



数字经济的博弈论基础

杨晓光¹, 李三希², 曹志刚³, 崔志伟⁴,
乔雪², 翁翕⁵, 俞宁⁶, 张博宇⁷

1 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100190

2 中国人民大学 经济学院, 北京 100872

3 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044

4 北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100191

5 北京大学 光华管理学院, 北京 100871

6 南京审计大学 社会与经济研究院, 南京 211899

7 北京师范大学 数学科学学院, 北京 100875

摘要: 博弈论是支撑和理解数字经济的重要基础理论, 在数字经济中发挥核心作用。结合当下数字经济发展对博弈论的新需求, 凝练了数字经济基础要素配置的机制设计、数字经济平台设计和监管、数字经济中市场设计理论和应用、数字经济中的大规模网络博弈、数字经济中的动态竞争和合作5个研究方向。这些研究方向的突破, 有利于中国学者在博弈论研究中占据前沿位置, 并助力数字经济高质量发展。

关键词: 数字经济; 博弈论; 机制设计; 市场设计; 数字平台

中图分类号: F224 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-0334.2022.01.005

文章编号: 1672-0334(2022)01-0050-05

引言

党的十八大以来, 国家高度重视发展数字经济, 发展数字经济逐渐上升为国家战略。2017年习近平总书记在中共中央政治局第二次集体学习中强调要构建以数据为关键要素的数字经济。2020年4月, 中共中央、国务院明确把数据纳入生产要素, 提出要“加快培育数据要素市场”。国家还出台若干法律和文件对数字经济进行规范, 2021年发布了《国务院反垄断委员会关于平台经济领域的反垄断指南》《中华人民共和国个人信息保护法》, 2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中数字经济单独成篇, 指出要“加快数字化发展, 建设数字中国”。

尽管中国数字经济实践走在世界前列, 但在数字经济基础原理方面贡献相对很小。不仅在互联网技术和通信技术方向的原创性技术比较少, 而且在数

字经济的基础性市场规则、基础性算法和基础性商业模式方面原创性也比较少。中国数字经济发展的优势主要在引进和借鉴的基础上发挥市场规模庞大的力量, 但是随着中国数字经济发展走到世界先进行列, 并且当下存在中美技术脱钩的威胁, 中国数字经济的进一步发展需要加强国内的基础性理论研究。

数字经济的“经济基础”是信息技术, 其“上层建筑”则是博弈论, 博弈论是数字经济中居于核心地位的基础性理论。数字经济与以往传统经济的最大不同是大量的“人为设计”而不是自然演化。这里的人为设计与计划经济有很大的区别, 需要考虑市场参与者的自发行为, 设计各种机制提高市场效率和社会效益, 同时保障所有市场参与者的基本权益, 因此需要时时考虑所有利益关联者的行为和策略, 博弈处处体现在“设计”之中。相对于传统经济, 数

收稿日期: 2021-10-10 **修返日期:** 2021-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(72192800)

作者简介: 杨晓光, 理学博士, 中国科学院数学与系统科学研究院研究员, 研究方向为风险管理和博弈论等, 代表性学术成果为《不良贷款的回收: 数据背后的故事》, 2017年由科学出版社出版(ISBN: 978-7-0305-3071-4), E-mail: xyg-ang@iss.ac.cn

数字经济最大的新规律就是基于博弈的各种机制设计,其技术开发出发点、市场运行机制、市场监管机制、算法设计的原则,以及数据的收集、处理和使用的原则等均建立在博弈基础上。数字经济连接力强、穿透力大、交易速度快,完全不同于传统经济中交易活动的“慢决策”,其“快决策”背景下的博弈问题更具挑战性。深入理解数字经济的客观规律,必须充分结合数字经济技术特征以及经济主体的行为动机,探究数字经济的竞争与合作逻辑。

加强数字经济博弈论基础研究有重要的学术价值和现实意义。随着数字经济的高速发展,已经产生了大量难以解决的重大现实问题,不能再靠学习、借鉴海外经验解决,必须依赖于原创性理论加以指导。例如,数据要素市场发展很不完善,个人信息保护、数据孤岛和数据安全等问题急需顶层设计;依赖于大数据和智能算法的市场匹配机制在给消费带来便利的同时,也带来大数据杀熟和劳动者被困在算法里等严重问题;数字经济带来数字化社交乃至数字化生活,极大地改变了人们的社交网络结构以及沟通和信息获取渠道,也带来“信息茧房”和“观点极化”等隔离和撕裂;平台企业在充分利用其网络外部性造福社会的同时,垄断和滥用其市场支配地位等问题也日益凸显;区块链技术和数字货币正在蓬勃兴起,将可能从底层对数字经济产生革命性的影响。要从理论上深入理解乃至解决上述问题,基于博弈论的研究是一条必然道路。上述提到的数字经济发展面临的问题和挑战,主要是数字经济中各方经济主体的互动,占据优势一方侵害弱势一方的利益,可抽象为不同条件下的多主体博弈。博弈论在人工智能(A, artificial intelligence)、区块链(B, block-chain)、云计算(C, cloud computing)、大数据(D, big data)等数字技术创新、应用以及与传统实体经济融合过程中发挥举足轻重的作用,是设计众多运行机制的理论基础。

