

莱茵哈德·泽尔滕对有限理性与实验经济学的探索*

李军林 崔琳 姚东旻

内容提要:莱茵哈德·泽尔滕(1930—2016)因对非合作博弈理论做出的奠基性贡献,于1994年与约翰·纳什,约翰·豪尔绍尼分享诺贝尔经济学奖。泽尔滕在深入研究基于完全理性的规范性博弈理论的同时,对“理性”进行了概念拓展和延伸,致力于用有限理性思想进行描述性理论探索以及广泛的实验经济学研究。博弈的规范性理论和描述性理论分析研究贯穿泽尔滕学术生涯的始终。本文旨在对泽尔滕在有限理性和实验经济学方面的思想进行梳理,分析其研究思路的延展过程,探索博弈论与有限理性的内在联系,以及泽尔滕如何将两部分思想进行整合,从而推进经济学基础性问题的研究。

关键词:莱茵哈德·泽尔滕 有限理性 实验经济学 诺贝尔经济学奖

莱茵哈德·泽尔滕(Reinhard Selten)是在博弈理论、有限理性以及实验经济学方面具有开创性意义与突出贡献的人物,于1930年10月5日出生在德国的布雷斯劳(Breslau)。2016年8月23日,在波兰与世长辞。泽尔滕于1957年获法兰克福大学数学学士学位,随后担任法兰克福大学萨尔曼(H. Sauermann)的助手长达10年时间,开始接触并投身于厂商决策理论和实验经济学研究,1961年获得法兰克福大学数学博士学位;1967—1968年作为访问教授执教于美国伯克利加州大学;1969—1972年任柏林自由大学(Freie Universität Berlin)经济学院教授;1972—1984年执教于德国比勒费尔德大学数理经济研究所;1984年起执教于波恩大学。由于对博弈理论的贡献,泽尔滕与约翰·豪尔绍尼、约翰·纳什一起分享了1994年度诺贝尔经济学奖。

泽尔滕的博士论文《n人博弈估值》(Valuation of n-Person Games, 1961)是对多人扩展型博弈的研究,这为他观察到纳什均衡的精炼问题奠定了基础。在1965及1975年的两篇重要文章中,泽尔滕提出子博弈完美纳什均衡(subgame-perfect Nash equilibrium)和颤抖手完美均衡(trembling-hand perfect equilibrium)的概念。通过对纳什均衡的精

炼(refining),排除不合理均衡,泽尔滕为博弈论中厂商的行为预测、解释重复博弈中合作的出现等提供了更为精确的思路。

早在担任萨尔曼助手期间,泽尔滕已经对西蒙(H. A. Simon)的有限理性(bounded rationality)学说和实验经济学产生了浓厚的兴趣。他的第一篇公开发表论文,与海因茨合作发表的《一个关于寡头垄断的实验》(Sauermann & Selten, 1959)就是关于实验经济学的论文。也正是在对寡头垄断实验与理论模型化的基础上,他提出了子博弈完美纳什均衡的概念。此后,泽尔滕对有限理性的理论逻辑和统一假说的建立付出了许多努力。泽尔滕于1984年到波恩大学后,开始潜心进行实验经济学的研究,以验证有限理性假说,并建立了欧洲第一个经济学实验室——波恩经济学实验室(Bonn Laboratory for Experimental Economics)。30多年来,泽尔滕及其研究团队在重复非合作博弈、合作博弈、演化博弈、拍卖理论、产业组织等众多领域,根据有限理性思想提出了独特的假说并进行实验检验。这些研究挑战并丰富了经典的经济理论,为实验经济学的建立、有限理性理论的发展做出了奠基性贡献。但是泽尔滕关于实验经济学和有限理性的研究往往因子博弈

* 李军林,中国人民大学经济学院、中国特色社会主义经济建设协同创新中心,邮政编码:100872,电子邮箱:junlin.lee@ruc.edu.cn;崔琳,中国人民大学经济学院,电子邮箱:cuilin321@ruc.edu.cn;姚东旻,中央财经大学中国财政发展协同创新中心,电子邮箱:yaodongminn@163.com。感谢匿名审稿人的修改意见,文责自负。

完美均衡等伟大发现而遭到忽视,因此本文重点对泽尔滕在有限理性和实验经济学方面的学术思想进行系统梳理和简要评述。

一、泽尔滕的有限理性思想概述

虽然新古典经济学关于理性与最优化的假设一直占有统治地位,但是难以对复杂的人类决策行为做出解释,而有限理性却可以提供更为合理的预测:受到认知能力和环境结构的限制,人们决策的过程一定是适应环境的结果。泽尔滕在1958年首次接触并立刻接受了西蒙的有限理性思想^①,开始了实验经济学研究,代表作如《一个寡头垄断的实验》(Sauermann & Selten, 1959)。此后,泽尔滕等(Sauermann & Selten, 1962)开始对有限理性下的决策过程做出解释,提出了抱负适应性理论(aspiration adaptation theory),这也是泽尔滕有限理性研究的开端。

与此同时,随着对动态博弈中纳什均衡的精炼和有限重复博弈研究的深入,泽尔滕更加明确地感受到有限理性对博弈论的挑战。一方面,基于完全理性和严密逻辑推断,博弈理论几乎是无懈可击的,但同时博弈论也是难以验证的科学,现实中无法将博弈论作为行为的指导。于是,他逐渐转向对心理因素和认知行为的探索,研究描述性(descriptive theories)博弈理论,尝试对有限理性理论展开系统性扩展。泽尔滕早期主要试图建立有限理性的决策模型,分析人类认知和决策的内在过程,这体现在学习方向理论(learning direction theory)、动机平衡理论(impulse balance theory)等方面。但是泽尔滕后来意识到,对于有限理性的研究不能离开实验经济学的佐证,因此将主要的精力转向实验经济学,在博弈论与产业组织理论等领域开展了大量的经济学实验。

(一) 连锁店悖论与人类决策过程

早在关于颤抖手均衡的研究中,泽尔滕(Selten, 1975)已经意识到,如果博弈的参与人足够理性,那么他们将不会犯错。然而,对于均衡的考虑应该涵盖参与人以一定概率犯错的情况,犯错误的概率取决于人类某些心理机制和隐藏的决策过程。

在对扩展型博弈的进一步研究中,泽尔滕(Selten, 1978)发现博弈理论的预测与现实不符,提出了连锁店悖论(the chain store paradox)。具体来看,根据归纳理论(induction theory),使用逆向归纳法(backward induction)可以推断出均衡时所有潜在竞争者都会选择进入,连锁店主会选择合作。但

