪寿阳、张维等开展了一系列相关应用研究和进展综述。中国科学院数学与系统科学研究院汪寿阳团队提出了针对复杂经济系统的 TEI@I 方法论^[35],即综合采用计量方法(线性分析)、人工神经网络(非线性分析)以及 Web 文本挖掘来分析复杂经济系统并进而作出预测。该方法在原油价格预测^[35]、GDP 预测、房地产价格预测^[36]、外汇汇率预测^[37]以及集装箱物流预测^[38]等很多复杂经济预测问题上得到成功应用。此外,还有研究人员通过将传统的宏观经济模型和 ABM 结合起来,对我国的货币政策和宏观经济波动性、经济系统中组织和结构的涌现等经济问题进行了研究^[39,40];在金融市场研究领域,研究人员通过 ACE 等建模方法,研究了交易市场“泡沫”效应,系统性金融问题机理及防治等问题^[41,42]。

总体而言,复杂经济学当前应用研究的领域非常广泛,包括自动化交易(automated markets)、商业和管理(business and management)、自然系统和人类系统的耦合(coupled natural and human systems)、经济政策(economic policy)、电力市场(electricity markets)、基于主体模型的实证校验和验证(empirical validation and verification of agent-based models)、制度和社会规则的演变(evolution of institutions and social norms)、真实和计算主体的实验(experiments with real and computational agents)、学习和心智体验(learning and the embodied mind)、网络形成和进化(network formation and

evolution)、组织(organizations)、路径依赖和网络锁定效应(path dependence and network lock-in effects)、政治经济学(political economy)以及技术变迁和发展经济学(technological change and development economics)等。^⑥

需要特别强调的是,由于金融市场有效性和理性问题等尚未完全解决,同时又存在大量的市场交易数据,ACE 在金融方面得到了极广泛的应用和研究,并形成了计算实验金融(agent-based computational finance, ACF)这一重要理论和文献分支。在 ACF 的模型设置上,其研究主要包括主体的偏好,即 CARA (constant absolute risk aversion) 和 CRRA (constant relative risk aversion); 价格的决定;进化的机制和策略;策略表达等^[28,43,44]。

天津大学张维团队引入 ACE、ACF 等方法,应用复杂经济学理论在金融体系进行了深入和广泛的研究。基于 ACF 的多主体仿真技术,张维团队研究了金融股票市场和信贷市场中的若干重要问题,并提出了基于主体建模的金融政策研究的基本框架^[45-48]。此外,张维等运用文献统计方法,对基于复杂金融系统视角的 ACF 进行了全面的总结和归纳,指出 3 个具有潜力的研究方向,包括构建大规模自主主体的计算实验模型,研究金融系统复杂演化规律;金融市场中的复杂网络的机制与影响;模型校准以及新校准方法的发展与涌现^[49-51]。

2.3 评述

总体来看,复杂性科学已经从具体经验科学和形式科学的发展阶段迈入了多学科交叉研究的综合研究阶段^[52],而且复杂性科学可以有效增进各学科关系,打破学科之间的界限,能够有效带动不同学科在理论上和研究方法上的创新和融合,尤其是在生物工程、航天工程、复杂经济系统等交叉学科领域。

而复杂经济学和基于主体的计算经济学在过去 30 多年里经历了快速发展,成为当前主流经济学及其研究范式的重要补充。而 Hamill 和 Gilbert 总结、归纳了复杂经济学和基于主体的计算经济学的发展和不足,认为这一新领域和范式形成较晚,模型设定、使用等缺乏统一规范、标准,影响了

⑥ 相关研究领域的文献较多,限于篇幅,不一一赘述,具体内容详见 <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/aapplic.htm>。

ABM 模型在经济学中的应用,应该鼓励更多学者投入到这一领域中,使得复杂经济学和基于主体的计算经济学得到更长足的发展^[53,54]。与此同时,随着计算机技术的快速发展,相应的参数设定过多和计算要求高等问题将会得到缓解,其未来发展和应用颇具前景。