1 国内外研究现状和发展态势

数字经济与博弈论的结合是经济学和管理学的研究前沿,据不完全统计,近年来该领域学者在《American Economic Review》《Management Science》等经济和管理学顶级期刊上发表了相关论文超过100篇。管理学很多顶级期刊也出版了相关专辑,《Management Science》在2005年推出了“电子商务”专辑,在2021年推出了“区块链和加密经济学”专辑;《Harvard Business Review》在2016年推出了“平台经济”专辑。为争取学术制高点,欧盟、美国和日本都启动了资助规模上千万到近亿元人民币的重大项目,例如,欧盟资助的“数据交易机制”“网络虚假信息探测”“现代市场中的合作机制”“算法博弈论”等;美国资助的“平台算法经济”“区块链的理论与应用”等;日本资助的“数字经济的机制设计”等。目前中国在数字经济的博弈论基础方面资助的项目以探索类居多,国家自然科学基金委员会近些年资助了不少相

关的面上项目和青年项目。

国内外一大批经济学和管理学顶尖学者都聚焦于数字经济与博弈论的交叉领域的研究。2012年诺贝尔经济学奖获得者ROCHET et al.^[1]开创了平台与双边市场理论;TIROLE^[2]在其著作中用了近一半篇幅详细介绍数字经济发展过程中的平台经济、人工智能、区块链和隐私保护等研究话题;TIROLE^[3]通过构建博弈模型对数字时代政府、私人平台和专业组织对信息流的控制如何影响个人行为和社会结构进行深入研究。市场设计的一个重要领域是拍卖,随着在线广告市场的兴起,大量经济学家开始使用博弈模型对这一问题进行研究^[4]。从网络拓扑结构的视角理解数字经济的理论工具是社会和经济网络,特别是网络博弈,代表性人物是美国科学院院士JACKSON,其著作是网络博弈的经典之作^[5]。尽管现在网络博弈和数字经济还属于比较割裂的两块,但是在未来这二者的融合将会是一种趋势,JACKSON^[6]就曾谈到理论在大数据与设计时代的重要性。在区块链中,共识算法中的共识形成过程是博弈论的典型应用。KUMAR et al.^[7]将工作量证明(PoW)和权益证明(PoS)等共识算法以博弈论的思路进行形式化的统一。数据作为数字时代的重要生产要素也越来越受到学者们的重视。JONES et al.^[8]注意到数据具有非竞争性,并在此基础上讨论了数据产权分配问题。

总体看,国内外结合数字经济与博弈论的研究越来越多,有以下趋势:一是多学科交叉融合,融合了经济学、管理学、运筹学和计算机科学等多个学科;二是着重理论与实践的融合,研究问题多来自于数字经济实践,而又注重理论对实践的指导;三是研究方法的多样性,包括机制设计、信息设计、超模博弈、位势博弈、联盟博弈和算法博弈等数理演绎分析方法,也包含大数据分析、机器学习和随机实验等前沿数据分析和实验方法。

2 中国发展基础和优势

中国在该领域的研究优势之一在于中国走在世界前列的数字经济实践,中国数字经济增加值的规模已经超过35%,创造出多项国际领先的数字技术,涌现出一批有国际影响的互联网巨头,为相关理论研究提供了得天独厚的优势。中国高校与业界研究机构开展产学研合作,结合数字经济发展的国内外动态,剖析数字经济发展中出现的各种具体问题,发布各种半学术性的分析报告。这些分析报告及时把业界问题凝练、抽象成学术界通用的语言,同时也把学术界的观点传递给业界,为相关的基础理论研究提供了大量的经验事实和研究素材,是中国学者有潜力做出有重大影响力理论研究的扎实基础。

从文献计量学角度看,数字经济相关研究也得到中国学者的高度重视。以digital economy为关键词在Web of Science中可搜索到7000多篇文章,其中,中国学者发表617篇,仅次于美国学者的1244篇和俄