这并不是行为人唯一的策略,根据阻吓理论(deterrence theory),连锁店主可以决定是否合作以及何时合作。当第 k 个竞争者观察到,前 $k-1$ 个竞争者都选择了进入且连锁店主都选择了对抗,那么除非 k 认为自己足够接近该博弈的终结点,否则他仍然会选择不进入。通过观察和对比可以发现,虽然归纳理论在逻辑上更为严密且容易理解,但是现实中更常见的是根据阻吓理论选择行动,这就是连锁店悖论的核心命题。进一步,泽尔滕(Selten, 1978)用一个有限次重复的囚徒困境博弈为例分析连锁店悖论,得到一种新的策略可能,即善意理论(benevolence theory)。善意理论将博弈参与者对彼此关系的认知加入考虑,认为这种心理认知会对决策行为造成影响。假设行为人的效用函数由两部分组成,一部分是基础效用,与得到的货币支付线性相关;另一部分是次级效用,与参与人对其与他人关系的认知有关。这种关系由重复博弈的历史决定,并影响基础效用^②。但泽尔滕认为次级效用假说下的两种可能的决策特点:内在承诺理论(internal commitment theory)^③与愤怒理论(anger theory)^④都不具有可置信性,从而无法解释连锁店悖论。

连锁店悖论的提出,让泽尔滕重新思考规范性博弈理论的行为解释能力,进而展开了有限理性假说下的人类决策行为研究。泽尔滕(Selten, 1978)提出了一个完全不同于理性假设下追求效用最大化决策行为的理论。由于人们时常面对不确定决策,期望效用无论在长期还是短期,都是无法完全观察的。只有过去得到的效用是真实存在的,并可以作为知识的来源和决策的基础。也就是说,人们总是根据历史的事后理性做出未来决策的调整,而不能准确预测到未来后再做出决策,这便是泽尔滕有限理论决策模型的基础。具体来看,他的研究回归到人类决策的内部过程,将决策阶段分为三个层次:习惯(routine)层次,即根据历史中的类似行为做出选择,无须经过有意识的努力;想象(imagination)层次,决策者需要想象不同的选择对未来可能走向的影响,进而选择可能带来相对优势结果的行为,但决策者不知道为何做出如此想象;归因(reasoning)层次,决策者进行有意识的努力,理性分析当前的决策环境,根据过去经验得到逻辑合理的归因假说,并做出选择。

在决策的三阶段中,决策者的“意识”虽然十分重要,但不必然直接带来决策结果,决策的形成存在一个无法被认知的“黑箱”。为此,泽尔滕(Selten, 1988)

进一步提出了决策形成论(decision emergence view)。该理论认为意识会比较不同替代方案的优缺点,但是不做出具体建议,而是将比较的结果完整呈现给人脑的某些隐藏机制。意识的作用就如同“国王的言官”,最终的决策是由“国王”也就是由可以超越现有认知的大脑部分做出的,意识的理性无法最终决定行动。这说明我们能够观察到的意识理性只是决策中的一部分,真正的决策是受更为高级而复杂的人脑机制决定的,但是泽尔滕并没有对这种机制做进一步的说明。

该理论完整地展示出泽尔滕对于有限理性下人类决策过程的思考。与此同时,泽尔滕认为还有很多其他因素会对决策的过程带来影响,如情感会增强人们对于某些短期目标的关注,如愤怒可能会导致短期的报复行为等。

(二)规范性博弈理论与描述性博弈理论的差异

规范性博弈理论是建立在完全理性假设基础上的经典博弈理论,存在严谨一致的内在推理过程。而描述性博弈理论则是以人类实际决策行为和有限理性假设为出发点,构建更加符合现实的博弈理论。泽尔滕(Selten, 1988)认为二者不应该被混淆,也并非完全对立。在一些简单的博弈中,基于有限理性的学习过程会收敛到均衡水平,与规范性博弈理论的预测相一致。泽尔滕曾在《演化、学习和经济行为》(1991)一文中,总结了贝叶斯主义者、经济学家、实验者、生物学家等对有限理性与贝叶斯理性的观点,体现了他对规范性博弈理论与描述性博弈理论关系的理解。

从二者的差异上看,规范性博弈理论建立在贝叶斯理性的基础之上,认为人类是理性的,追求利益最大化的。而描述性博弈理论的核心思想是从有限理性的角度解释决策行为,认为完全理性只是一种理想的状态,现实中我们每个人在做决策时并不总能保证前后一致(consistent),对最优的偏离很普遍。

对于理性的理解不同,是规范性博弈理论和描述性博弈理论的根本差异,在此基础上规范性博弈理论和描述性博弈理论对策略进行了不同的定义。在规范性博弈理论中的贝叶斯理性,是基于当前信念系统做出最优化选择的面对未来的事前理性。需要根据对方所有可能策略形成一个先验分布,并选择自己的最优策略。策略被定义为从信息集到行动的映射。在有限理性假说下的描述性博弈中,策略不再符合最优的标准。泽尔滕(Selten, 1990)创造性地提出了决疑(casualistic)策略和统一(unified)策

略两种策略形式。决疑策略指针对近期博弈的经验进行总结,并适应多样环境下的相机抉择;统一策略认为决策者会根据过去所有阶段的经验,针对未来可能出现的情况进行推断,进而做出决策。两者都是基于事后理性的策略,但统一策略对个人的理性程度要求更高。现实中受到有限理性约束的人们总会根据近期相关的经验做出决策,无法以过去的经验为基础建立一个完备的策略,局部调整相比于全局规划更加现实可行,因此决疑策略是有限理性策略的一般形式。在后期的古诺均衡实验中,泽尔滕验证了决疑策略的存在,除此之外,Cyert & March(1963)关于经理人价格决策的模型以及Becker(1967)关于期望形成的实验都直接证明了决疑策略的可行性。

从二者的联系上看,我们可以从生物演化的进程加以理解。生物的演化是受有限理性限制的最优化过程。举例来说,长颈鹿和大部分哺乳动物一样也只拥有七块颈椎。虽然从最优化的角度看,更多的颈椎显然更有助于支撑;但进化是约束下的调整适应过程,一旦颈椎增加,相应的肌肉与神经各方面都需要做出变化,这种复杂性构成了对进化的结构性限制。同样,人类的经济行为也会受到种种限制而脱离最优法则。但另一方面,如果行为选择总是偏离最优选择,根据自然法则,人类可能已经被淘汰,因此人类的社会集体选择也具有最优化意义。

二、有限理性论的假说与框架

泽尔滕不断尝试从决策过程、均衡概念和策略特征等各方面对有限理性和描述性博弈论的思想进行拓展,提出并发展了抱负适应性理论(Sauermann & Selten, 1962)、学习方向理论(Selten & Stoecker, 1986)和动机平衡理论(Selten et al, 2005)等理论框架,极大地丰富了现有理论。

(一)抱负适应性理论

假设一个人需要换一份工作,工作的选择会涉及专业匹配程度、薪资、福利等多个方面,这些都构成选择的目标。但是我们并不能清楚地知道自己的期望效用函数形式并综合多种目标进行效用比较,那我们实际上是如何做出决策的呢?抱负适应性理论可以为类似问题给出合理的解释。

