



复杂网络上的公共数据演化博弈与数据质量控制

刘文奇^{①②}

① 昆明理工大学数据科学研究中心, 昆明 650500

② 昆明理工大学理学院, 昆明 650500

E-mail: liuwenq2215@sina.com

收稿日期: 2016-06-05; 接受日期: 2016-08-02; 网络出版日期: 2016-11-09

国家自然科学基金 (批准号: 61573173, 61562050, 11561036) 资助项目

摘要 公共数据库是一种特殊的公共产品, 公共数据库数据质量控制是公共管理与数据科学交叉领域的基本问题. 公共数据库网络是具有物节点物理网络 (显形) 和公共数据博弈参与者的社会网络 (隐形) 的复合, 公共数据库数据质量是数据库技术与公共数据博弈演化的综合体现. 从公共产品管理的角度来讲, 当数据清洗技术不变时, 公共数据库的可用性是公共数据博弈合作演化的结果. 在中国公共数据库数据质量控制的模型体系基础上, 经过分析认为, 中国公共数据库网络是无标度的复杂网络, 中国公共数据博弈是这个复杂网络上的演化博弈. 通过构建中国公共数据的囚徒困境博弈和扩展囚徒困境博弈模型, 讨论了公共数据演化博弈的演化稳定策略的存在性. 进一步运用复杂网络理论建模分析, 认为无标度复杂网络上的公共数据博弈的合作者是可以生存的, 甚至可以通过强力惩罚或罚款所得归惩罚者拥有的措施使合作行为成为公共数据演化博弈的演化稳定策略. 建立了公共数据演化博弈的腐败子博弈模型, 分析认为, 数据稽查部门的权利可以导致公共数据博弈参与者合作行为生存, 而且当数据稽查部门的权利较大时将导致全面腐败. 最后, 经过讨论, 认为信息公开和媒体自由有助于限制公共数据稽查部门的权利, 同时有利于合作者和忠诚的执法者入侵, 从而使合作者生存的几率增加并提高公共数据库数据质量.

关键词 公共数据库 数据质量 公共数据演化博弈 演化稳定策略 奖励行为 惩罚行为 腐败子博弈

1 引言

数据战略已经成为国家战略的重要组成部分^[1]. 中国公共数据库数据质量控制已经成为政府提供有效的公共数据产品的关键^[2], 也是国家基础数据工程建设的重要环节. 尽管所有国家和社会组织都有公共数据管理的问题, 但是作为公共管理的一部分, 不同国家的公共数据管理机制不同. 也就是说, 公共数据的质量控制与社会组织形式密切相关. 中国有自己基本国情和比较独特的国家管理模式, 也称中国模式. 这种模式的显著特点是政府在社会管理和经济生活中的作用比较大, 市场和公民社会的力量处于发展之中, 企业和公众的自主意识还比较薄弱. 公共部门在社会运行中居于主导地位, 这

引用格式: 刘文奇. 复杂网络上的公共数据演化博弈与数据质量控制. 中国科学: 信息科学, 2016, 46: 1569–1590, doi: 10.1360/N112016-00114

决定了公共部门将提供更多的公共产品。公共数据库是指能为绝大多数个人和组织共同享用的涉及公共产品或服务的数据库。公共数据库源于公共产品供给和消费过程, 故公共产品的种类越多, 对应的公共数据库种类也就越多。比较有代表性的公共数据库包括国防数据库、公安司法数据库、教育数据库、医疗与卫生数据库、财政数据库、养老保险数据库、国家标准与质量技术数据库、居民身份信息数据库、不动产数据库、环境监测数据库、气象数据库、食品药品监督管理数据库、海关进出口数据库和基础地理信息数据库等。

公共数据库本身也具备公共产品的属性, 包括: (1) 非竞争性。边际成本为零和边际拥挤成本为零, 即增加一个人使用不会增加数据生产者的任何成本, 也不会增加其他使用者的任何拥堵成本; (2) 非排他性。任何人都不能独占专用数据库, 即任何人想阻止他人使用公共数据库就必须付出高昂的费用, 从而不能阻止他人享受这类公共数据产品; (3) 非分割性。公共数据库是在保持其完整性的前提下, 由众多的使用者共同享用的。

需要说明的是, 公共数据库和公共产品数据库是两个不同的概念。也就是说, 公共数据库本身的公共产品属性并不排斥数据库中可能存在私人物品数据和个人隐私数据。例如, 不动产信息数据库是公共数据库, 它可以广泛地被用于司法、反腐等公共产品供给, 但数据库中的数据却承载着包含私人住宅信息在内的私人物品信息。又如, 旅游稽查和公安部门收集的游客数据被广泛用于反恐、缉毒、灾害应急指挥等公共产品供给, 其中包括游客的住宿、餐饮、娱乐等个人消费数据, 这些数据纯属于私人数据。正因为如此, 公共数据库中必然包含大量的私人产品数据和个人隐私数据, 也包含公共部门的流程数据。由于公共部门本身也有部门利益, 公共部门的服务人员也会在提供公共产品过程中存在腐败和搭便车行为, 公共数据库中的数据关系和数据流的背后事实上是一种利益的博弈和利益的输送, 公共数据库的数据质量是技术手段和利益博弈的综合体现。

除了一般的公共产品的属性外, 公共数据库具有如下特性:

(1) 无形性。除了数据库运行的物理环境, 数据库的应用软件和数据库中的数据, 都是知识产品, 是无形的。

(2) 易复制。复制的成本几乎为零, 可以近似地认为, 在公共数据库这一公共产品供给和消费过程中滥用和侵占更容易发生。

(3) 背叛和搭便车零成本。在高阶搭便车者和腐败者存在的情况下, 公共数据的参与者的背叛行为(数据造假或瞒报)和搭便车行为的成本为零。

(4) 角色交叉。公共部门本身既是公共数据的提供者(包括依法发布数据、提供内部流程数据)也是数据稽查者, 在合作演化博弈中承担着共同惩罚者的角色, 故更容易产生搭便车和腐败行为; 公众也可能既是数据的提供者, 也是数据的使用者。

(5) 叠加性。公共数据库运行的物理网络(显形)和公共数据博弈参与者的社会网络(隐形)叠加, 在公共数据库演化过程中联合作用, 诸要素从技术架构和经济行为两方面影响公共数据库数据的质量和数据的可用性。

另外, 由于我国的国情与公共管理模式的变革、信息技术的发展水平和信息产品管理方式的内在特点, 中国公共数据库这一公共产品有其自身的特点: (1) 中国地域广阔, 人口众多, 公共数据规模巨大; (2) 数据标准化程度低, 导致数据种类繁多、条块分割、多源化、异构化, 信息融合难度大; (3) 业务关系纵横交错, 部门利益错综复杂, 导致公共数据库网络结构复杂; (4) 数据质量低下, 数据清洗难度大; (5) 数据立法严重滞后, 数据稽查不力; (6) 公共数据管理部门既是数据提供者又是数据稽查者, 腐败丛生; (7) 数据收集和管理过程中信息公开程度低, 媒体和社会监督严重缺位; (8) 在公共数据管理中对数据提供者的隐私保护措施不力, 导致参与者有抵触情绪和瞒报动机; (9) 对背叛行为的举报者

和惩罚者保护措施不够, 背叛者和腐败者感受不到惩罚的威胁。

公共数据库的形成和大多数信息技术和产品改进一样, 是一个演化的过程, 包括技术的升级换代, 数据的动态更新和运行模式的演进。更重要的是, 公共数据库及其背后的公共产品的管理是一个复杂的过程, 充满了利益的博弈, 由此带来公共数据管理的复杂性。我们把围绕公共数据库这一公共产品展开的博弈称为公共数据博弈。

由于公共数据库的参与者本身的利益诉求和他们之间的关系构成一个复杂社会关系网络。这种数据主体的社会网络与作为数据载体的物理网络相互叠加, 形成一个复杂的技术与管理杂合的数据网络。在这个网络上, 进行着数据的攫取、储存、传输和分析的同时, 伴随着围绕数据展开的公共数据博弈参与者之间的背叛与合作。这种博弈的结果成为公共数据库中数据的真假、缺失、时效和隐私保护等影响数据质量的非技术要素, 并最终从社会管理层面决定了公共数据库的可用性和生命周期。必须强调的是, 无论从技术的角度还是从管理的角度看, 真实可靠的公共数据的形成是一个漫长的过程, 是数据库软件演化过程、网络结构演化过程和参与者演化博弈相互交织在一起的复杂过程。其中, 公共数据博弈是公共数据库参与者围绕公共数据真实性展开的合作与背叛、忠诚与腐败的多阶段反复较量过程。所谓的公共数据库的非技术清洗^[2]本质上就是找到公共数据演化博弈的合作占优稳定策略的条件, 并进一步建构公共数据博弈中合作者和忠诚惩罚者的生存环境。由于现在的公共数据库都是在一定的物理网络环境下运行的, 数据库的运行是由政府主导且企业、公民和第三方组织等共同参与实现的。公共数据库的来源广泛, 包括各级政府的业务流程数据、官方统计数据、行政许可与审批数据、认证认可数据、依法强制要求企业和个人上报的数据、依法设立的监控数据、第三方机构的认证和技术资料、个人档案和公共安全的常态数据。这些数据的收集除了通过在政府的内网之外, 还需要通过外网和物联网并行攫取。例如, 环境监测数据需要通过国家的环境监测网、政府环保部门的业务网、企业的排污物台账和公众举报投诉信息等外网数据。