当前国内的 CE 和 ACE 研究在金融领域、能源环境经济学和城市和经济区域方面,有着较为丰富的研究成果,而在其他研究领域,相关成果则较少。当前国内传统经济科学研究仍然侧重于动态随机一般均衡分析框架和计量经济学框架下的因果分析,对于 CE 和 ACE 的应用、借鉴和研究仍然有限;与此同时发表在国际主流经济学期刊的成果亦不多。分析原因大概有以下几方面:第一,我国经济学现代化教育起步较晚,并且主要是在引入、吸收动态随机一般均衡分析框架和计量经济学的因果分析框架;第二,CE 和 ACE 下的建模技术仍处于发展阶段,参数过多、模型设置标准和原则没有统一等也导致了相关研究人员偏少;第三,当前我国经济科学相关研究队伍多集中在财经类院校,与物理学、计算机科学、数学等学科进行交叉性研究的渠道不顺畅。

3 结束语

从既有研究来看,我国学者在复杂性科学和复杂经济系统建模方面已经开展了较为丰富的研究工作,并在经济金融、城市交通和能源环境 3 个方向形成了有国际影响力的科研团队和研究成果,但是离实际需求还远远不够,不足以支撑经济发展和系统治理的需求。基于文献回顾,我国学界还存在一些亟待改进的地方:第一,现有研究在理论创新和方法创新方面还是偏弱,多是运用国际上的现有成果结合中国实际进行分析,缺少从中国实际中提炼出自己的理论方法和分析工具;第二,我国当前对复杂经济学的研究主要集中于金融系统、能源环境系统的研究,但对社会经济系统及其子系统的研究仍需关注和加强;第三,CE 和 ACE 是对传统、主流经济学的重要补充,当前仍在蓬勃发展之中,从国内外研究来看,国内与国外研究差距较大,发表在主流经济学期刊上的论文

较少,需要进一步增强在该领域的研究力量,加大对该方面的支持力度。

从历史上来看,复杂性科学更多是由物理学家或者物理学背景的学者来引领和推动,所以其研究范式有着深刻的物理学烙印,跟主流经济学研究范式有较显著的区别。以对待数学的态度为例,主流经济学家比物理学家更加依赖数学。尽管物理学和经济科学都大量使用数学工具,经济科学也是学习和借鉴了物理学的成功榜样来发展自己的方法论,但它们对待数学的态度并不完全一致:后发展的经济科学比物理学更加“迷信”数学。经济学家会把主要的结论写成数学定理的形式,前提和结论都非常清晰;物理学家则不一定如此,经常在论证过程中做各种近似,并且经常用模型里没有特别交代的结论作为论证依据。正如杨振宁所说,“物理学和数学像一对‘对生’的树叶,它们只在根部有很小的公共部分,多数部分则是相互分离的”。而复杂性科学,特别是复杂经济学,无论是否基于 ABM 模型,很少把主要结论写成数学定理,这是目前该方向比较难进入经济学主流的原因之一,但这也恰恰是能体现出其创新性和潜力的地方。对于经济科学而言,数学不仅是一个工具,更是一门语言。但是数学作为一门语言,优势是其精确性,劣势是其表达能力相比自然语言有较大局限。学界内外对经济学研究中滥用数学问题的批评一直没有间断,而且该问题仍然没有得解决,反而有愈演愈烈的趋势。究其根本原因,主流经济学家难以找到更好的替代工具,离开数学很难进行深入分析。复杂经济学突破了还原论和数学表达的束缚,将来有望在此领域取得重大的原创性成果,在主流经济学之外异军突起,并最终成为新的主流。而且,复杂性经济学的发展根源在于经济系统本身的复杂性,基于 Walres 一般均衡理论的现代经济学需要更充分地考虑微观基础和更深层次的参数,如个体的异质性、互动和有限理性等要素,从而进一步强化模型的解释力和科学性,揭示复杂经济系统更本质的特征。此外,一般均衡存在与否是个重要的科学问题,而趋近于哪一个均衡及其过程是另外一个重要的科学问题。对于复杂经济系统的刻画和建模需要复杂的数学工具体系,每多增加 1 个维度将急剧增加计算量,这是限制复杂经济学发展