泽尔滕与萨尔曼(Sauermann & Selten, 1962)首次提出抱负适应性理论,经过多年的不断深化,泽尔滕(Selten, 1998a)对抱负适应性理论进行了一次全面的总结。总体而言,抱负适应性理论为个体的动态决策从“事后理性”角度提出了不同于最优化的

解释。它避开了期望效用函数,提供了多元目标下更为贴近现实的决策模型,核心特征包括目标不相容性、局部偏好、定性预期决策、审慎乐观的搜寻态度、风险相关的目标变量等。具体来看:(1)在适应性理论中目标是多元的,存在决策目标向量,其中每一个分量都满足越多越好的性质。目标向量对应着抱负值(aspiration level),这是心理学中的概念,是指行为人根据过去的经验对未来的期待与目标。如果一个向量的每一个分量都不小于另一个向量,那么该向量更容易被选择,其他任何情况下,两个目标向量都是不可比较的。此即目标的不相容性(goal incomparability)。(2)抱负值决定了行为调整动机的强烈程度,调整方向取决于目标的紧要性程度(urgency order)。此处回避了新古典对于理性偏好完备性的假设——不需要在决策时对备选集中的所有目标进行完备排序,而是按照紧迫性次序进行局部偏好的调整。(3)抱负适应性理论将定量的预期转换为对当前状态可能变化方向的定性预期,即从初始抱负水平出发,根据抱负适应过程(aspiration adaption process)和中间抱负值(intermediate adaption level)的可行性(即至少可以被一个目标向量所满足的抱负水平)进行向上、向下或终止三种方向的行为调整,最终得到新抱负水平。(4)审慎乐观原则体现在在抱负调整的过程中,只要一种抱负水平不是完全不可行,决策者就可能达到该水平。在换工作的例子中,假如我们将目标简化为薪资与福利两部分,每份潜在的工作都对应着薪资与福利两个初始抱负值。假设决策者更看重薪资,当他发现可选择的多个工作薪资水平都高于初始抱负,他会对薪资的抱负值进行向上的调整,直到最后发现无法遇到提供更高薪资的企业了。另一方面,当他发现有两份工作薪资抱负水平相等时,他会倾向于选择福利抱负值更高的企业。若假设他找工作时行情不好,可行工作的市场薪资全部低于自己的初始抱负值,此时他会接受现实并调低薪资抱负水平。(5)在风险刻画方面,不同于冯诺依曼—摩根斯坦所建立的期望效用框架,抱负适应性理论认为现实生活中人们往往不能也没有必要对风险概率做出先验判断。如个人在进行投保决策时,会根据保费与保额之间的权衡进行决策,而对风险概率的估计作用甚微。因此,需要引入风险相关(risk-related)的目标变量以刻画不确定性,如某些法律规定的安全生产标准就是强制性的风险相关目标变量。

通过对以上五个特征的剖析,我们发现抱负适

应性理论更贴近人类的行为模式,但这种模式背后的驱动因素和行为调整过程又呈现何特点?泽尔滕(Selten, 1998a)以抱负适应性理论为基础,对影响行为调整过程和认知因素进行了分类分析。他提出驱动人类行为的力量来自于三类不同的神经过程:动机(motivation),即行动的目标和动力;适应性(adaptation),即对行动路径的调整;认知(recognition),指人类思维中自觉或非自觉的归因(reasoning)过程。在这里,适应性过程是人类决策行为中最为重要的一环。一个简单的例子是,人们根据对方的态度是否友好决定自己的态度和选择,即行为呈现出互动(reciprocity)与互相模仿的特点。这是一种典型的适应性调整方式,要求有意识地识别对方的态度,识别过程依赖于认知过程中的归因行为。通过适应性过程与认知过程的结合,我们可以更加逼近自己的行为动机,从而进行行为的调整。事实上,抱负适应性理论是一个十分复杂的有限理性模型,它涉及人类的认知行为、对外界环境的反应和归因能力,并呈现出多种贴近人类决策行为的内在特征。

(二)学习方向理论

泽尔滕(Selten, 1986, 1998c, 1999)对学习理论展开分析,提出并深化了学习方向模型。在后期的实验经济学研究中,他将学习方向理论进一步应用到拍卖、循环博弈、合作博弈等具体问题中,从而对学习方向理论进行验证。

学习博弈是博弈论中的重要分支,包括强化学习、信念学习、规则学习等(科林·凯莫勒, 2006)。大部分学习博弈模型的假设是有限理性,如强化学习理论认为参与人的决策受某种倾向的影响,与博弈历史中获得的满意程度正相关(维加—雷东多, 2006)。典型的支付总量模型(payload sum model)认为某种行动被选择的概率与支付总量成正比,学习的过程依赖于历史阶段的支付总量变化(吉仁泽、泽尔滕, 2016)。这里不需要行为人对复杂的环境信息做出反馈,只需要根据支付的多少做出策略改变。这虽然简化了问题,但却与现实情况相去甚远。因此,建立一个基于有限理性且符合人类行为规律和认知习惯的更为合理的学习理论,成为描述性博弈理论的重要任务,泽尔滕对此做出了重要贡献。

泽尔滕最早关注学习理论,是在《有限序贯囚徒困境超博弈中的终止行为》(Selten & Stoecker, 1986)一文中。泽尔滕等将马尔科夫学习模型(Markov learning model)^⑤应用到有限囚徒困境超博弈^⑥中,针对终止行为的决定因素和特点建立模型并与实验

结果相比较。在实验中,35个被试者都参与到25个不同的囚徒困境的超博弈中,每个博弈重复进行10轮,对手是匿名轮换的。由于双方事前知道博弈将会重复进行固定的次数,按照经典的囚徒困境博弈分析,该有限的超博弈应该存在非合作均衡。但实验的结果与此预测相悖且更为复杂:具有博弈经验个体^①的典型行为包括前期的合作以及接近博弈尾声时的不合作。一旦一方偏离合作,那么博弈将保持非合作状态直到结束。

如何解释这种现象呢?从完全理性的角度考虑,有人提出可能是因为被试者对合作的评价超越了金钱的激励,但这无法解释最后的合作偏离。Kreps & Wilson(1982)认为行为人关于对手的信息存在微小的不确定性,导致策略变化。但这种理论对没有经验的被试者同样合适,因此无法解释先合作后对抗的行为。因此,泽尔滕等(Selten & Stoecker,1986)提出在解释时不应该忽略人类的有限理性。他们假设被试者都会被实验报酬所激励,但与基于完全理性的规范性博弈理论不同,并不假设参与者追求个人收益最大化。根据马尔科夫学习模型,个体偏离的动机和概率取决于博弈的历史和经验。在该实验中,行为人与人之间存在着互动,当观察到对手的偏离时间点时,被试者会向前或向后调整自己的偏离时机:如果对手早于自己或与自己同时偏离,预期到越早偏离收益可能越大,那么下一期,被试者将会提前偏离;反之,如果对手晚于自己偏离,他将会在后期中延迟偏离。这种基于经验、环境和对手行为的调整与模仿,其实已经蕴含着学习方向理论的思想。