公共数据博弈的参与者包括: 数据的提供者、外部的惩罚者、内部的高阶惩罚者。他们分布在公共数据库物理网络的各个节点 (包括部分外网节点), 在受到物理网络运行规则和用户权限设置制约的同时, 利益关系错综复杂, 形成复杂网络上的演化博弈。迄今为止, 从技术上讨论数据清洗的文献众多, 但运用复杂网络上的演化博弈理论研究公共数据库数据质量控制的成果尚未见诸文献报道。文献 [2] 中的数据博弈模型只适应于纵向的博弈, 而且模型过于简单, 不能准确地反映出数据参与者之间的复杂关系和公共数据博弈的演化机理。自从复杂网络理论诞生以来, 复杂网络上的演化博弈就成为主流研究方向。针对公共产品的囚徒困境演化博弈的研究已经取得许多重要结果。从上述陈述中可以看出, 中国公共数据库作为公共产品具有自己的特性, 很多关于公共产品演化博弈的结果未必适合公共数据博弈。因此, 发展公共数据演化博弈模型对建构中国公共数据库数据质量控制具有重要的理论意义和应用价值。

2 基于物联网的公共数据库的网络体系结构

2.1 公共数据库的物理网络与参与者社会网络的融合

物联网将物理世界网络化、信息化, 对传统的分离的物理世界与信息空间实现互连和整合, 大大增强了人类与客观世界的交互。作为未来网络发展趋势, 物联网是一个基于互联网、传统电信网等信息承载体, 让所有能够被独立寻址的普通物理对象实现互联互通并融入传统的互联网从而提供智能服务的网络。它具有普通对象设备化、自治终端互联化和普适服务智能化等重要特征。物联网体系结构

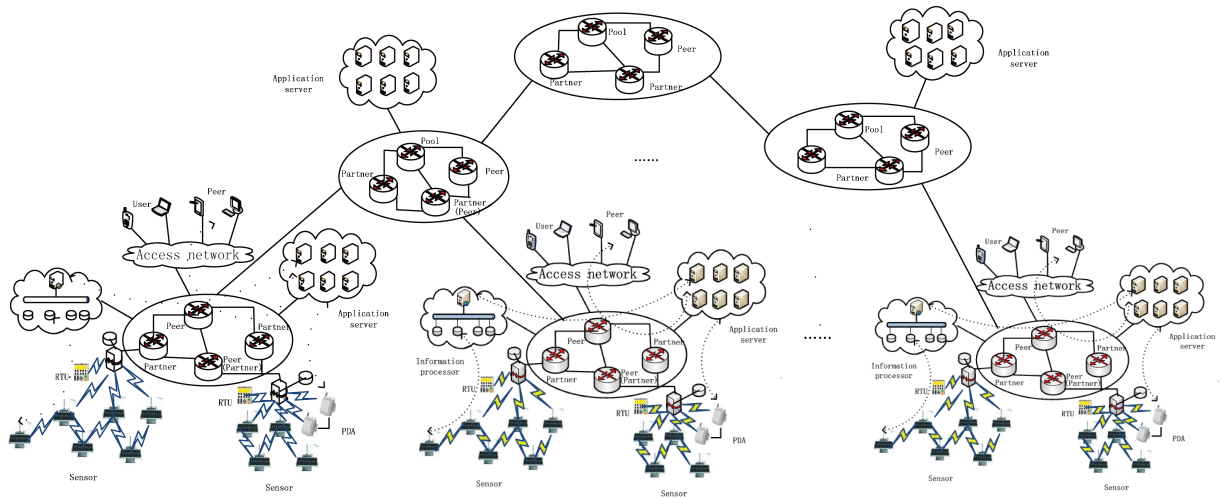


图 1 (网络版彩图) 具有三阶惩罚者的复合型公共数据库网络

Figure 1 (Color online) Public database complex network with 3rd-order punishers

是指物联网系统的组成及相互之间关系, 物联网体系结构的设计要遵循以下原则: 首先, 物联网必须能够与现有的网络进行互连与融合. 无论从硬件基础设施、软件应用系统还是用户方式方面, 互联网、传感网、移动通信网等现有网络都已深入人类生产、生活, 与现有网络兼容互通是物联网体系结构设计的基本要求之一. 其次, 物联网体系结构的设计须与未来互联网体系结构的设计在方向上基本一致. 针对现有互联网存在的一些问题, 下一代互联网的研究正在开展. 另外, 物联网体系结构须充分考虑物联网自身的重要特征, 特别是物联网中的网元能力差异性、网络环境动态性等特点. 马华东等提出了一种物联网体系结构 4 层模型, 即对象感控层、数据交换层、信息整合层和应用服务层, 并利用面向对象的方法对物联网体系结构模型进行了详细地刻画 [3]. 对于物联网系统中最为核心的网元互连问题, 借鉴未来互联网研究的理念, 文献 [3] 设计了支持强弱网元共存的物联网互连模型, 并提出了基于能力映射与任务迁移的弱网元与强网元互连机制.

随着大数据时代的来临和信息技术进步, 未来公共数据库产品的数据收集范围和应用领域会更加广阔, 逐步涵盖智慧城市、精准医疗、国土安全等, 在互联网基础上发展起来的物联网成为公共数据库运行的物理网络 (显形网络). 在中国公共数据库数据仓库模型架构基础上, 我们将公共数据博弈参与者的社会网络 (隐形网络) 嵌入到公共数据库物理网络中, 形成复合型复杂网络 (图 1):

处于上述网络中的公共数据博弈参与者是按网络结构层次进行划分的.

第 1 层是处于传感层的数据收集节点 (终端), 即物联网节点, 它们本身不参与数据博弈, 但是会使控制它们的数据所有者具有较大的度值, 因而使其所有者在数据博弈的初始阶段具有优势 (即具有较大的收益), 物联数据的所有者也成为惩罚者重点关注的对象.

第 2 层是初始数据的提供者, 是数据博弈的基本参与者, 也称作一阶数据博弈参与者 (如企业法人、自然人). 同时, 在一阶博弈中, 还存在局外人, 局外人可以在下阶段的数据博弈中参与进来, 也可以作为第三方惩罚者或围观者. 在背叛和渎职行为存在的公共数据博弈中, 数据提供者中也会产生个体惩罚者, 他们对其他数据提供的背叛行为实施举证或惩罚.

第 3 层是县 (县级市) 相关业务部门的二阶数据博弈参与者, 同时也是一阶数据博弈的强制惩罚

者. 处于同一层的还包括同级的第三方惩罚者. 由于网络的开放性, 局外人仍然可以作为局外惩罚者, 比如通过举报投诉使背叛者受到惩罚. 这一层数据博弈中, 数据提供者中同样会产生个体惩罚者.

第 4 层是市级 (州、厅) 相关业务部门的三阶数据博弈参与者, 同时也是二阶数据博弈的强制惩罚者. 处于同一层的还包括同级的第三方惩罚者 (如纪检部门). 由于网络的开放性, 局外人仍然可以作为局外惩罚者, 比如通过举报投诉使背叛者受到惩罚. 这一层数据博弈中, 数据提供者中同样会产生个体惩罚者.

第 5 层是省级 (部、局) 相关业务部门的四阶数据博弈参与者, 同时也是三阶数据博弈的强制惩罚者. 处于同一层的还包括同级的第三方惩罚者 (如纪检部门). 局外人仍然可以作为局外惩罚者, 比如通过举报投诉使背叛者受到惩罚. 这一层数据博弈中, 数据提供者中同样会产生个体惩罚者.

第 6 层是国家级相关业务部门的五阶数据博弈参与者, 同时也是四阶数据博弈的强制惩罚者. 处于同一层的还包括同级的第三方惩罚者 (如纪检部门、最高数据当局、立法部门、执法部门). 内部参与者和局外人中仍然可以产生惩罚者, 比如通过举报投诉使背叛者受到惩罚.

需要说明的是, 在公共数据库网络中, 存在一些特殊的公共数据博弈的参与者 (节点), 如个体惩罚节点 (包括举报投诉者) 和骑墙节点 (时而合作时而背叛). 个体惩罚者在公共数据库网络中虽然存在但在暴露之前不能准确标明他们所处的位置, 只能笼统地标注在 Access Network 中 (见图 1); 骑墙者则是稳定的数据提供者, 他必然存在于公共数据库网络的某个层级内, 只是他的合作态度不稳定, 即时而提供真实数据时而瞒报或假报数据.

我们之所以把公共数据博弈参与者的网络称为隐形网络, 是因为节点 (参与者) 之间存在利益关系或其他社会关系但未必存在物理连接, 甚至没有间接的物理连接, 如按《食品安全法》上报生产数据 (如添加剂使用情况、操作人员身份数据等) 的食品生产企业之间经过质监部门信息中心的防火墙和用户权限设置已经处于逻辑隔离. 作为惩罚者的外部举报投诉者在用电话、信件和口头上访等进行举报过程中也没有建立与其他参与者之间的物理连接或逻辑连接. 也就是说, 这里所谓的隐形网络是指一种基于公共数据背后的利益关系的社会网络. 隐形网络的另一层含义是, 在数据的真实性发现上, 同层级内部数据参与者之间很难靠自己的观察在前一阶段博弈后获知其他参与者采取的是“合作”还是“背叛”, 而必须通过惩罚者的信息公开或有效举报才能获知他人的背叛行为, 从而决定下一步自己采取“合作”还是“背叛”. 也就是说, 同层级的博弈是一种信息完全但非完美博弈.