罗斯学者的792篇。另外,以数字经济为关键词,通过中国知网检索到同时被CSSCI和CSCD收录的相关文章11000多篇,且近些年以爆炸式速度增长。这些研究大多集中于数字经济的宏观描述和分析,专注于数字经济宏观机理研究,而研究数字经济博弈论基础的较少。

与国内联系密切的一批华人学者在数字经济与博弈论交叉领域取得了出色的成绩。TAN et al.^[9]将平台与双边市场理论推广到多边市场分析框架, CONG et al.^[10]分析区块链技术对竞争和产业组织的影响, CHOI et al.^[11]建立一个非随机消费者搜寻理论的一般分析框架, RHODES et al.^[12]对消费者搜寻与零售市场结构进行研究, JIANG et al.^[13]对共享经济进行系统性研究, LI et al.^[14]对在线声誉机制进行深入研究。这些研究为数字经济博弈论基础研究的发展打下了扎实基础,以星火燎原之势激励中国学者做出更具开创性的原创性学术成果。

3 主要研究方向和典型科学问题

根据数字经济特征,数字经济可以划分为后台、中台和前台3个部分。后台即数字经济的基础建设部分,中台即数字经济的市场建设部分,前台即数字经济的市场交易部分。数字经济有自己特有的基础设施,即数据、区块链和数字货币。与传统经济不同,这些基础设施本身都蕴含大量的博弈问题。数字经济的市场建设主要是市场设计,包括平台的设计和交易的设计,是典型的机制设计问题。而数字经济的市场交易部分主要是平台、买方、卖方和监管部门多方面的互动,也存在大量复杂的博弈问题。消费者网络是数字经济的基础活动单元,平台是数字经济的中枢,政府是数字经济规则的制定者和监管者。博弈存在于上述系统的每一个环节中,消费者

之间存在竞争和合作;平台基于消费者数据信息流,在政府监管和市场纪律之下进行平台和市场设计;平台之间存在竞争和合作;政府与平台和消费者博弈,设计市场规则和监管制度;此外,数字经济中竞争和合作具有高度动态的特征。在此视角下,本研究提炼出5个研究方向,各研究方向之间的逻辑关系见图1。

3.1 研究方向1: 数字经济基础要素配置的机制设计

数据是数字经济中最为重要的生产要素之一,区块链技术和数字货币是数字经济新的技术动力。在互联网和信息技术之上,数据、区块链和数字货币成为数字经济新兴的基础要素。数字经济的基础建设首先必须保证数据不被篡改、泄露和丢失,而计算机领域中的安全多方计算技术和区块链技术作为解决数据安全的基础性技术,正在重构数字经济的微观基础,但尚未有成熟的理论工具探讨数字经济的顶层机制设计应该相应做出哪些重要调整。例如,如何在保证数据安全的前提下设计数据要素市场,如何妥善解决数据生产者与数据拥有者的权益不对称,以及数据透明与数据隐私、数据孤岛与数据共享等冲突,如何设计区块链下的共识协议以更好地发挥集群智慧实现个人、机构和政府的多赢等问题,数字货币应用中的央行、商业银行、支付平台之间的竞争和合作问题,以及央行与商业银行之间的博弈问题。该部分研究涉及到的主体主要是平台、企业和政府。