泽尔滕(Selten,1998c)首次完整地提出了学习方向理论的思想,这是一种基于重复决策和有限理性的定性学习理论。在重复决策任务中,假设在有限期 $t=1, \dots, T$ 中,行为人需选择一个参数 p_t ,并在每期结束后基于选择结果对上一期如何选择会更好进行因果推断。这些信息反馈带来的调整遵循事后理性(ex-post rationality)的原则:若上一期选择 $p < p_{t-1}$ 时结果更好,那么 $p_t \leq p_{t-1}$;反之,若 $p > p_{t-1}$ 时结果更好,那么 $p_t \geq p_{t-1}$ 。事后理性是一种有限理性,是“关于什么本该被做得更好的分析”。总体而言,学习方向理论是基于经验的决策,而非事前理性(ex ante rationality),不需要对未来做出推断。学习方向理论具有“改进倾向”(improvement orientation)的性质,是对已有支付的反事实归因,对更优行为方向的搜寻。过去已得的支付与反事实的可行支付差异是激励行为人决策的主要因素。该理论更

加关心行动调整可能带来的支付增加,而非强化学习理论中强调的每次选择得到的支付多寡。相比之下,学习方向理论更加符合人们真实的决策行为,在面对重复的社会决策环境时,我们会对过去的行为进行评价,从而总结经验教训,作为今后行为的参照。“前车之鉴”“以史为鉴”“前事不忘后事之师”等,就是学习方向理论的有益应用。

泽尔滕(Selten,1998)提出的射手例子可以清楚地说明学习方向理论的基本思想。假设一个射手的目标是射中一枝树干,为此他进行多次尝试。如果因左偏而没有射中,下次瞄准会向右调整;反之,则会向左调整。或者射手根本不会调整瞄准方向,因为他可能将此归因为暂时性的外生因素影响,如刚好吹来一阵风。这个例子并不只是射手反复试验的经验结果。基于对世界的持续认知和信念更新的反馈信息和归因过程,射手得到上一次如何做更容易射中的推断,从而决定了持续学习的方向。

虽然学习方向理论是基于事后理性对决策和行为的弱预测,但是在若干项实验中都得到了验证。泽尔滕等(Selten et al,2005)列举了1986—2005年学习方向理论应用方面的12篇文章,话题包括但不限于拍卖、讨价还价、囚徒困境、最后通牒博弈等。如泽尔滕(Selten,1998c)关于一级密封拍卖的实验发现,当被试者出价并得知对方行为和最终结果后,会改善自己的行为方向。具体来说,假设最终的成交价是 P ,那么出价高于 P 的行为人在后轮的表现中将有所收敛,而出价低于 P 的行为人会转向更具有侵略性的策略。这符合学习方向理论的基本预测。除此之外,泽尔滕等(Selten et al,2005)用学习方向理论解释了赢者诅咒现象,并在完全信息混合 2×2 博弈下对基于动态学习模型的五种不同均衡概念进行比较(Selten & Chmura,2008)。这些研究都是对学习方向理论的进一步应用和验证。但是,学习方向理论也存在不足:它只能提供定性的行为分析,对于行为调整的具体概率和范畴都无法进行定量的说明。为了解决这个问题,泽尔滕等(Selten et al,2005)提出了动机平衡理论(impulse balance theory)。

(三)动机平衡理论

动机平衡理论(Selten et al,2005)是对学习方向理论的定量描述,也是对有限理性下博弈均衡概念的探索。动机平衡理论主要基于这样的假设:根据事后理性推断上一期可能得到的支付越大,那么下一期行为调整的幅度和概率就会越大。这就为学

习方向理论的定性预测增加了定量的解释,可以应用在行为人对同一个参数进行多期重复决策的情景。

在规范性博弈理论中,均衡的概念是以纳什均衡为基础的:求解参与人的最优反应(best response),保证双方没有动机偏离均衡,我们可以用不动点定理证明纳什均衡的存在性。而在描述性博弈理论中,均衡概念是动态调整中的平衡点。从这个意义上,泽尔滕等(Selten et al, 2005)提出存在唯一的动机平衡点(impulse balance point),使得向上或向下调整行为的动机同样强烈,因而学习过程的稳定解分布区间将在动机平衡点附近浮动。向下调整动机(downward impulse)出现在选择更低的参数会带来更高的利润时,而向上调整动机(upward impulse)是描述选择更高的参数可带来更高利润的情况。泽尔滕等(Ockenfels & Selten, 2005)在一项拍卖的实验中,用理论模型和实验证据证明存在唯一的出价 x ,使得买家向上与向下调整出价的动机刚好一致,即动机平衡点的存在性证明。

动机平衡理论是对传统均衡理念的创新。首先,它是基于事后理性的,出于对过去经验的总结,得到可能的更优行动方向。如果某个选择、某种决策可使行为人正好处于调整动机无差异的状态,就是均衡策略。此时均衡不仅是博弈双方的策略性互动,更是个人调整行为动机的结果。但是动机平衡理论也存在一些不足,它假设行为人对向上或向下调整动机的心理感受是相同的,赋予相同的比重,现实中往往不是如此。以拍卖为例,向下调整意味着可能无法获得商品,相比于向上调整可能带来的损失,对于某些买者来说向下调整的风险更大。因此,泽尔滕等(Ockenfels & Selten, 2005)进一步发展了动机平衡理论,对向上与向下调整的动机赋予不同比例,建立了有权重的动机平衡均衡。为了比较不同情境下的均衡合理性,泽尔滕等(Selten & Chmura, 2008)还用标准的完全信息 2×2 博弈实验结果比较了五种混合均衡的预测性:纳什均衡(Nash equilibrium),随机最优反应均衡(quantal response equilibrium)^⑧,行动样本均衡(action-sampling equilibrium)^⑨,支付样本均衡(payoff-sampling equilibrium)^⑩,动机平衡均衡(impulse balance equilibrium)^⑪。通过对 12 个博弈超过 200 轮的实验,对比五种均衡概念的结果发现,动机平衡理论的预测能力是最强的,而纳什均衡的预测能力是最弱的,进一步验证了动机平衡均衡的存在性和合理性。

(四)公平与合作

合作是人类社会的普遍行为,也是规范性博弈理论试图解释的重要现象。以囚徒困境为例,在单次博弈中,双方出于个人最优的选择却不是社会最优的结果。从整个社会福利来看,合作将带来更好的结果,将囚徒困境重复进行有限次,合作解将有可能被选择。我们可以证明,在无限次博弈中,基于背叛惩罚的触发策略是子博弈完美纳什均衡,如果不出现背叛行为,双方将一直合作下去直至无穷期。