处于各层之中的参与者之间、上下层参与者之间都存在复杂的利益关系. 从信息经济学的角度, 所有的数据提供者都有隐瞒己方真实数据的同时获取他方真实数据的动机, 除非隐瞒的后果使社会和自己无法承担. 同时惩罚者也会因个体或部门的利益诉求而产生权力寻租或搭便车行为. 这样的理性行为必然导致公共数据参与者之间的互不信任, 甚至难以制定相关法律或法律不能被有效执行. 因此, 根据理性假设, 在惩罚者缺位的情况下, 形成中国公共数据产品的有效供给是不可能的. 这种情形, 在发达国家, 如美国, 公共数据产品的有效供给也一直存在困难^[1]. 例如, 1860 年开始, 美国总统就开始给美国公民写信, 请他们不要因为害怕而隐瞒人数, 以总统的名义保证, 这些数据只是为了掌握美国的真实人口数量, 而不是用于征税、征兵和法庭调查等用途. 此后历任美国总统一直重复这个工作, 说明公众与政府之间就公共数据管理问题一直存在互不信任. 同样, 由于数据提供者的联合抵制, 对全美的医疗保险账单和全美的居民身份证数据质量管理也一直没有达成最终共识, 相关的数据法案在国会一直未能通过.

中国的情形更差一些, 首先我们的公共管理信息化程度比较低, 信息公开和新闻自由才刚刚开始, 政府运作的透明度较差, 乃至至于尽管政府可以采取的行政措施较多, 人大立法也较容易通过, 但在官民博弈之中经常出现政策和法律失效. 例如, 一直以来, 全国人口普查的数据质量不佳, 客观原因有很

多, 包括公民躲避超生罚款, 地方政府搭便车集资收费等. 全国经济普查也好不到哪里去, 法人或自然人, 都有意避开真实数据, 假报或瞒报的情况较为突出. 另外, 颇受关注的全国不动产数据库也由于地方政府和各级官僚掣肘和抵制至今为止未见端倪. 领导干部财产数据库一直以来讳莫如深. 从博弈论角度来讲, 涉事的数据提供者和管理者的不合作行为是符合理性行为假设的. 因此, 中国公共数据库网络本质上是数据运行的物理网络和数据参与者社会网络的复合形成的复杂网络, 数据节点是物理性和社会性的共生体. 由公共数据库的物理网络中的通讯、用户权限等要素与数据博弈参与者采用的策略不确定性相叠加, 构成中国公共数据库的网络复杂性. 这种复杂性不仅仅取决于网络的规模和结构, 更取决于网络中个体行为的不确定性.

2.2 中国公共数据库网络的拓扑性质

就物理网络而言, 无论采用何种网络结构和何种数据仓库模型, 中国公共数据库网络是一个确定性的网络, 其内网部分纵向设计为树状结构, 横向设计为星形结构. 但是在这个物理网络上的数据流体现出复杂的社会网络特点. 中国公共数据库网络的拓扑性质分析的意义在于运用演化博弈理论预测未来公共数据网络上运行数据的状况和公共数据产品的质量. 因此, 中国公共数据库网络的拓扑性质分析的重点在于隐形网络的拓扑性质.

由于公共数据网络的最下层, 即第 1 层, 包含大量的物联网收集的数据, 包括传感网 (SN) 数据, 射频识别 (RFID) 读写数据、远程终端 (RTU) 数据, 这些数据简称为物联数据. 物联数据的数据质量主要依赖于物理器件的质量、技术标准和物理维护水平, 相较于人工录入的具有主观色彩和可人工干预的数据而言, 是客观数据, 它们客观地反映实体或事实的面貌, 数据本身只有准确与否, 不存在真假, 也就是说这些数据节点是不参与公共数据博弈的. 但是, 这些物理数据节点的控制者作为第 2 层的数据提供者是要参与数据博弈的. 由于这些物联网节点的存在加大了它们所属的数据博弈参与者的节点度, 也就是说, 在数据博弈的初始阶段, 拥有较多物关节点数 (弱网元) 的数据博弈参与者将比起其他拥有较少物关节点数或没有物关节点的参与者占优势地位. 这些占优的参与者可以修改或根据自身目标进行数据优化, 有选择地提供给公共数据网络, 或选择瞒报. 这些参与者在公共数据网络中处于一定垄断地位, 也更多地受到惩罚者的关注, 因此他们之间更容易结成同盟. 因此, 在隐形网络中的第 2 层以上各层的某个区域 (如某个县) 内部数据博弈参与者的社会网络是一个同配网络, 故整个公共数据库网络是一个无标度网络.

在公共数据库网络中, 由于行政区域的划分或行业的区隔, 同一层级的数据参与者被分割, 使一个参与者集群不会关心另一个参与者集群的行为. 也就是说, 同一层级的公共数据博弈中数据提供者的行为只受一部分邻居行为的影响. 因此, 就整个网络而言, 中国公共数据网络中数据博弈的参与者 (节点) 是非均匀混合的. 例如, 因为各种评比往往以省级为单位, 故某省某个学校学生健康体质数据的真假并不影响另一个省的学校学生健康体质数据上报行为, 但对同一个省的其他学校健康体质数据上报行为有影响. 也就是说, 公共数据博弈中, 同层级博弈的参与者表现出很强的区域自治性. 另外, 数据量大的数据提供者之间互相关注的程度会更高, 即同一层级内的同类数据博弈参与者会呈现同配现象. 区域自治性也会导致不同地区或行业的数据博弈演化稳定策略不同. 因此, 公共数据库网络具有度相关性. 从本质上讲, 这种公共数据库网络的度相关性是由数据博弈的参与者的社会网络的度相关性引起的. 需要说明的是, 在公共数据网络中, 局部的均匀混合状态是可能存在的. 对处于某些局部均匀混合的群体, 传统的复制动力学研究方法仍然有效.

另外, 从公共数据库运行的社会环境看, 由于公共数据库的公共产品属性, 在使用过程中应该不断受到公众的反馈, 包括对公共部门所公开的公共数据真实性的质疑, 这样的反馈使公共数据在有限

范围内得到不断修正. 耗散结构理论指出, 系统从无序状态过渡到耗散结构有几个必要条件: 一是系统必须是开放的, 即系统必须与外界进行物质、能量和信息的交换; 二是系统必须是远离平衡态的, 系统中物质、能量流和热力学力 (改变的力量) 的关系是非线性的; 三是系统内部不同元素之间存在着非线性相互作用, 并且需要不断输入能量 (外来力量) 来维持. 在信息公开和媒体自由有保障的情况下, 公共数据库系统才是开放的复杂系统. 在开放的环境下, 在中国公共数据博弈中会出现高阶惩罚和低阶惩罚共存, 从而较小的从众倾向就会导致惩罚的实施在低阶数据博弈的各阶段得以维持, 从而促进较低阶段的惩罚行为和合作行为的生存, 并且一旦合作在组内建立, 就能通过群组选择的方式传播到整个群体. 从而在局部形成合作的稳定状态. 由此可以得出, 不是所有的公共数据库都以失败而告终. 也就是说, 在信息公开和媒体自由的情况下, 公共数据库系统有可能形成耗散结构, 公共数据博弈中合作者不会湮灭, 甚至存在公共数据博弈的合作演化稳定策略, 致使政府最终能够提供稳定、有效的公共数据库产品.

3 无标度物联网上的中国公共数据库数据演化博弈

演化博弈理论最早源于 Fisher, Hamilton 等遗传生态学家对动物和植物的冲突与合作行为的博弈分析, 他们研究发现动植物演化结果在多数情况下都可以在不依赖任何理性假设的前提下用博弈论方法来解释. 但直到 Smith 和 Price 在他们发表的创造性论文中首次提出演化稳定策略 (evolutionary stable strategy) 概念以后, 才标志着演化博弈理论的正式诞生^[4].

按演化博弈论的观点, 不再将参与者视为超级理性的个体, 而是通过试错的方法达到博弈均衡. 历史、制度和心理因素等, 乃至趋向均衡过程中的某些细节都会对博弈的多重均衡的选择产生影响. 演化博弈论摒弃了完全理性的假设, 以达尔文生物进化论和 Lamarch 的遗传基因理论为基础, 用系统论的观点, 把群体行为的调整过程看作为一个动态系统, 将演化过程中的个人行为 and 群体行为的形成机制都纳入到演化博弈模型中, 构成一个具有微观基础的宏观模型. 因此, 演化博弈模型能够更真实地反映行为主体的多样性和复杂性, 并且可以为宏观调控群体行为的研究提供理论方法.