典型科学问题举例:数据交易机制设计,数字要素的定价和收益共享分配机制,数据要素市场的监管设计,数字经济中区块链的共识协议,央行数字货币应用中的多方博弈等。

3.2 研究方向2: 数字经济平台设计和监管

平台是数字经济中最为成功和普遍的商业组织,

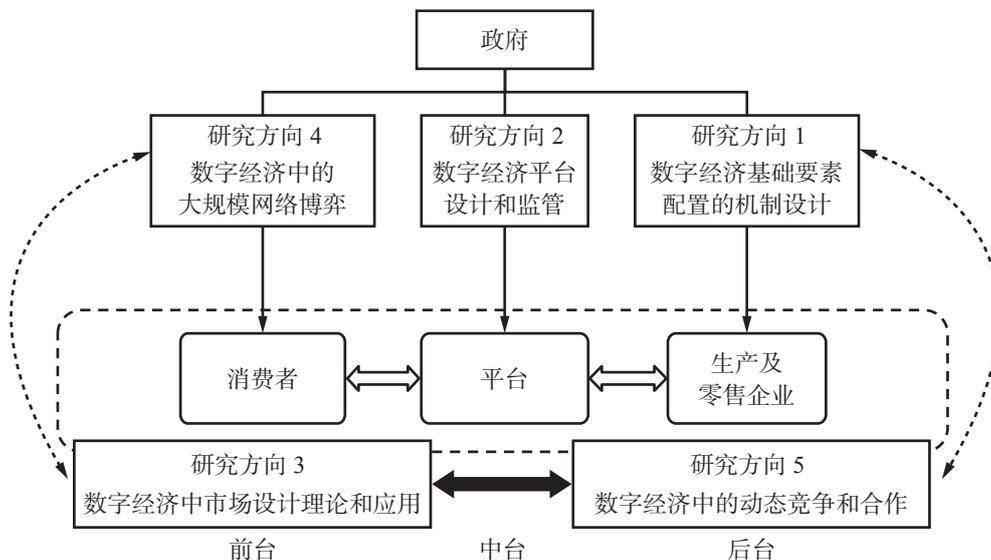


图1 研究方向之间的逻辑关系

Figure 1 Logical Relationship of Research Directions

为市场提供了一个交易场所,通过促成双方或多方用户之间的交易,并收取交易费用而获得收益。数字经济的快速发展,出现网络、数据、算法三重外部性叠加,导致以平台为中心的互动结构日趋复杂,传统的平台设计导致一系列问题,如平台赢者通吃,损害了买方和卖方的利益。因此,需要在多层动态博弈的思维下,为平台设计更为合理的定价机制和交易机制,从而促进市场良性发展,并最终实现买方、卖方和平台的三方共赢。平台垄断和平台治理不能仅靠市场本身来解决,需要设计贴切的监管机制,实现平台创新与平台社会效益的均衡发展。该部分研究涉及到的主体主要是平台和政府。

典型科学问题举例:数字平台用户行为分析,定向搜寻与平台设计,在线声誉机制研究,平台竞争与反垄断,平台监管和治理等。

3.3 研究方向3: 数字经济中市场设计理论和应用

市场买卖双方从线下迁移到线上后,交易可能性极大提升。在数字平台的支撑下,使用算法可以极大提高供需双方匹配效率,而算法的有效性强烈依赖于“聪明”的匹配机制设计;在线市场也给拍卖这种传统的资源配置方式创造了新的应用场景,需要新的拍卖机制。线上的匹配机制设计或者拍卖机制设计与线下最大的不同在于市场具有多边性、异质性、动态性、随机性和复杂性,并且数字经济的最新发展又使机制设计必须与人工智能、区块链、云计算、大数据等数字技术紧密结合,由此衍生出一系列复杂的匹配和拍卖问题。该部分研究涉及到的主体主要是平台、企业和消费者。

典型科学问题举例:线上双边交易(复杂)市场设计问题,线上双边(复杂)匹配问题,在线广告拍卖问题,在线动态拍卖问题,在线多物品拍卖问题等。

3.4 研究方向4: 数字经济中的大规模网络博弈

数字经济中,一个鲜明特征是线上网络活动与线下经济行为紧密相连,个体相互影响呈现出更加多元化特征;个体社交网络快速变化,产生社会影响的模式不断翻新。由于同侪效应,个体行为模式呈现高度复杂性。数字经济降低了信息获取成本,新媒体个性化推荐算法的使用,人类观点和信念的极端化没有被削弱,“信息茧房”效应反而更加凸显;数字经济的扩张也创造了新的经济机会,但是所实现价值无法在个人与区域之间进行平等分配。所有这些问题都需要从网络拓扑结构的视角,借鉴网络博弈工具进行深入研究。该部分研究涉及到的主体主要是消费者、企业和平台。

典型科学问题举例:数字经济中的网络形成博弈理论,数字经济中的网络与行为协同演化博弈理论,数字经济中的信息传播与社会学习博弈理论,数字经济中数字鸿沟与不平等。

3.5 研究方向5: 数字经济中的动态竞争和合作

数字经济中的定价、匹配以及其他核心竞争决策主要通过算法实现,算法决策具有在线和动态等显著特征。这种算法决策体现出来的在线性和动态

性,一方面大幅降低企业运营成本、提高资源配置效率,另一方面对定价策略的稳定性提出很高要求。这需要结合大数据与算法,重新深究企业的定价、匹配、竞争、合作、联盟等经典问题,在动态环境下刻画算法决策之下的竞争和合作问题。此外,因为涉及到动态竞合,时间一致性是重要因素之一,需要将静态模型扩展到动态框架,使用大量的控制论和微分博弈等工具刻画动态竞合行为,这在技术上非常具有挑战性。该部分研究涉及到的主体主要是企业、消费者和平台。