从有限理性与描述性博弈的角度能否对合作给出解释?什么是合作的目标?泽尔滕等(Selten et al, 1997)进行了一个双寡头下的非对称信息古诺竞争策略实验,实验超过 20 轮,观察到参与人不同的策略并进行分类总结。实验结果发现,在决策时,参与人并不是依据个人最优准则选择行动的,而是出现了明显的追求“公平”效应:有经验的被试者总会选择合作。这不同于规范性博弈理论中的合作现象,需要从有限理性的角度给出相应的理论解释。

因此,泽尔滕(Selten, 1990)全面阐述了有限理性下的合作,定义了合作的目标和可能达成合作的策略。合作的目标被定义为“理想点”(ideal point),它刻画了双方基于公平标准的一对选择,参与人的策略及收益围绕理想点上下做往复运动,最终达到合作。那么如何达到理想点,从而促进合作的实现?以针锋相对策略(measure-for-measure),即参考对方的行动是更接近理想点还是远离理想点,而采取相同方向、相同程度的行动。假设对手的行为向自己的理想点偏离,如在古诺竞争中,降低产量从而使总收益接近于合作值,那么行为人自己也会选择降低产量作为回报。反之,如果对手行为向远离合作的方向偏离,则收益也会远离合作值。这与以牙还牙(tit-for-tat)策略十分类似。在信息对称下的囚徒困境超博弈中,两者可以等同,而面对信息不对称的古诺竞争,针锋相对的策略更具有一般性。

到达理想点并形成合作必须根据公平准则来决策,那么如何定义“公平”(fairness)?泽尔滕(Selten, 1990)认为一般公平原则表现为各种具体博弈中的等量分配原则、比例分配原则等,且待分配的奖励(或待分担的成本)是可观察的。同时,泽尔滕与纳什(Nash & Selten, 2012)指出,由于博弈双方的权力大小不同,大部分情况下只能达到相对公平——权力高者,得到更多的份额。但事实上,如果只有两方博弈,平均分配有时更有效率。举例来说,假设权力不同的两人平分 100 元,高权力者当然可

以主张更高的份额,但谈判会带来交易成本;相反,低权力者认同高权力者至少得到 50 元,若此时二人平均分配,几乎不需要付出任何交易成本,且更有利于建立长期合作。

总之,用理想点和针锋相对策略解释合作,无须按照贝叶斯方法,可以根据信念系统对对手的行为进行预测,以便最大化自己的利润。事实上,实验的结果总是发现,行为人并不是被动的适应对方的行为,以对方的选择为约束去最大化自己的行为,恰恰相反,他们尝试用自己的行为影响对方。因为在重复博弈的过程中,历史、声誉、行为的模仿都是十分显著的决策影响机制。

事实上,泽尔滕早期的研究主要集中在对有限理性统一理论构建方面,可他逐渐意识到,纯粹理论的猜想虽然能够为有限理性提供一些有益而抽象的哲学洞见,但是无法对经济行为做出具体解释。为了对有限理性进行描述性的验证,泽尔滕认为实验经济学是唯一的方法。

三、泽尔滕的实验经济学研究

泽尔滕自与萨尔曼合作发表《一个寡头垄断的实验》(Sauermann & Selten, 1959)一文以来,在他漫长的学术生涯中,有关实验经济学的文献几乎占所发表文献的 2/3。尤其在尝试建立有限理性的理论决策模型后,泽尔滕强烈地意识到只有通过实验经济学的方法才能够对有限理性下的人类决策行为进行验证。他将实验研究和方法论研究应用在博弈论、产业组织理论以及许多社会实际问题中,创建并完善了实验经济学的研究范式,其中主要的研究包括以下方面。

(一)对有限理性假说的验证

泽尔滕进行实验经济学研究的一个主要想法就是对有限理性所预测的决策行为进行验证。泽尔滕等(Selten & Stoecker, 1986)通过有限次的囚徒困境超博弈的实验对学习理论进行了验证,发现有经验的参与者将会一直选择合作直到他们认识到博弈接近尾声。对于不确定性、情绪性决策和动机平衡理论的验证则可参见泽尔滕等关于机会吸引力的研究(Selten et al, 2000)。他们设计了一个彩票购买实验,将决策过程划分为“支付实现前”与“支付实现后”两部分,发现决策者的情绪很可能对决策和结果产生影响。更为重要的是,他们借此讨论了来自机会的吸引力作用:在进行决策时,被试者希望找到不同动机之间的平衡点。支付实现前,决策者对彩票

可能带来的收益抱有一种兴奋和激动的情绪,类似于一种赌徒的心态,从而带来了不同于冯诺依曼和摩根斯坦凸性效用函数的决策特征。

(二)产业组织理论的实验验证

实验经济学最集中的应用领域之一就是产业组织理论。泽尔滕等应用实验经济学的方法对古诺均衡、消费者行为、卡特尔的规制、拍卖等话题进行了广泛的验证和研究。

1. 古诺均衡的实证检验。古诺均衡作为纳什均衡的最早形式,始终没有进行实证的检验,一个重要的原因是成本函数等都无法被充分观察。泽尔滕等(Selten et al, 1997)通过设计“策略方法”(strategy method),让被试者根据自己过去的博弈经验设计并报告自己的策略,得到可验证的方法从而对古诺模型进行验证。实验发现在重复的古诺竞争中,最初大家都会选择合作,直到后期的几轮博弈,可能会出现不合作的行为。与产量竞争类似,在价格竞争中也存在着模仿和合作的倾向。泽尔滕等(Selten & Apestequia, 2005)设计了一个位置博弈下的价格竞争实验,将 N 个对称的厂商安置在一个圆上,消费者的位置随机分布,发现消费者的购买行为受到模仿动机的影响并倾向于合作。

2. 卡特尔规制。对于已经形成的卡特尔,政府可能会实施一种巧妙的规制策略——宽容条款,鼓励互相揭发,揭发者可以争取宽大处理。但是这种政策是否有效果呢?泽尔滕等(Apestequia, Dufwenberg & Selten, 2007)通过实验发现,互相告发的政策事实上是一种惩罚工具,反而可能增强卡特尔内部的信任和腐败,对首告发者的奖励越高,这种副作用越大。相反,如果对首告发者不提供奖励,只是免于处罚或者更低的激励,将会有助于卡特尔的瓦解。