许多实验研究表明, 种群的结构关系不一定均匀, 即个体倾向于选择具有优势适应度的个体作为邻居, 这样的种群行为导致种群的度分布具有明显的差异性, 这是种群多样性的表现. 在自然界和人类社会, 自私的个体之间产生合作是一个常见的现象. 为了研究合作的涌现, 博弈的参与者的数目必须巨大, 并且个体之间的相互关系形成一个复杂网络, 博弈的演化过程中个体的策略构成多阶段的博弈战略.

复杂网络上的演化博弈可定义为扩展式:

- (1) 个体数量足够大, 所有个体位于一个复杂网络上;
- (2) 在每个时间演化步 (阶段博弈), 按法则选取一部分个体按一定概率匹配进行博弈;
- (3) 各阶段中个体的策略按一定的法则更新, 每一类个体 (未必属于同一个社区) 的策略更新法则相同; 这种更新法则是“策略的策略”, 法则更新要比策略的更新慢得多, 使得个体总是可以有足够的时间根据上一阶段邻居的策略的后果进行评估, 以便下一阶段策略的更新.
- (4) 个体可以感知环境、获取信息, 然后根据自己的经验和信念, 按法则更新策略;
- (5) 各类个体的策略更新法则可能受到个体节点所在网络的拓扑结构的影响;
- (6) 时间演化步多, 足以观察到博弈过程中参与者的策略演化方向.

Nowak 和 May 率先研究了规则网络上的演化博弈, 获得了二维格子上的“囚徒困境”博弈的合作行为的涌现^[5~7].

Santos 等研究了 BA 网络上的囚徒困境 (prisoner's dilemma game, PDG) 博弈行为^[8]. 基本的博弈为

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} C & D \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \begin{pmatrix} (R, R) & (S, T) \\ (T, S) & (P, P) \end{pmatrix} \end{array} \quad (1)$$

其中 C 代表“合作”, D 代表“背叛”, R 是双方都选择“合作”时双方各得的收益 (payoff), S 表示一方选择“合作”而另一方“背叛”时选择“合作”一方的收益, T 表示一方选择“合作”而另一方选择“背叛”时选择“背叛”一方的收益, P 是双方都选择“背叛”时双方各得的收益, 且满足 $S < P < R < T$. 在完全理性假设下, 阶段博弈有唯一的 Nash 均衡.

3.1 度无关无标度数据库隐形网络上的公共数据演化博弈

在公共数据博弈中, 我们给予合作和背叛具体的解释, “合作”(C) 表示参与者向公共数据库提供真实数据, “背叛”(D) 表示参与者向公共数据库提供虚假数据或瞒报.

在公共数据博弈中, 典型的囚徒困境模型 (1) 满足 $S < P < R < T$ 是有现实意义的. 我们从 4 个方面来解释在一次博弈中背叛者对合作者占优. 其一, 背叛者假报或瞒报数据就可以省去收集数据的成本, 例如排污口监控传感器系统建设与运行维护成本; 其二, 背叛者可以享用合作者提供的真实数据来改善自己的决策, 同时保护了自己的隐私; 其三, 在获取其他数据提供者的真实数据中某些隐私的情况下, 可能运用这些隐私进行敲诈来获取不正当利益; 其四, 背叛者可以通过提供虚假数据获得不正当的收益, 如通过提供虚假的产品质量检验报告促进不合格产品销售. 在没有惩罚和奖励干预的情况下, 背叛者从 4 个方面获得的收益总会比博弈双方都采取合作行为时获得的收益更大, 与此同时, 采取合作策略的一方的真实数据被恶意使用会造成更多的损失, 至少会给背叛者搭便车的机会.

尤其应该指出的是, 第 2 方面的收益不仅来自于博弈的对手, 而且来自于背叛者对合作者提供的真实数据的分析和运用带来的其他活动效果的改善所增加的收益. 也就是说, 合作一方所提供真实数据承载的信息是有价值的. 考虑背叛者的另一个决策场合, 他利用公共数据博弈中的合作者所提供的真实数据获得随机决策的状态变量的更为可靠的后验分布, 从而降低了决策风险, 按 Bayes 决策的风险理论, 这些真实数据的价值可由下面的公式来计算:

$$EVSI = r'(\pi) - r(\pi, \delta^\pi) = \min_{a \in A} E^\theta[l(\Theta, a)] - \min_{\delta \in \Delta} E^\theta[E^{x|\theta}(l(\Theta, a))],$$

其中, 背叛者在获得合作者的真实数据之前对决策中的状态变量 Θ 的先验分布为 $\pi(\theta)$, A 为背叛者在另外场合的决策中所能采用的行动方案集, 损失函数为 $l(\theta, a)$, 合作者提供的真实数据为 x , $\pi(\theta|x)$ 为状态变量的后验分布, Δ 为背叛者在其获得真实数据后的决策规则集, δ^π 为 Bayes 决策规则, $r(\pi, \delta^\pi)$ 为 Bayes 风险. 当状态变量 Θ 与观察量 X (合作者提供的是它的一次观察值) 不相互独立的情况下, $EVSI > 0$.

在极端的情况下, 合作者所提供的真实数据不能给背叛者带来直接的好处 (或规避风险), 而且这些真实数据也不含有数据提供者任何隐私, 那么对背叛者而言这些真实数据的直接信息价值为零. 但是, 公共部门是不会去收集真实但没有任何价值的公共数据的, 或者说公共数据库中的真实数据总是有价值的. 换言之, 公共数据库是有效的公共产品, 并且有助于提升其他公共产品的品质 (例如, 大气

环境检测者提供的真实数据有利于改善空气质量, 而良好的空气是一类标准的公共产品). 这种情况下, 背叛者就存在搭便车行为, 从而获得间接的好处.

因此, 无论何种情形, 我们总是有充足的理由设定 $S < P < R < T$.

在一个层级内某个自治区域, 假定公共数据博弈参与者 (数据提供者) 在初始时刻处于均匀混合状态, 即每个数据博弈提供者可以和该区域内的所有其他数据提供者进行博弈. 我们注意到, 尽管受网络结构的影响, 大范围内公共数据博弈的参与者不是均匀混合的, 但是在局部范围内参与者仍有可能是均匀混合的. 因此, 讨论在局部范围内的公共数据博弈的参与者充分混合的情形是有意义的.

设在这一层级内提供真实数据者 (合作者) 占该自治区域内数据提供者的比例为 ρ , 提供假数据或瞒报者 (背叛者) 的比例为 θ , 则该层级数据博弈中合作者和背叛者的收益分别为

$$U_C = R\rho + S\theta, \quad U_D = T\rho + P\theta. \quad (2)$$

运用复制动力学^[7] 描述数据博弈演化过程中合作者和背叛者的策略变化为

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{dt} = \rho(U_C - \omega), \\ \frac{d\theta}{dt} = \theta(U_D - \omega). \end{cases} \quad (3)$$

由 $\rho + \theta = 1$, 得 $\omega = \rho U_C + \theta U_D$, 正是该自治区域内公共数据博弈中数据提供者的平均收益. 将 $\omega = \rho U_C + \theta U_D$ 代入式 (3) 可解得

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho(1 - \rho)[(R - T)\rho + (1 - \rho)(S - P)]. \quad (4)$$

由 $S < P < R < T$ 可知, $\rho = 0$ 是唯一的稳定点, 即当 $\rho > 0$ 时, $\frac{d\rho}{dt} < 0$, 即合作者的比例必然下降, 说明在公共数据博弈中作假和瞒报者 (背叛者) 占优. 因此, 在公共数据博弈自治区域内, 阶段博弈的 Nash 均衡解 (D, D) 也是公共数据演化博弈的演化稳定策略. 也就是说, 在完全自治的区域内, 若参与者均匀混合, 则数据造假或瞒报最终将演化为自治区域内参与者的整体行为.

若公共数据博弈参与者 (数据提供者) 在初始时处于非均匀混合状态, 即在每一阶段博弈中, 个体 i 只与其所有邻居各进行一次博弈, 累计收益为 $u_i = \sum_{j \in \Omega_i} \pi(s_i, s_j)$, 作为该个体的适应度, 其中 $\pi(C, C) = R, \pi(C, D) = S, \pi(D, C) = T, \pi(D, D) = P$, Ω_i 为节点 i 的邻居节点的集合. 在这种情况下, 在公共数据博弈的策略演化过程中采用的复制动力学规则是: 如果 $u_i \geq u_j$ 则下一阶段个体 i 与 j 近邻的博弈中继续采用当前的策略; 否则在下一阶段它与个体 j 的博弈中, 它将以概率 $P(s_i \leftarrow s_j)$ 采用当前阶段个体 j 的策略 s_j , 其中

$$P(s_i \leftarrow s_j) = \frac{u_j - u_i}{\max\{k_i, k_j\}(T - S)}, \quad (5)$$

其中 s_i 和 s_j 分别是个体 i 和 j 的当前的策略, k_i 和 k_j 分别是个体 i 和 j 的度值.

为了说明非均匀混合状态下公共数据博弈的参与者之间可能存在的合作扩散, 我们将某一个层级内公共数据博弈抽象为以两个数据提供者为中心的哑铃状 BA 无标度网络 (如图 2).