的重要原因之一。随着现代高性能计算机的发展,以及人工智能、机器学习等计算机技术的发展,势必会突破这些桎梏,为复杂经济学研究提供新的工具和研究范式。

基于上述分析,建议在以下 3 方面加强引导:第一、异质经济主体的适应行为建模以及经济系统和经济单元之间的介尺度治理机制研究;第二、探索基于主体的复杂经济系统的计算模拟、情境推演和智能预测理论及方法;第三、构建基于微观数据的复杂宏观经济系统定量分析理论框架,为构建适合我国国情的经济科学理论体系和逻辑框

架作有益补充。因此,在短期内,建议结合基金委推出的“原创探索研究计划”,遴选优势团队开展相关原创性探索研究,通过多学科交叉融合,突破既有研究瓶颈,发展新理论、新方法和新工具;在较长时期内,以科学基金深化改革为契机,通过优化学科代码和布局,吸引和培育相关专业人才队伍,建议通过重点或者重大研究计划形式开展前沿性研究和探索,期望开发出新的研究范式来研究中国经济规律、讲好中国故事,既服务于国家重大战略需要,也开拓相关理论研究和应用研究的新视野和新工具。

参 考 文 献:

- [1] 宋学锋, 杨列勋, 曹庆仁. 复杂性科学研究进展 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Song Xuefeng, Yang Liexun, Cao Qingren. The Research Progress of Complexity Science [M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [2] Magda F. The Santa Fe perspective on economics: Emerging patterns in the science of complexity [J]. *History of Economic Ideas*, 2010, 18(2): 167 - 196.
- [3] 苗东升. 复杂性研究的现状与展望 [J]. *系统辩证学学报*, 2001, 9(4): 3 - 9.
Miao Dongsheng. Current situation and prospect of complexity research [J]. *Journal of Systemic Dialectics*, 2001, 9(4): 3 - 9. (in Chinese)
- [4] Waldrop M M. *Complexity: The Emerging Science at The Edge of Order and Chaos* [M]. New York: Simon and Schuster, 1992.
- [5] Hurford A. Complexity Theories and Theories of Learning: Literature Reviews and Syntheses [M] // Sriraman B, English L (eds). *Theories of Mathematics Education. Advances in Mathematics Education*. Berlin: Springer, 2010.
- [6] 颜泽贤, 范冬萍, 张华夏. 系统科学导论: 复杂性探索 [M]. 北京: 人民出版社, 2006.
Yan Zexian, Fan Dongping, Zhang Huaxia. An Introduction to Systems Science: Complexity Exploration [M]. Beijing: People's Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [7] 沈小峰, 湛垦华. 耗散结构理论和自然辩证法 [J]. *自然辩证法通讯*, 1980, 2(2): 39 - 45.
Shen Xiaofeng, Zhan Kenhua. Dissipative structure theory and dialectics of nature [J]. *Journal of Dialectics of Nature*, 1980, 2(2): 39 - 45. (in Chinese)
- [8] 成思危. 复杂科学与系统工程 [J]. *管理科学学报*, 1999, 12(2): 1 - 7.
Cheng Siwei. Complexity science and systems engineering [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 1999, 12(2): 1 - 7. (in Chinese)
- [9] Lansing J S. Complex adaptive systems [J]. *Annual Review of Anthropology*, 2003, 32(1): 183 - 204.
- [10] 艾伦·B·唐尼. 复杂性思考: 复杂性科学和计算模型 [M]. 郭涛, 朱梦瑶. 译, 第 2 版, 北京: 机械工业出版社, 2020.
Downey A B. Think Complexity: Complexity Science and Computational Modeling [M]. Guo Tao, Zhu Mengyao (Translator). 2nd edition, Beijing: China Machine Press, 2020. (in Chinese)
- [11] 黄欣荣. 复杂性科学的方法论研究 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
Huang Xinrong. Research on The Methodology of Complexity Science [M]. Chongqing: Publishing House of Chongqing University, 2006. (in Chinese)
- [12] 顾基发, 唐锡晋, 朱正祥. 物理 - 事理 - 人理系统方法论综述 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2007, 7(6): 55

-64.