3. 拍卖理论与机制的解释。泽尔滕对拍卖中的行为模式进行了广泛的实验经济学验证,如过度出价与赢者诅咒等现象。具体来看,泽尔滕等(Neugebauer & Selten, 2006)认为,如果拍卖后只披露赢者出价,那么基于这种信息反馈规程,很容易带来经常性过度出价行为。与此同时,泽尔滕也对拍卖机制的设计进行了研究。如泽尔滕等(Abbink et al, 2002)以德国 DCS-1800 拍卖为研究对象,通过实验对频谱拍卖设计和策略进行分析;泽尔滕等(Abbink et al, 2005)还对英国 3G/UMTS 拍卖的具体方案设计进行对比实验分析,研究发现,当拍卖参与者变得有经验之后,英式与荷式拍卖机制下的收

益差异逐渐消失。

4. 企业内部的晋升与员工行为。企业内部的竞争在理想情况下能够促进员工提高生产率。但无法避免的是,员工可以通过陷害其他人从而提高自己的相对排名,增加晋升成功的概率,也就是我们理解的办公室斗争。泽尔滕等(Harbring et al, 2007)用塔洛克竞赛成功函数(Tullock contest success function)建立理论模型并用实验的方法分析了被试者之间的竞争行为与阻碍行为,发现阻碍行为与竞争者的类型相关。如果企业能够有效地揭露阻碍者,将会大大减少阻碍行为,使晋升更加公平,但是也带来了报复行为。

(三)对规范性博弈理论的验证

使用实验经济学的方法对规范性博弈理论进行检验也是泽尔滕的一项重要工作,包括对博弈均衡的检验、合作博弈等话题的验证。

关于三人合作博弈,泽尔滕(Selten, 1979)对配额博弈谈判的非合作模型中的联盟概率进行了研究,除此之外还有关于三人配额博弈中的讨价还价(Selten & Kuon, 1993)和需求承诺行为(Selten et al, 2003)等,并建立了统一的框架。泽尔滕等(Selten et al, 2002)提出,三人博弈的基础是需求承诺模型,它的本质是一个完美信息的扩展型博弈。其中每个子博弈都存在一个中性均衡(neutral equilibrium):每个信息集上的最优都有相同的概率被选择。能力最强的决策者首先主张自己的配额,并从剩下的两人中以1/2的概率选择一个参与人进行联盟。对于能力最低的第三个人来说,为了获取更高的利益,他必须承诺一些利益给前两人以形成联盟。实验发现,需求承诺模型对三人非合作博弈下的联盟谈判行为具有较强的解释力。与此同时,泽尔滕与纳什(Nash & Selten, 2012)还重点关注了权力转移对于合作博弈的影响。他们通过实验对有限重复的三人合作博弈进行研究。假设每个参与人拥有不同的权力,并可转移给他人,拥有权力者有权分配联盟收益。结果发现,从长期看,联盟收益分配者(代理人)面对短期激励(不均等的联盟分配)与长期合作收益之间的权衡取舍,参与人之间的收益差别微乎其微,大部分情况(80%)都能够达到平均分配。

泽尔滕的实验经济学研究也为进一步理清规范性博弈理论与描述性博弈理论关系提供了更为深刻直观的启示。泽尔滕等(Selten et al, 2003)通过对渔夫博弈的实验检验和理论预测,发现非合作序贯均衡、核、公平效用模型和沙普利值等理论对博弈行

为的预测是互斥的,无法完全解释决策行为。因此提出在有限理性的框架下,区分合作与非合作博弈的意义不大,一个更有益的工作是建立起两种理论之间的桥梁。

(四)对具体社会问题的实验研究

除了对博弈理论、有限理性思想、产业组织理论的实验验证外,泽尔滕也对很多社会实际问题进行研究,包括路线选择行为、医疗支付体系、投资行为的性别差异等。对通勤者的路线选择行为研究,泽尔滕等(Selten et al, 2007)设计了两种不同的路线,让18个被试者在M(主路)和S(辅路)之间进行选择,其中M的容纳力更强。值得注意的是,通勤者对于路线信息的反应有所不同,信息反馈可能减少选择的波动性,但是未必带来更高的效用。实验发现,被试者有两种典型的选择:直接反应(direct response),即如果上期选择的路带来的个体效用较低,行为人会倾向于换一条路;相反反应(contrary response),上期选择的路况越好,下期越容易更换道路,因为预期到大家都会了解这条路的路况,从而产生拥挤效应。

另一项典型的研究是泽尔滕等(Schmidt, Selten & Wiesen, 2011)针对支付体系对内科医生行为影响的实验。实验以医学院的学生为主要参与人,分析按服务收费(FFS)、按人头收费(CAP)等激励对医生医疗服务提供的激励。在实验中,医生选择为病人提供的医疗服务数量决定了自己的利润和病人的收益。结果发现,医生医疗服务的提供质量是受支付系统激励影响的。医生在CAP下相比于FFS少提供33%的医疗服务,在FFS下有过度医疗的现象。更为重要的是,在FFS下,医疗服务需求越高的病人得到的健康收益大;而在CAP下,健康需求比较低的人得到的健康收益越大。

性别对于决策的影响也是一个经常被提及的话题,泽尔滕等(Hohnisch, Pittnauer & Selten, 2014)通过实验经济学的方法研究了不确定性下的性别决策差异以及信息可得性问题。被试者需要做资本存量组合决策,但可能存在潜在的经济危机(不确定性)。实验发现,当行为无法拥有同组行为人的商业信息时,男性相比于女性明显更容易接受高风险的投资,但是这种差异在信息可得时将不再存在。因此,实验经济学为不确定性下的决策提供了新的思路:在不确定决策下,对社会环境的认知可以成为个体决策的重要影响因素,将社会环境和决策者效用函数结合起来可能会成为实验经济学研究的新

趋势。

(五) 实验经济学方法论

泽尔滕对实验经济学的方法论也有涉及,提出了二次打分规则的公理特征(Selten,1998),为实验经济学中不同预测理论的合理性提供一种可行的判断标准。举例来说,假设我们想要比较两类不同的学习理论,且它们可以对试验中的所有选择进行概率性预测。一种可行的方法是根据可观察行为发生的概率作为理论预测成功程度的测度,这就是线性打分法则。而二次打分规则作为一种激励相容的评价体系是对线性打分法则的扩展。二次打分规则的最低要求是保证正确的理论得分最高,此时理论预测得分是对预测结果概率分布与实际结果之间的偏离程度的反应。

四、有限理性与实验经济学研究的新方向

泽尔滕在进行有限理性理论和实验经济学研究的后期,对其发展进行了许多反思。有限理性思想从20世纪50年代就已存在,且近20年实验经济学的发展为该领域提供了许多有趣的结论,对传统新古典经济学的基础观点——理性经济人对效用最大化的追求提出了切实的挑战。但遗憾的是,有限理性思想却始终没有建立起一个能够与理性人假说相媲美的统一的替代性理论,这就导致有限理性研究进展缓慢,对经济学主导范式的改进作用甚微。为了进一步发展有限理性,泽尔滕等(Harstad & Selten,2013)提出了一些问题和方向,主要包括以下方面。