该数据博弈参与者的社会网络具有两个中心节点 (拥有大数据量的数据提供者, 即拥有物联节点和邻居的零星数据提供者) x 和 y , 它们直接连接. 其他小度的节点 (物联节点, 图 2 中标注为 SN, 或一些零星数据提供者, 图 2 中标注为 Partners) 随机地与这 2 个中心节点中的一个连接. 为了讨论节点对合作的扩散作用, 初始时刻设定 x 为合作者和 y 为背叛者; 在中心节点的邻居中, 节点 x 的邻居

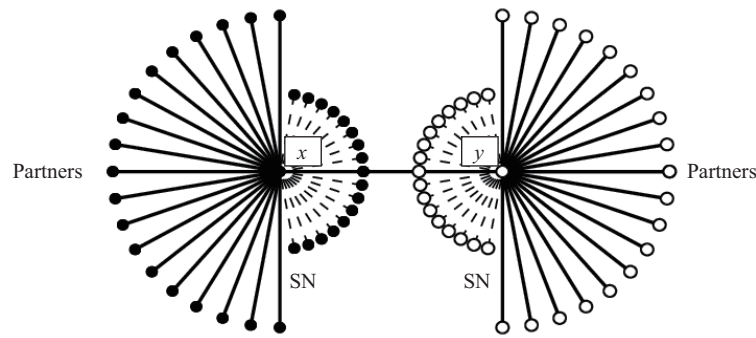


图 2 单层两中心无标度数据博弈网络

Figure 2 Scale-free networks of public data game with mono-layer and dual-center

和 y 的邻居各占一半, 而且 x 的邻居都为合作者 (图 2 中实点) 和 y 的邻居都为背叛者 (图 2 中空点). 在每一个阶段的博弈中, 所有节点都与它的邻居进行一次囚徒困境博弈, 收益进行累积. 在策略演化过程中, 每个节点随机选取一个邻居进行策略比较: 如果邻居的本轮收益高于自己的收益, 则它以一定概率模仿邻居的本轮策略, 这意味着本轮中收益较高的个体的策略会被它的邻居学习. 由于初始阶段两个中心节点都围绕着较多采取合作策略的邻居, 所以中心节点的累积收益高于小度节点的收益, 小度节点会模仿与它相连的中心节点的行为. 由于节点随机选择邻居进行策略比较, 虽然初始阶段合作中心节点 x 的收益低于背叛中心节点 y 的收益, 但高于绝大多数小度邻居的收益, 所以 x 能够在一段时间内坚持合作策略. 随着时间演化, 合作节点 x 周围小度邻居倾向于模仿 x 的合作行为, 所以 x 周围合作邻居的比例是增加的, 反过来也意味着 x 的收益随时间演化而增加. 与之相反, 由于 y 周围的邻居倾向于模仿中心节点的背叛行为, 所以 y 的收益随时间递减, 逐渐低于它的合作邻居 x 的收益. 在某一时刻, y 会模仿 x 的行为而转变为合作者, 此后 y 的邻居也模仿中心节点的行为. 这样, 合作策略会在网络中扩散开来, 最终所有节点会一致选择合作策略. 这意味着个体采取积累收益时, 中心节点在无标度网络中倾向于采取合作策略, 并影响它周围的邻居.

此外, 可以通过分析背叛行为在 BA 网络上的扩散过程来阐述中心节点能够有效抵抗背叛者入侵的机理. 假设初始时刻只有一个最大度节点 x 为背叛者, 其余节点都为合作者. 然后观察背叛的中心节点 x 对网络中合作行为的入侵性. 可以发现, 由于 x 在短期内从合作邻居中获得较高收益, 所以它的小度邻居会模仿其行为, 经过一段暂态时间后大约会有 80% 的邻居转变为背叛者. 随着 x 周围合作邻居比例的下降, 其收益会低于 x 的大度合作邻居的收益, 最终 x 会认识到合作策略的收益高于背叛行为, 转变为合作者. x 再次成为合作者之后它周围大多数邻居也再次选择合作策略. 通过上述微扰分析, 表明在 BA 无标度公共数据库网络中, 中心节点能够有效抵抗背叛者的入侵, 并且中心节点之间具有较好的合作相持特性. 研究显示, 在具有 1000 个节点的 BA 无标度网络中, 初始时刻策略在各度值的所有节点上接近均匀分布, 一些中心节点在初始时刻会采取背叛策略. 到了稳定状态, BA 无标度网络中的中心节点都会转变为合作者, 背叛者主要集中在小度节点上. 说明无标度网络上的合作行为具有相当强的鲁棒性. 因此, 异质网络中的中心节点对合作涌现具有重要作用 [5, 6].

从稳定状态个体之间的动态组织出发, 可以进一步将处于稳定状态的数据提供者分为 3 类: 始终保持合作 (背叛) 策略不变的个体称为纯合作者 (纯背叛者) (pure cooperators/defectors), 不断改变自己策略的个体称为骑墙者 (fluctuating individuals). 在 BA 无标度网络中, 中心节点以纯合作者形式存在, 这些纯合作者通过组成一个相互连通簇, 可以有效抵抗背叛者的攻击. 随着诱惑的提高, BA 无标

度网络的纯背叛者数目缓慢下降, 即使面对非常高的诱惑, 网络中的合作者仍很难湮灭. 如果 $u_j < u_i$, 则背叛者中会逐渐产生一些合作者, 最终是合作策略成为公共数据博弈的演化稳定策略.

3.2 度相关无标度数据库隐形网络上的公共数据演化博弈

在实际的公共数据库网络中, 同一层级的数据参与者 (主要是数据提供者) 之间往往会形成一定的联盟, 称之为数据联盟. 在联盟内, 公共数据博弈参与者采取比较一致的策略. 例如, 在昆明就曾经出现眼镜店联合抵制上报验光配镜的数据台账. 这种数据联盟总会在势均力敌的数据提供者之间形成, 比如各大乳品企业形成数据联盟联合向食品安全监管部门提供假数据 (如牛奶中三聚氰胺含量数据). 因此公共数据库网络的隐形网络常常表现出不同程度的度相关性, 而经典的 BA 网络并不具有度相关性. 为了研究在公共数据网络中可能存在的数据提供者合伙背叛或合伙合作可能产生的影响, 我们来分析具有度相关性的无标度网络上的公共数据博弈策略演化行为. 为此, 我们运用随机重连算法 (XS 算法) 产生具有不同度相关性的网络. 随机重连算法如下:

(1) 每次随机选择原网络中的两条边, 它们连接 4 个不同的端点. (2) 有目的地重连被选中的两条边: 为了得到同配网络, 一条边连接度最大的两个节点, 而另一条边连接度最小的两个节点.

重复上述过程充分多次, 可以保持度序列不变的情况下, 使网络变得同配, 对应于网络的同配系数为正. 基于 BA 无标度网络, 可根据 XS 算法调节网络的同配系数 r_k 介于 $[-0.3, 0.3]$ 之间^[7]. 初始时, 每个个体以相同概率选择合作或者背叛策略. 然后, 公共数据库隐形网络上的博弈根据式 (5) 的复制动力学规则进行策略演化. 经过考察具有不同度相关性的无标度网络上的合作频率 f_c , 以及纯合作/纯背叛策略个体的频率 ρ/θ . 当网络变得同配时, 一方面, 面对相同的诱惑, 同配网络中会有更多的个体选择背叛行为, 其合作频率要低于不相关网络中的合作频率; 另一方面, 网络中合作湮灭的阈值也随 r_k 的增加而递减, 同配网络中的合作者更容易消失^[7]. 由此可以看出, 在公共数据库数据质量控制过程中, 尤其应该关注重要的数据提供者之间可能采用结盟对抗数据稽查, 甚至联合作假或瞒报的行为.

4 公共数据演化博弈的奖励行为

Apicella 等用实证的方法研究了公共产品博弈 (public goods game, PGG)^[9], 作为囚徒困境博弈的多人扩展模型. 在公共产品博弈中引入奖励机制可以产生更丰富的动力学行为. 作为一个有趣的实证, Apicella 等研究了 Tanzania 北部 Hadza 部落人们之间的合作行为^[9]. Hadza 部人至今仍然基本以狩猎为生, 是人类学研究的绝佳样本. 他们平均 12 名成年人在一起生活 4~6 周, 然后更换营地和住宿伙伴. 研究人员访问了 17 个营地的 205 名成年 Hadza 人 (男性 103 人, 女性 102 人), 在每个营地与他们玩一轮公共产品博弈: 每名获得 4 个蜂蜜棒, 他们可以选择全部或部分留给自己, 另外一部分投入公共产品箱与其他宿营伙伴共享. 每个人的决策都是不公开的, 并且每个人都被事前告知, 他们每捐献出一份公共产品, 研究者就会额外投入 3 倍数量的蜂蜜棒到公共产品箱. 在所有参与者都作出决策之后, 箱中的公共产品会被平均分配给每个人. 在此公共产品博弈中, 捐献公共产品的合作者会冒收益下降的风险, 而搭便车的人没有任何收入即可分享公共产品, 其收益高于合作者. 然而, 研究人员发现, Hadza 人平均会捐献一半的蜂蜜棒. 这说明 Hadza 人之间存在合作利他行为. 经过比较, 还发现 Hadza 人之间的社会关系网络的结构具有一些与现代社会网络结构相似的特征, 如高聚集度、同质性和互惠性等. 这表明社会网络的一些结构特征以及合作涌现可能在人类早期就已经形成. 近年来,

Nowak 等尝试建立演化博弈的新的理论框架, 以进一步理解从自然界到人类社会中随处可见的合作利他行为.