典型科学问题举例:动态定价算法设计,动态稳定匹配理论,动态双边市场理论,数字经济中的时间一致性,数字经济中基于联盟博弈的动态合作等。

4 结束语

数字经济给博弈论研究者提供了大量素材和应用场景,成为中国学者占据理论前沿的一个契机。一方面,中国数字经济实践走在世界前列并超前于理论;另一方面,随着一批在国际上有重要影响的华人学者回归祖国,中国博弈论领域的研究力量得到快速壮大,他们致力于数字经济中博弈问题的研究,取得了杰出的成就。我们相信,一流的实践加上一流的人才,必将在数字经济领域产生一流的博弈论基础理论,为中国数字经济引领全球做出重大贡献。

参考文献:

- [1] ROCHET J C, TIROLE J. Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*, 2003, 1(4): 990-1029.
- [2] TIROLE J. *Economics for the common good*. Princeton: Princeton University Press, 2017.
- [3] TIROLE J. Digital dystopia. *American Economic Review*, 2021, 111(6): 2007-2048.
- [4] ATHEY S, ELLISON G. Position auctions with consumer search. *The Quarterly Journal of Economics*, 2011, 126(3): 1213-1270.
- [5] JACKSON M O. *Social and economic networks*. Princeton: Princeton University Press, 2010.
- [6] JACKSON M O. The role of theory in an age of design and big data//LASLIER J F, MOULIN H, SANVER R, et al. *The Future of Economic Design*, 2019. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3031294.
- [7] KUMAR A, JAIN S. Proof of game (PoG): a game theory based consensus model//KARRUPUSAMY P, CHEN J, SHI Y. *Sustainable Communication Networks and Application*. Cham: Springer, 2020, 39: 755-764.
- [8] JONES C I, TONETTI C. Nonrivalry and the economics of data. *American Economic Review*, 2020, 110(9): 2819-2858.
- [9] TAN G F, ZHOU J J. The effects of competition and entry in multi-sided markets. *Review of Economic Studies*, 2021, 88(2): 1002-1030.
- [10] CONG L W, HE Z G. Blockchain disruption and smart contracts. *Review of Financial Studies*, 2019, 32(5): 1754-1797.
- [11] CHOI M, DAI A Y, KIM K. Consumer search and price competi-

- tion. *Econometrica*, 2018, 86(4): 1257–1281.
- [12] RHODES A, ZHOU J D. Consumer search and retail market structure. *Management Science*, 2019, 65(6): 2607–2623.
- [13] JIANG B J, TIAN L. Collaborative consumption: strategic and economic implications of product sharing. *Management Science*, 2018, 64(3): 1171–1188.
- [14] LI L F, XIAO E. Money talks: rebate mechanisms in reputation system design. *Management Science*, 2014, 60(8): 2054–2072.

Game Theory Foundation of the Digital Economy

YANG Xiaoguang¹, LI Sanxi², CAO Zhigang³, CUI Zhiwei⁴, QIAO Xue², WENG Xi⁵, YU Ning⁶, ZHANG Boyu⁷

1 Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2 School of Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China

3 School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

4 School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China

5 Guanghua School of Management, Peking University, Beijing 100871, China

6 Institute for Social and Economic Research, Nanjing Audit University, Nanjing 211899, China

7 School of Mathematical Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Game theory is an important fundamental theory to support and understand digital economy, and it plays a core role in the digital economy. Motivated by the new demand of the current digital economic development for game theory, this study elaborates five research directions of game theory in digital economy, namely “mechanism design of the allocation of basic elements of digital economy” “design and supervision of digital economy platform” “market design theory and application in digital economy” “large scale network game in digital economy” “dynamic competition and cooperation in digital economy”. The breakthrough of these research directions is conducive to China’s leading position in the research of game theory and to the high-quality development of digital economy.

Keywords: digital economy; game theory; mechanism design; market design; digital platform

Received Date: October 10th, 2021 **Accepted Date:** December 20th, 2021

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (72192800)

Biography: YANG Xiaoguang, doctor in science, is a researcher in the Academy of Mathematics and Systems Science at Chinese Academy of Sciences. His research interests include risk management and game theory. His representative publication titled “Recovery of nonperforming loans: stories behind data” is a monograph, published by the China Science Publishing & Media Ltd. in 2017 (ISBN: 978-7-0305-3071-4).

E-mail: xgyang@iss.ac.cn □