Gu Jifa, Tang Xijin, Zhu Zhengxiang. Survey on wuli-shili-renlisystem approach [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(6): 55-64. (in Chinese)

[13]戴汝为, 操龙兵. 一个开放的复杂巨系统[J]. 系统工程学报, 2001, 16(5): 376-381.

Dai Ruwei, Cao Longbing. Open complex giant system [J]. Journal of Systems Engineering, 2001, 16(5): 376-381. (in Chinese)

[14]汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

Wang Xiaofan, Li Xiang, Chen Guanrong. Complex Network Theory and Its Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. (in Chinese)

[15]宋学锋. 复杂性、复杂系统与复杂性科学[J]. 中国科学基金, 2003, 17(5): 8-15.

Song Xuefeng. Complexity, complex system and the science of complexity [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2003, 17(5): 8-15. (in Chinese)

[16]范如国. 复杂网络结构范型下的社会治理协同创新[J]. 中国社会科学, 2014, (4): 98-120.

Fan Ruguo. Collaborative innovation in social governance in a complex network structural paradigm [J]. Social Sciences in China, 2014, (4): 98-120. (in Chinese)

[17]范如国, 朱超平, 林金钗. 基于复杂网络的中国区域环境治理效率关联性演化分析[J]. 系统工程, 2019, (2): 1-11.

Fan Ruguo, Zhu Chaoping, Lin Jinchai. Analysis of the relevance evolution of regional environmental governance efficiency in China based on complex network [J]. Systems Engineering, 2019, (2): 1-11. (in Chinese)

[18]范如国. “全球风险社会”治理: 复杂性范式与中国参与[J]. 中国社会科学, 2017, (2): 65-83.

Fan Ruguo. Governance of “Global Risk Society”: The paradigm of complexity and Chinese participation [J]. Social Sciences in China, 2017, (2): 65-83. (in Chinese)

[19]刘作仪. 复杂网络理论及相关管理复杂性研究的资助进展[J]. 中国科学基金, 2008, 22(1): 13-17.

Liu Zuoyi. Research progress on complexity network and its application in the area of management science [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2008, 22(1): 8-15. (in Chinese)

[20]黄吉平. 漫谈经济物理学[J]. 现代物理知识, 2010, 22(6): 29-34.

Huang Jiping. Discussion on econophysics [J]. Modern Physics, 2010, 22(6): 29-34. (in Chinese)

[21]Farmer J, Foley D. The economy needs agent-based modelling [J]. Nature, 2009, 460: 685-686.

[22]Chen S-H. Agent-based Computational Economics: How the Idea Originated and Where It Is Going [M]. New York: Routledge, 2016.

[23]Arthur W B. Complexity and The Economy [M]. Oxford: Oxford University Press, 2014.

[24]Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory [M]//Tesfatsion L, Tudd K L. Handbook of Computational Economics (Vol 2), 2006: 831-880.

[25]Wei Y M, Ying S J, Fan Y, et al. The cellular automaton model of investment behavior in the stock market [J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2003, 325(3): 507-516.

[26]邓翔, 吕一清, 路征. 动态随机一般均衡模型的反思与改进——基于复杂系统和复杂网络的视角[J]. 经济学动态, 2013, (8): 121-126.

Deng Xiang, Lü Yiqing, Lu Zheng. Reflection and improvement on DSGE: Based on the complex system and the complex network [J]. Economic Perspectives, 2013, (8): 121-126. (in Chinese)

[27]LeBaron B. Agent-based Computational Finance [M]//Tesfatsion L, Tudd K L. Handbook of Computational Economics (Vol 2), 2006: 1187-1233.