在公共数据库网络上, 公共数据博弈的合作利他行为是否存在? 合作策略是否可以成为公共数据博弈的演化稳定策略? Apicella 等工作只是实证研究, 并不是对复杂网络上的囚徒困境博弈中获得的一般结论. 同样, 在公共数据博弈中引入奖励机制的效果分析也存在理论上的困难. 为了研究公共数据博弈中奖励行为对合作演化的影响, 我们运用自主研发的“基层质量监督管理信息系统”数据库对昆明市组织机构代码证登记系统的公共数据博弈进行了观察和实证分析. 在 2008~2012 年的 5 年观测期内, 将五华区、盘龙区、西山区、官渡区、安宁市、呈贡县、嵩明县和富民县的组织机构代码证办证、年检数据提供者作为观察对象, 将他们按属地分为四组, 分组原则是每组包括一区一县, 以消除城区与郊县差异及信息化程度的差异. 各区县按照国家标准委发布的数据标准进行组织机构代码证的申请和年审数据填报, 并根据国家质检总局的奖励标准 (2 元/条) 进行奖励, 并从业务费中拿出自设的奖励基金, 分别按组追加 1.5 元/条、1.0 元/条、0.5 元/条、0 元/条, 一个周期后将追加奖金数对调一次, 结果显示, 初期阶段奖金高的组的组织机构代码证的数据质量明显高于奖金低的组. 奖金对调后, 原来奖金高的组在降低奖金后数据质量没有出现明显的下降, 而奖金升高的组的数据质量也明显提升. 由此可以看出, 虽然奖励行为在公共数据博弈的前几期对合作的涌现是有明显效果的, 但是随着数据博弈的不断进行, 奖金对合作策略的稳定作用在衰减. 也就是说, 奖金对公共数据博弈的合作演化在早期是正反馈, 奖金额度与合作者比例成正相关. 因此, 从长远来讲, 不能靠奖金制度来达到公共数据库数据质量的稳定提升, 数据提供者的奖金激励的边际效用随时间递减. 关于奖励行为对公共数据质量影响的实证研究有待进一步深入.

5 公共数据演化博弈的惩罚行为

惩罚作为合作演化的一种可行的解释, 近年来得到广泛的研究^[10]. 尽管相关学者从不同角度出发, 对惩罚给出了不同的定义^[11,12], 在演化博弈的范畴内, 惩罚就意味着惩罚者付出一定的代价, 背叛者蒙受更大的损失, 因此也称为代价惩罚 (costly punishment).

5.1 公共数据博弈的个体惩罚

考虑在公共数据博弈中, 对每一个层级的数据提供者的囚徒困境阶段博弈基础上, 增加了第 2 个阶段, 这一阶段中合作者可以自愿选择是否惩罚背叛者, 即自己付出一个代价 γ , 让背叛者的收益减少 β . 在第 2 阶段博弈中, 惩罚行为采用了个体间私下进行的模式, 因此被称为个体惩罚 (peer punishment), 个体惩罚者记为 Peer. 个体惩罚行为实质上是式 (1) 的收益矩阵变为

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{cc} C & D \end{array} \\
 \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \begin{pmatrix} (R, R) & (S - \gamma, T - \beta) \\ (T - \beta, S - \gamma) & (P, P) \end{pmatrix}
 \end{array} \quad (6)$$

取一个适当的 β 值, 矩阵各项的大小次序将由 $S < P < R < T$ 变为 $S - \gamma < P < T - \beta < R$, 从而由囚徒困境博弈变为协调博弈 (coordination game), 使共同合作 (C, C) 成为一个 Nash 均衡.

在公共产品博弈的行为实验中, 当赋予选择惩罚的自由时, 人们也倾向于使用惩罚策略, 而且这种惩罚的威胁能促使合作水平显著提高^[13,14]. 这一结论也适用于公共数据博弈, 无论对于博弈组内

成员(同行)固定还是每轮重新组合都成立. 数据提供者(同行)之间促进合作的互惠理论可以被认为是一种弱互惠(weak reciprocity), 因为它强调通过长期的合作和低代价的手段来对付背叛者. 弱互惠依赖于未来足够多的交互次数, 要求同行成员比较少从而能够监视背叛的行为, 而且同行之间的信息流通要保证顺畅无误.

有些情况下, 在公共数据博弈中背叛行为(提供假数据或瞒报)仅仅被利益无关的第三方目睹(数据稽查、实名或匿名举报投诉)时, 若不存在二阶搭便车或腐败, 那么惩罚也会被实施. 因此, 愿意使用惩罚促进合作的强互惠(strong reciprocity)理论也适用于公共数据博弈. 这里, 不存在二阶搭便车行为是指无关利益的第三方发现有人向公共数据库提供假数据或瞒报但不愿意举报, 以此获取某种好处. 腐败是指执法部门或上级惩罚者收到举报但不实施惩罚(惩罚者搭便车或权力寻租). 强互惠理论认为强互惠者把合作看作正确的选择, 愿意付出大的代价来惩罚背叛者. 代价惩罚保证了背叛者不能随意享用搭便车的成果, 即使是在单次博弈中互相不认识的大的群体中, 惩罚者也可以立即付出代价来降低背叛者的收益, 而且不损害组内其他成员的利益. 经济学者通过博弈的行为实验考察正激励和负激励(positive incentive and negative incentive), 即奖励和惩罚, 对合作倾向的不同影响^[15]. 在公共数据博弈中, 惩罚本身存在的一个显而易见的问题是效率. 由于对数据造假和瞒报者的惩罚行为会给惩罚者和被惩罚者双方都造成负收益, 因此将降低群体收益, 甚至造成带来的合作提升不足以弥补惩罚造成的损失. 但这些一般是短期的效应, 实验研究表明, 考虑了长期的交互, 惩罚将带来净收益的提升^[16]. 在公共数据博弈中, 尽管惩罚的存在为合作演化提供了一种有效的解释, 但是惩罚本身存在的条件是什么? 为了获得具有可用性的公共数据库, 惩罚是需要付出代价的, 惩罚的结果让公众和每个合作者(提供真实数据者)都受益, 但是代价却只由惩罚者承担. 只合作不惩罚的个体(C)相对于合作且惩罚的个体(P)具有相当于惩罚代价的收益优势, 因此这种环境下的C也被称为“二阶搭便车者”(second-order free riders). 根据自然选择, 在长期演化中P将被C所取代, 然后C最终将被背叛者D取代. 另一方面, 由于公共数据库物理网络的保护隐私设计和公共部门信息公开不力, 合作者也很难观察到背叛行为, 导致背叛者取代合作者的速度加快.

在演化博弈论中, 已经有大量的理论工作从各个角度出发, 致力于对惩罚的维持给出合理的演化动力学解释. 例如, 直接互惠中的针锋相对(tit for tat)策略^[17], 即对不合作的人自己也采用背叛态度; 间接互惠博弈(indirect reciprocity game)中, 对于那些声望不好的人拒绝给予帮助^[18].

在公共数据博弈中, 为了在博弈演化中维持惩罚的存在, 必须找到某些具有“惩罚”性质的行为既能够提高自己的收益, 同时又能降低别人的收益. 这些行为本身在保留了惩罚者的利益的同时让对方无法获利, 在自然选择面前才具有优势. 除了数据共享的联盟外, 数据造假和瞒报并不容易被同类数据提供者发觉, 而且采用背叛的成本很低. “损人不利己”行为存在的几率很小. 我们把宁愿自己损失也要惩罚别人的“损人而不利己”行为称作代价惩罚或利他惩罚(altruistic punishment). 利他惩罚在演化过程中存在几率非常小. 利他惩罚的演化解释包含两个方面:

第一是惩罚者何以入侵群体. 因为当少量的惩罚者入侵一个由背叛者组成的群体时, 惩罚者需要付出沉重的代价四处实施惩罚, 从而严重降低自己的收益而很快被自然选择所淘汰.

第二是惩罚者何以在群体中保持稳定. 对于一个全是惩罚者的群体, 背叛者固然无法入侵; 但是如果突变产生一类只合作不惩罚的个体, 由于它们与惩罚者之间收益相同, 则会通过中性漂移而在种群中扩散, 此时如果背叛者进入种群, 则剩余的惩罚者不足以对付背叛者, 从而使整个种群被背叛者占据, 也就是“二阶搭便车”现象.