首先,确定有限理性理论的适用范围。新古典的分析框架兼具抽象性和统计上的精确性,最优化的工具基本可以用于所有关于人类行为的话题,比如厂商、消费者的决策、政治选举、毒品犯罪等,也就是我们常说的“经济学帝国主义”。但是有限理性的理论却没有统一的行为假说和明确的应用范围,这大大限制了有限理性的发展。其次,有限理性缺乏内在一致性,从而在教学和传播方面造成了困难。第三,新古典的分析框架可以解释经济驱动力,也就是进行比较静态分析,分离出不同参数对经济行为的影响,但是有限理性无法区分具体的驱动因素,对动态行为变化过程的影响因素基本上也无能为力。第四,新古典经济学对均衡解概念的定义十分准确,如一般均衡、纳什均衡等。因此有限理性理论需要创建与具体应用性质无关的统一均衡解的概念,并考虑如何用实证计量的方法验证有

限理性假说。

同时,泽尔滕等(Harstad & Selten,2013)也指出,基于有限理性的新古典经济学框架和有限理性及实验经济学的思路并不是完全对立的,而是可以互为补充的。如动机平衡理论很可能可以解决经典经济学理论中的加总难题。该理论假设人们的行为遵循一致的事后理性调整方式,避免了对不同人的效用的比较,从而可以对市场中的一方整体行为提供可预测的证据。事实上,将新古典经济学中的定量问题与有限理性理论中的定性观察结合起来,将会对人们的认知、决策甚至经济学基础的再构建产生重大的影响。但是这项工作目前来看还是分离的,整合是一项复杂的工程。

五、结语

毫不夸张地说,泽尔滕是将博弈理论和有限理性思想结合并取得杰出成就的第一人。他的研究变化过程就是从有限理性角度为博弈理论预测进行补充的过程,推动了博弈论乃至整个经济学的发展。其主要贡献总结如下:

1. 有限理性理论模型的扩展。泽尔滕提出并深化了抱负适应性理论(Sauermann & Selten,1962)、学习方向理论(Selten & Stoecker,1986)、动机平衡理论(Selten et al,2005),对推进有限理性统一化假说和公理的建立做出了重要的贡献,并拓宽了人们对于理性决策的认知。

2. 对实验经济学应用领域的扩展。泽尔滕坚持以实验经济学方法对有限理性思想进行验证和补充(Selten & Stoecker,1986; Selten et al,2000)。同时,对规范性博弈理论框架下的诸多话题,如合作博弈(Selten & Kuon,1993; Selten et al,2003)、拍卖(Selten et al,2005; Neugebauer & Selten,2006)等进行了实验经济学研究,丰富了实验经济学的理论与研究内容。

3. 深化了对博弈理论的理解。泽尔滕将完全理性与有限理性进行整合,从动态学习的角度解释了人类基于事后理性的行为模式,为理解博弈行为提供了新的方向。泽尔滕让博弈理论逐渐贴近现实,但这只是走出了第一步。对于有限理性的探索还在继续,两类理论的结合必将给关于经济学本质的认识带来极大的启发。

注:

①西蒙认为传统微观经济学的理性人假设和效用最大化的目标只能适用于确定性决策,解释相对稳定的经济行为。

现实生活中的决策行为很少能够满足完全理性的条件。由于决策者个人技能、知识结构、决策信息完备程度的不同,人们无法对决策结果有着完全的了解和预测。尤其在面对不确定性问题时,一定程度上决策涉及主观判断。这就是有限理性思想的核心内容,此时人们不再寻找最优选择,而是遵循“满意”原则,只要该选择符合或超过最低限度要求的标准即可。

- ②在有限重复博弈的囚徒困境中,假设我们将行动分为友好和敌意两种,友好的行为是更容易被接受的,人们不想被看成“自私”并让他人失望,这可以对合作行为做出解释。
- ③内在承诺力量是指,如果一个人一旦做出决策,那么任何改变都会带来负效用。因此如果在博弈的前 n 期连锁店主都选择了对抗,那么即使在博弈接近尾声时,选择合作带来的收益更大,连锁店主也可能会继续选择对抗。
- ④当他看到即使根据威慑理论在前 n 期选择了对抗,还是有潜在竞争者选择进入,连锁店主出于愤怒仍然会选择对抗。
- ⑤马尔科夫学习模型认为参与人会根据上一阶段的超博弈经验决定是否改变自己的动机以在该期偏离合作,偏离的概率取决于上期的经验。
- ⑥超博弈(supergame)是泽尔滕多数研究的立足点,“如果同一种标准型博弈由相同局中人结合重复进行有限次或者无限次,就会形成原始标准型博弈的超博弈”(Selten, 1973)。他将其解释为一种有规律的有限时间序列上的重复博弈,参与人可以在每次重复中改变自己的行为,并预期对手在下一期做出反应。更进一步,泽尔滕还提出了“惯性超博弈”(inertia supergame),参与人改变行为付出的成本远高于当期可能获得的收益,但是如果预期未来所有阶段的收益都将提高,参与人将会忽略改变行为的成本,从而完全开始新的行为模式。
- ⑦在这里指经历了超过 20(含 20)轮以后的参与人,可以用前 20 期博弈中估计的行为人决策参数对最后 5 次的选择进行预测。
- ⑧由 McKelvey & Palfrey(1995)提出,假设参与人根据对手的行为产生随机的最优反应。
- ⑨该均衡是说参与人会根据对手的 7 次行为建立一个“行为样本”,并据此选择自己的策略,可能是一个纯策略或混合策略(2 种纯策略的混合)。在 Osborne & Rubinstein(1993)关于大型投票博弈的样本均衡研究中有所应用。
- ⑩由 Osborne & Rubinstein(1998)提出,对于行为人的每个纯策略都有相同规模的样本,行为人根据两个样本的总支付水平,选择使支付水平更高的策略,如果两种样本的总支付相同,那么将以 $1/2$ 的概率选择两个纯策略,形成一个混合策略。
- ⑪在 2×2 博弈中,动机平衡下的均衡点具体满足:对于两个参与人来说,同时满足动机平衡等式。

参考文献:

费尔南多·维加-雷东多,2006:《经济学与博弈理论》中译

本,人民出版社。

- 吉仁泽莱茵哈德·泽尔滕,2016:《有限理性适应性工具箱》中译本,清华大学出版社。
- 科林·凯莫勒,2006:《行为博弈——对策略互动的实验研究》中译本,中国人民大学出版社。
- 莱茵哈德·泽尔滕,2000:《策略理性模型》中译本,首都经济贸易大学出版社。
- 李仁贵,2015:《诺贝尔经济学奖得主博士学位论文透视》,《经济学家》第 12 期。
- Abbink, K., B. Irlenbusch, B. Rockenbach, A. Sadrieh & R. Selten(2002), “The behavioral approach to the strategic analysis of spectrum auctions: The case of the German DCS-1800 auction”, *IFO-Studien* 48(3):457-480.
- Abbink, K., B. Irlenbusch, P. Pezani-Christou, B. Rockenbach, A. Sadrieh & R. Selten(2005), “An experimental test of design alternatives for the British 3G/UMTS auction”, *European Economic Review* 49(2):503-530.
- Abbink, K., R. Darziv, Z. Gilula, H. Goren, B. Irlenbusch, A. Keren, B. Rockenbach, A. Sadrieh, R. Selten & S. Zamir(2003), “The fisherman’s problem: Exploring the tension between cooperative and noncooperative concepts in a simple game”, *Journal of Economic Psychology* 24(4):425-445.
- Apuestegua, J., M. Dufwenberg & R. Selten(2007), “Blowing the whistle”, *Economic Theory* 31(1):143-166.
- Becker, O.(1967), “Experimentelle untersuchung der erwartungsbildung für eine zeitreihe”, in: H. Sauermann(ed), *Beiträge zur experimentellen Wirtschafts for schung*, Tübingen.
- Cyert, R. M. & J. G. March(1963), *A Behavioral Theory of the Firm*, Prentice Hall Press.
- Harbring, C., B. Irlenbusch, M. Kräkel & R. Selten(2007), “Sabotage in corporate contests: An experimental analysis”, *International Journal of the Economics of Business* 14(3):367-392.
- Harstad, R. M & R. Selten(2013), “Bounded-rationality models: Tasks to become intellectually competitive”, *Journal of Economic Literature* 51(2):496-511.
- Hohnisch, M., S. Pittnauer, R. Selten, et al(2014), “Gender differences in decisions under profound uncertainty are non-robust to the availability of information on equally informed others’ decisions”, *Journal of Economic Behavior & Organization* 108(C):40-58.
- Kreps, D. & R. Wilson(1982), “Reputation and imperfect information”, *Journal of Economic Theory* 27(2):253-279.
- Kreps, D. et al(2010), “Rational cooperation in finitely repeated prisoners”, *Journal of Economic Behavior & Organization* 32(4):613-619.
- Marschak, T. & R. Selten(1977), “Oligopolistic economies as games of limited information”, *Zeitschrift für die ge-*

- samte Staatswissenschaft* 133 (3):385—410.
- Marschak, T. & R. Selten (1978), “Restabilizing responses, inertia supergames and oligopolistic equilibria”, *Quarterly Journal of Economics* 92(1):71—93.
- Nash, J. F. & R. Selten (2012), “The agencies method for coalition formation in experimental games”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(50):20358—63.
- Neugebauer, T. & R. Selten (2006), “Individual behavior of first-price sealed-bid auctions: The importance of information feedback in experimental markets”, *Games and Economic Behavior* 54(1):183—204.
- Ockenfels, A. & R. Selten (2005), “Impulse balance equilibrium and feedback in first price auctions”, *Games & Economic Behavior* 51(1):155—170.
- Osborne, M. J. & A. Rubinstein (1998), “Games with procedurally rational players”, *American Economic Review* 88(4):834—847.
- Osborne, M. J. & A. Rubinstein (2003), “Sampling equilibrium, with an application to strategic voting”, *Games and Economic Behavior* 45(2):434—441.
- Rosenfeld, A. & S. Kraus (2012), “Modeling agents based on aspiration adaptation theory”, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 24(2):221—254.
- Sauermann, H. & R. Selten (1959), “Ein oligopoly experiment”, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* 115(3):427—471.
- Sauermann, H. & R. Selten (1962), “Anspruchsanpassungstheorie der unternehmung”, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* 118(4):577—597.
- Schmidt, H. H., R. Selten & D. Wiesen (2011), “How payment systems affect physicians’ provision behavior: An experimental investigation”, *Journal of Health Economics* 30(4):637—646.
- Selten, R. (1973), “A simple model of imperfect competition where 4 are few and 6 are many”, *International Journal of Game Theory* 2(3):141—201.
- Selten, R. (1975), “Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games”, *International Journal of Game Theory* 4(1):25—55.
- Selten, R. (1978), “The chain store paradox”, *Theory and Decision* 9(2):127—159.
- Selten, R. & R. Stoecker (1986), “End behavior in sequences of finite prisoner’s dilemma supergames”, *Journal of Economic Behavior and Organization* 7(1):47—70.
- Selten, R. (1979), “Coalition probabilities in a non-cooperative model of three-person quota game bargaining”, in: W. Albers, G. Bamberg & R. Selten (eds), *Mathematical Systems in Economics*, Meisenheim.
- Selten, R. (1988), “Anticipatory learning in two person games”, University of Bonn Discussion Paper, No. B—93.
- Selten, R. (1990), “Bounded rationality”, *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 146(4):649—658.
- Selten, R. (1991), “Evolution, learning, and economic behavior”, *Games and Economic Behavior* 3(1):3—24.
- Selten, R. (1998a), “Aspiration adaptation theory”, *Journal of Mathematical Psychology* 42(2/3):191—214.
- Selten, R. (1998b), “Axiomatic characterization of the quadratic scoring rule”, *Experimental Economics* 1(1):43—62.
- Selten, R. (1998c), “Features of experimentally observed bounded rationality”, *European Economic Review* 42(2—5):413—436.
- Selten, R. & B. Kuon (1993), “Demand commitment bargaining in three-person quota game experiments”, *International Journal of Game Theory* 22(3):261—277.
- Selten, R. & J. Buchta (1999), “Experimental scaled bid first price auctions with directly observed bid functions”, in: D. Budescu et al (eds), *Games and Human Behavior*, Erlbaum.
- Selten, R. & J. Apesteguia (2005), “Experimentally observed imitation and cooperation in price competition on the circle”, *Games and Economic Behavior* 51(1):171—192.
- Selten, R. & T. Chmura (2008), “Stationary concepts for experimental 2x2 games”, *American Economic Review* 98(3):938—966.
- Selten, R. et al (1997), “Duopoly strategies programmed by experienced players”, *Econometrica* 65(3):517—555.
- Selten, R. et al (1999), “Money does not induce risk neutral behavior, but binary lotteries do even worse”, *Theory and Decision* 46(3):213—252.
- Selten, R. et al (2000), “Experimental evidence for attractions to chance”, *German Economic Review* 1(2):113—130.
- Selten, R. et al (2002), “How to play 3x3-games: A strategy method experiment”, *Games and Economic Behavior* 45(1):19—37.
- Selten, R. et al (2005), “Learning direction theory and the winner’s curse”, *Experimental Economics* 8(1):5—20.
- Selten, R. et al (2007), “Commuters’ route choice behavior”, *Games and Economic Behavior* 58(2):394—406.

(责任编辑:李仁贵)

(校对:刘新波)