[28]Li H, Rosser B. Market dynamics and stock price volatility [J]. European Physical Journal B, 2004, 39(3): 409-413.

[29]Holland H J. Complex adaptive systems [J]. Daedalus, 1992, 121(1): 17-30.

[30]LeBaron B, Tesfatsion L. Modeling macroeconomics as open-ended dynamic systems of interacting agents [J]. The American Economic Review, 2008, 98(2): 246-250.

[31]Chen S, Wang S G. Emergent complexity in agent-based computational economics [J]. Journal of Economic Surveys,

- 2011, 25(3): 527–546.
- [32] Chen S H. Agent-based Computational Economics: How The Idea Originated and Where It Is Going [M]. New York: Routledge, 2015.
- [33] Barr J, Tassier T, Ussher L, et al. The future of agent based research in economics [J]. *Eastern Economic Journal*, 2008, 34(4): 550–565.
- [34] 陈 禹. 复杂性研究——转变思维模式的一个重要方向 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2016, 13(4): 1–7.
Chen Yu. Complexity: An important direction for thinking pattern change [J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2016, 13(4): 1–7. (in Chinese)
- [35] Wang S Y, Yu L, Lai K K. Crude oil price forecasting with TEI @ I methodology [J]. *Journal of Systems Science and Complexity*, 2005, 18(2): 145–166.
- [36] 闫 妍, 许 伟, 部 慧, 等. 基于 TEI @ I 方法论的房价预测方法 [J]. *系统工程理论与实践*, 2007, 27(7): 1–9.
Yan Yan, Xu Wei, Bu Hui, et al. Housing price forecasting method based on TEI@ I methodology [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2007, 27(7): 1–9. (in Chinese)
- [37] 汪寿阳, 余乐安, 黎建强. TEI@ I 方法论及其在外汇汇率预测中的应用 [J]. *管理学报*, 2007, 4(1): 21–27.
Wang Shouyang, Yu Lean, Li Jianqiang. TEI@ I methodology and its application to exchange rates prediction [J]. *Chinese Journal of Management*, 2007, 4(1): 21–27. (in Chinese)
- [38] 许利枝, 汪寿阳. 集装箱港口预测及其实证研究: 基于 TEI@ I 方法论 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Xu Lizhi, Wang Shouyang. Container Port Prediction and Its Empirical Research: Based on TEI@ I Methodology [M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)
- [39] Wang D H, Zhou L, Di Z R. Bipartite producer-consumer networks and the size distribution of firms [J]. *Physica A*, 2006, 363: 359–366.
- [40] Zhao W, Lu Y, Feng G. How many agents are rational in China's economy? Evidence from a heterogeneous agent-based new Keynesian model [J]. *Computational Economics*, 2019, 54(2): 575–611.
- [41] 毛征兵, 范如国, 陈 略. 新时代中国开放经济的系统性风险探究——基于复杂性系统科学视角 [J]. *经济问题探索*, 2018, 39(10): 1–24.
Mao Zhengbing, Fan Ruguo, Chen Lue. Philosophizing of systematic risk for new era of Chinese open economy: Based on complexity systems science [J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2018, 39(10): 1–24. (in Chinese)
- [42] 张 军. 资产市场的“泡沫”效应——基于复杂适应系统理论的分析 [J]. *经济与管理研究*, 2006, (6): 37–40.
Zhang Jun. The bubbles of capital market: Analysis based on the complex adaptive system theory [J]. *Research on Economics and Management*, 2006, (6): 37–40. (in Chinese)
- [43] Le Baron B. Agent-based computational finance: Suggested readings and early research [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2000, 24(5/7): 679–702.
- [44] LeBaron B. Microconsistency in simple empirical agent-based financial models [J]. *Computational Economics*, 2019, 54(3): 1–19.
- [45] Xiong X, Zhang J, Lü Z, et al. How does investor sentiment influence IPO initial return and long-term performance? An agent-based computational finance approach [J/OL]. *The Singapore Economic Review*, 2019, <https://doi.org/10.1142/S0217590819500437>
- [46] 熊 熊, 姚传伟, 张永杰. 中小企业联合担保贷款的计算实验金融分析 [J]. *管理科学学报*, 2013, 16(3): 88–94.
Xiong Xiong, Yao Chuanwei, Zhang Yongjie. Analysis of scale in SME joint guarantee loans using agent-based computational experiment finance [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(3): 88–94. (in Chinese)
- [47] 崔毅安, 熊 熊, 韦立坚, 等. 金融科技视角下的计算实验金融建模 [J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(2): 373–381.
Cui Yi'an, Xiong Xiong, Wei Lijiang, et al. Agent-based modeling from the perspectives of FinTech [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2020, 40(2): 373–381. (in Chinese)
- [48] 赵志刚, 熊 熊, 张小涛. 基于主体建模的金融政策仿真研究及其应用 [J]. *软科学*, 2009, 23(7): 54–56.