5.2 公共数据博弈的共同惩罚

上面对公共数据博弈中的惩罚行为的研究中, 由于惩罚行为采用了个体间私下进行的模式, 故这种模式面对二阶搭便车者存在如下缺点: (1) 如果要惩罚二阶搭便车者则可能存在不惩罚这类个体的三阶搭便车者, 惩罚三阶搭便车者就会存在四阶搭便车问题, 以至于无穷递归. (2) 全合作时惩罚者和不惩罚只合作者无法分辨, 这样惩罚者有可能经过中性漂移变为非惩罚者而最终被背叛者侵蚀. 与此不同的另一种惩罚可以称为“共同惩罚” (pool punishment) 或者为“集中惩罚” (centralized punishment)^[19]. 在公共数据博弈之前, 先进行对惩罚基金进行贡献的阶段, 然后进行对公数据进行贡献的阶段. 惩罚基金的作用有两个方面: 一是降低惩罚者付出的惩罚成本, 甚至是惩罚者获得较高的收益而乐于对数据造假或瞒报者 (背叛者) 实施惩罚; 二是可以使背叛者提前暴露. 在实际的公共数据库管理中, 公共部门采取收取数据录入的客户端使用费的方式摊薄惩罚成本, 所获得的资金可视为共同惩罚基金. 例如, 在中国, 税务部门的数据收集通过网上报税系统实现, 税务局信息中心向报税企业和个人收取的终端使用费即可视为共同惩罚基金, 尽管有时这种收费是通过第三方 (如红顶协会、红顶中介) 实现的. 因为在第一轮中是否为惩罚者已经暴露, 所以惩罚基金除了对数据造假或瞒报者惩罚外也可以决定是否对提供真实数据但不贡献惩罚基金的人进行惩罚. 公共数据博弈中的共同惩罚基金一旦建立就可以对很多人进行惩罚, 惩罚代价不再受数据造假或瞒报者数量的影响. 但是当数据提供者中造假或瞒报较少甚至不存在时, 共同惩罚者 (pool punisher, Pool) 仍然要付出同样的代价, 因此共同惩罚者的效率要低于个体惩罚者.

在公共数据博弈中, 为了较清晰地分析共同惩罚的效果, 我们将博弈参与者限定在某一自治区域内. 我们假定数据提供者在初始时处于均匀混合状态, 并且惩罚基金的存在会使共同惩罚者对所有背叛者都会实施惩罚 α .

(1) 如果惩罚的力度较小的话, 不足以对公共数据博弈中的造假或瞒报者改变策略, 则在自治区域内共同惩罚基金是失效的.

(2) 如果实施的共同惩罚 α 足够大, 可以通过对下列新的博弈模型进行分析:

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} C & D \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \begin{pmatrix} (R, R) & (S, T - \beta) \\ (T - \beta, S) & (P, P) \end{pmatrix} \end{array} \quad (7)$$

此时 $S < P < T - \alpha < R$, 使共同合作 (C, C) 成为一个阶段博弈的 Nash 均衡. 对应于式 (4), 有

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho(1 - \rho)[(R - T + \alpha)\rho + (1 - \rho)(S - P)]. \quad (8)$$

因此, 合作者比例增长有一个临界点 $\rho^* = (P - S)/(R - S - T + \alpha + P)$. 当 $0 < \rho < \rho^*$ 时, $\frac{d\rho}{dt} < 0$, 即如果整个博弈过程没有新参与者加入的话, 公共数据博弈中合作者比例会降低; 反之, $\rho^* < \rho < 1$ 时, $\frac{d\rho}{dt} > 0$, 公共数据博弈中合作者比例会增加. 由此可见, 即使有共同惩罚基金存在, 而且惩罚的力度足够大, 阶段博弈的合作策略 (C, C) 也不是稳定的. 事实上, 此时重复的公共数据博弈的混合策略 $(\rho^*, 1 - \rho^*)$ 也不是稳定的, 也就是说实施共同惩罚的作用是不确定的.

需要更进一步阐明的是, 在实际的公共数据博弈中, 即使惩罚的力度足够大, 共同惩罚仍有可能不会起任何作用, 原因包括两种情况.

(1) 尽管惩罚力度足够大, 但实施惩罚的概率太小. 在实际的公共数据博弈中, 共同惩罚者 (高阶惩罚者) 不会因为有足够的惩罚基金就会对所有造假或瞒报者进行惩罚, 而是以概率 μ 实施惩罚, 那

么式 (4) 将变为

$$\begin{aligned}\frac{d\rho}{dt} &= \mu\rho(1-\rho)[(R-S-T+\alpha+P)\rho+(S-P)] + (1-\mu)\rho(1-\rho)[(R-S-T+P)\rho+(S-P)] \\ &= \rho(1-\rho)[(R-S-T+\mu\alpha+P)\rho+(S-P)].\end{aligned}\quad (9)$$

由此可见, 这种不完全的共同惩罚的效果等同于将个体之间的阶段博弈修改为

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{c} C \qquad D \end{array} \\ \begin{array}{c} C \\ D \end{array} & \begin{array}{cc} (R, R) & (S, T - \mu\alpha) \\ (T - \mu\alpha, S) & (P, P) \end{array} \end{array}\quad (10)$$

因此, 若 μ 足够小, 尽管共同惩罚使 $S < P < T - \alpha < R$, 但对公共数据博弈的参与者来说, 相当于期望的博弈支付仍满足 $S < P < R < T - \mu\alpha$, (C, C) 不再是 Nash 均衡. 所以, 尽管存在共同惩罚, 但是 (D, D) 也是重复公共数据博弈的唯一的演化稳定策略.

(2) 尽管惩罚力度足够大, 但是数据提供者在初始时处于非均匀混合状态. 此时, 每一个数据提供者只跟邻居节点进行数据博弈, 因此数据博弈参与者会出现式 (5) 所描述的策略转移. 数据博弈参与者可能策略转移的原因, 除了强势节点具有好的收益外, 参与者不相信惩罚者会真的惩罚背叛者. 数据提供者不信任共同惩罚的原因有两类: 一是他们认为共同惩罚者可能存在搭便车行为或腐败, 二是他们惧怕居于优势地位的数据提供者可能会采取报复手段.

更为一般的情形下, 实际的公共数据博弈中, 共同惩罚作为威胁的手段, 不会不起任何作用, 共同惩罚者以威胁作为工具促进合作者的比例 ρ 提高. 为了分析威胁实施共同惩罚的作用, 仍然考虑自治区域内数据博弈参与者均匀混合的情形. 当共同惩罚为 α 时, 威胁实施惩罚背叛者的威力取决于数据稽查的概率 μ . 对博弈 (10), 获得 ρ 的最大值点

$$\rho^* = (P - S) / (R - S - T + \mu\alpha + P).$$

当 $\mu^*\alpha = T - R$, 即 $\mu^* = (T - R) / \alpha$ 时, $\rho^* = 1$, 即除非初始状态参与者全是合作者, 否则合作者比例必然降低. 换言之, 要使合作者比例提高, 必须使 $(T - R) / \alpha < \mu \leq 1$ (蕴含着 $(T - R) / \alpha < 1$, 即 $T - R < \alpha$).

如果在公共数据博弈中的某个完全自治的区域内数据提供者是均匀混合的, 且惩罚背叛者的执法所得全部归共同惩罚者所有, 那么共同惩罚者实施惩罚的积极性随罚收入 α 增加而增加, 从而实施惩罚的概率 μ 为 α 的增函数. 若共同惩罚者是保守的, 那么可取惩罚者的 Von Neumann-Morgenstern 效用函数为

$$\mu(\alpha) = \begin{cases} 0, & \alpha < T - R, \\ \ln \frac{\alpha}{T - R}, & T - R \leq \alpha \leq (T - R)e, \\ 1, & (T - R)e < \alpha. \end{cases}$$

此时共同惩罚行为的效果为

$$\beta = \mu\alpha = \begin{cases} 0, & \alpha < T - R, \\ \alpha \ln \frac{\alpha}{T - R}, & T - R \leq \alpha \leq (T - R)e, \\ \alpha, & (T - R)e < \alpha. \end{cases}$$

为了获得存在惩罚者的情况下可能使合作策略 (C,C) 成为演化博弈的演化稳定策略, 我们需要确定最低的罚款额.

设 $\varphi(t) = t - e^{1/t}$, $\varphi'(t) = 1 + t^{-2}e^{1/t} > 0$ ($t \geq 1$), 则 $\varphi(1) = 1 - e < 0$, $\varphi(e) = 1 - e^{1/e} > 0$, 故方程 $\varphi(t) = t - e^{1/t} = 0$ 有唯一解 $t_0 = 1.7632$, 且 $1 < t_0 < e$. 当 $t \geq 1.7632$ 时, $\varphi(t) = t - e^{1/t} \geq 0$, 即 $t \geq e^{1/t}$, 亦即, $t \ln t \geq 1$. 令 $t = \ln \frac{\alpha}{T-R}$, 可知, 当 $\alpha > 1.7632(T-R)$ 时, $\beta = \mu\alpha = \alpha \ln \frac{\alpha}{T-R} > T-R$. 从而, 当 $\alpha > 1.7632(T-R)$ 时, (C, C) 为公共数据博弈的演化策略. 此时共同惩罚者实施惩罚的概率为 $\mu = \ln \frac{\alpha}{T-R}$, 并且 $\frac{d\mu}{d\alpha} = \frac{T-R}{\alpha} \cdot \frac{1}{T-R} = \alpha^{-1} > 0$. 因此, 在处罚所得归惩罚者所有的政策下, 提高处罚 α 肯定可以使实施惩罚的概率增加, 即高阶惩罚者在所有参与者中的比例会提高, 这与直观情况非常吻合.

关于对高阶惩罚者 (包括高阶共同惩罚者) 的背叛行为 (搭便车或腐败) 实施更高阶惩罚行为的研究则更加复杂, 我们可以运用已有的演化博弈的成果进行简单分析.