- Zhao Zhigang , Xiong Xiong , Zhang Xiaotao. Agent-based models for financial policies simulation study and its applications [J]. *Soft Science* , 2009 , 23(7) : 54 – 56. (in Chinese)
- [49]张 维,武自强,张永杰,等. 基于复杂金融系统视角的计算实验金融: 进展与展望[J]. *管理科学学报* , 2013 , 16(6) : 85 – 94.
- Zhang Wei , Wu Ziqiang , Zhang Yongjie , et al. Agent-based computational finance on complex financial system perspective: Progress and prospects [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2013 , 16(6) : 85 – 94. (in Chinese)
- [50]张 维. 计算实验金融研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- Zhang Wei. Agent-Based Computational Finance [M]. Beijing: Science Press , 2010. (in Chinese)
- [51]张 维,冯 绪,熊 熊,等. 计算实验金融在中国: 研究现状及未来发展[J]. *系统管理学报* , 2012 , 21(2) : 756 – 764.
- Zhang Wei , Feng Xu , Xiong Xiong , et al. Agent-based computational finance in China: Its present state and future prospects [J]. *Journal of Systems & Management* , 2012 , 21(2) : 756 – 764. (in Chinese)
- [52]金吾伦,郭元林. 复杂性管理与复杂性科学[J]. *复杂系统与复杂性科学* , 1997 , (2) : 28 – 34.
- Jin Wulun , Guo Yuanlin. Complexity management and the sciences of complexity [J]. *Complex Systems and Complexity Science* , 1997 , (2) : 28 – 34. (in Chinese)
- [53]Hamill L , Gilbert N. Agent-Based Modelling in Economics [M]. West Sussex: John Wiley and Sons , 2015.
- [54]Lorscheid I , Berger U , Grimm V , et al. From cases to general principles: A call for theory development through agent-based modeling [J]. *Ecological Modelling* , 2019 , 393: 153 – 156.

A review on complexity science and its application to economics: Based on supported projects and related research

ZHANG Jiang-hua¹ , CHEN Zhong-fei² , REN Zhi-guang³ , YANG Lie-xun^{3*}

1. School of Management , Shandong University , Jinan 250100 , China;

2. School of Economics , Jinan University , Guangzhou 510632 , China;

3. Department of Management Sciences , National Natural Science Foundation of China , Beijing 100085 , China

Abstract: This paper presents the descriptive statistics and analysis on the supported research project on the field of Complexity Science and its application to Economics by the Department of Management Sciences , National Natural Science Foundation of China (NSFC) since 1986. Meanwhile , it reviews the current research on Complexity Science and Complexity Economics that emerged from the mix of Complexity Science and Economics , and summarizes the academic progress achieved by domestic and foreign scholars , as well as the trend in the near future. Based on this work , we are intend to provide a reference for the researcher in the related areas , so that to push the frontier of studies on the management of complexity system , and further offer policy implications for the 14th five-year subject plan of the Department of Management Sciences , as well as theoretic support for the improvement on national economic governance system.

Key words: complexity science; complexity economics; management of complexity system; economic system; academic progress