在普通公共产品博弈中, 文献 [19] 对有限群体小变异下的研究结果表明: (1) 当只存在合作者、背叛者、共同惩罚者的情况下, 系统完全由背叛者占据. 如果允许观望者 (loner, L) 存在, 则最终由共同惩罚者 (Pool) 占据. (2) 合作者、背叛者、观望者、个体惩罚者 (Peer) 和共同惩罚者同时存在的情况下, 演化结果依赖于共同惩罚者是否惩罚二阶搭便车者: 如果不惩罚则个体惩罚者盛行; 如果惩罚则共同惩罚者盛行. 共同惩罚制度的建立依赖于对二阶搭便车者进行惩罚这一结论, 也得到了实验结果的支持 [20]. 然而, 有实验研究结果表明, 如果让个体在每次行为中自由选择, 则大家倾向于不惩罚二阶背叛者. 惩罚二阶背叛者的制度需要通过事先进行少数服从多数的投票来建立. 另有理论研究表明, 如果在群体中引入机会主义者 (opportunist, O), 即能够以较小代价探查惩罚制度是否已经建立, 从而决定是否合作的个体, 则共同惩罚制度的建立不再依赖于对二阶搭便车者进行惩罚 [21].

由此可以看出, 在公共数据博弈中, 如果给所有数据博弈的参与者 (包括数据提供者、惩罚者在内) 进行自由选择, 那么对高阶惩罚者的背叛行为, 即搭便车或腐败, 实施惩罚是几乎不可能的. 为了促成公共数据博弈的合作策略的稳定性, 必须从外部引进新的数据博弈参与者, 包括机会主义者, 使他们能够以较小的代价探查惩罚制度的可信度. 换言之, 共同惩罚制度的效果取决于数据博弈中信息公开的程度. 由于高阶惩罚者的自私性, 从内部讲, 信息公开是不可能实现的, 需要外部引入新的数据博弈参与者, 所以公共数据库的开放性是共同惩罚制度有效性的唯一保证. 而对于涉及国家核心机密的公共数据博弈中, 可行的办法是对所有参与者的背叛行为采用足够大的共同惩罚, 即高压态势 (如以叛国罪判处终身监禁或死刑), 才有可能促成参与者趋于采用合作策略. 当然, 即便如此, 也不能完全保证消除数据提供者和惩罚者的背叛行为. 也就是说, 建立在任何一种共同惩罚制度基础上的数据质量控制都不可能保证获得数据完全真实的公共数据库.

5.3 公共数据博弈的委托惩罚

由于法制不健全, 中国的公共部门在履行公共管理过程中, 不能规范地购买和使用第三方服务, 包括大量雇用没有执法资格的临时人员参与执法, 如协警、税务协管员. 这种委托惩罚的方式, 在公共数据库数据管理过程中也被广泛使用, 如质量技术监督局委托特种设备维保单位核实、上报和处罚特种设备的运行台帐数据, 委托计量研究院对强制检定的计量器具年检数据进行督查和实施违法处罚. 这种行为, 在公共数据博弈中称为委托惩罚. 委托惩罚源于惩罚者始终存在降低惩罚成本的动机, 委托惩罚过程中往往伴随着搭便车和腐败行为. 由于在数据博弈过程中, 委托者和被委托者的目标是不一样的, 所以惩罚的效果也完全不同.

在公共数据管理中, 行政执法部门是最主要的惩罚者, 即数据稽查的合法执法者. 因此, 在公共数据博弈中, 作为共同惩罚的实施者可以委托惩罚, 但是委托惩罚的再委托, 理论上是不存在的. 《中华人民共和国行政处罚法》第十八条规定: “行政机关依照法律、法规或者规章的规定, 可以在其法定权限内委托符合本法第十九条规定条件的组织实施行政处罚. 行政机关不得委托其他组织或者个人实施行政处罚. 委托行政机关对受委托的组织实施行政处罚的行为应当负责监督, 并对该行为的后果承担法律责任. 受委托组织在委托范围内, 以委托行政机关名义实施行政处罚; 不得再委托其他任何组织或者个人实施行政处罚”. 但是, 实际执法过程中二次委托甚至更多次委托是无法完全杜绝的.

然而, 在公共数据博弈中, 共同惩罚者不仅包括行政执法部门而且还包括举报投诉者、行业协会等其他非执法主体. 而且执法部门的执法人员仍有可能采用私自委托的行为. 因此, 客观上讲, 公共数据博弈中委托惩罚的再委托是存在的. 随着再委托的次数增加, 惩罚者实施的惩罚对背叛者的威胁效果不断衰减, 对合作行为的促进作用下降并最终完全失效, 甚至一次委托惩罚就会使共同惩罚对合作的促进作用失效.

5.4 公共数据博弈的惩罚者的“腐败子博弈”

如前所述, 在公共数据演化博弈中惩罚者存活是有条件的, 如共同惩罚者存活依赖于观望者存在且能够以较小的代价探查惩罚制度的可信度. 在大多数情况下, 演化博弈中利他惩罚存活的几率非常小. 但是, 在实际中惩罚行为是存在的, 除了存在机会主义的围观者以外, 还有对于惩罚行为存活的其他解释, 比如, 允许惩罚者通过权力攫取一定的好处, 实现权和利的平衡.

大多是针对现实中存在的惩罚组织形式和依据来构建惩罚的模型, 试图解释惩罚何以存活以及探究惩罚的作用影响. 现在来讨论公共数据博弈中惩罚者自身的腐败, 即惩罚者本身不合作而且与非惩罚者权利不对称.

在公共数据博弈中, 有两类参与者, 一类是只提供数据但不参与惩罚, 一类是提供数据且参与惩罚. 注意一下, 第一类参与者, 即只提供数据但不参与惩罚的公共数据博弈参与者还可以分两类, 一类是没有惩罚权的参与者 (如依法向市场监管局提交食品添加剂使用台帐的食品生产企业、依法向质量技术监督局提供电梯安检数据的电梯维保企业和中介技术机构), 一类是可以选择参与惩罚但放弃惩罚的参与者 (如食品安全委员会的数据稽查部门的某些成员单位). 设非惩罚者背叛被罚 β , 对应的惩罚代价为 γ ; 惩罚者背叛被罚 β' , 对应的惩罚代价为 γ' .

由于更高层级的公共数据博弈参与者既是数据提供者又是同层和下层的惩罚者, 因此公共数据博弈参与者的策略有 4 个: 合作但绝不惩罚 C, 背叛但绝不惩罚 D, 忠诚的执法 H (自身合作且惩罚背叛者) 和腐败的执法 K (自身背叛且惩罚背叛者). 为了研究公共数据博弈中腐败行为的影响, 构建一个扩展的囚徒困境博弈:

	C	D	H	K	
C	(R, R)	(S, T)	(R, R)	(S, T)	
D	(T, S)	(P, P)	$(T - \beta, S - \gamma)$	$(P - \beta, P - \gamma)$	(11)
H	(R, R)	$(S - \gamma, T - \beta)$	(R, R)	$(S - \gamma, T - \beta)$	
K	(T, S)	$(P - \gamma', P - \beta)$	$(T - \beta, S - \gamma)$	$(P - \gamma' - \beta', P - \gamma' - \beta')$	

这个博弈等价于下面的 3 阶段的扩展式数据博弈:

(1) 第 1 阶段博弈为数据提供者博弈;

(2) 第 2 阶段选择是否参与惩罚;

(3) 第 3 阶段选择是否实施惩罚.

说两个博弈有密切关系是因为: 两个博弈都有一些参与者除了提供数据外还可以选择参与惩罚; 不同之处是对前者而言, 并非所有数据提供者都有权选择参与惩罚, 后者则是所有数据提供者都可以选择参与惩罚.

扩展式数据博弈有一个子博弈, 称为腐败子博弈:

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{cc} \text{H} & \text{K} \end{array} \\
 \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{K} \end{array} & \begin{pmatrix} (R, R) & (S - \gamma, T - \beta) \\ (T - \beta, S - \gamma) & (P - \gamma' - \beta', P - \gamma' - \beta') \end{pmatrix}
 \end{array} \quad (12)$$

当 $T - \beta > R > P - \gamma' - \beta' > S - \gamma$ 时, (K, K) 是腐败子博弈的 Nash 均衡解. 扩展式公共数据博弈存在子博弈精炼 $((D, D), (\text{Peer}, \text{Peer}), (K, K))$, 其中 $(\text{Peer}, \text{Peer})$ 表示参与者在扩展式博弈的第 2 阶段都选择参与惩罚 (即成为个体惩罚者).

在中国公共数据博弈中, 公共部门既是数据提供者也是惩罚者 (既是运动员又是裁判员). 在公共部门具备双重身份的情况下, 我们来研究惩罚者实施惩罚的效果. 为了讨论的方便, 当背叛者不被惩罚时, 提供假数据或瞒报是没有收益和成本的, 因此 $P = 0$. 由于惩罚者本身存在利益诉求, 且上下级数据稽查部门之间、稽查者与被稽查者之间的权利不对称, 故公共数据博弈的惩罚者 (也是数据提供者) 存在腐败动机, 因此 $\gamma' + \beta' < \beta$ 且 $\gamma' < \gamma$. 下面我们分两种情形讨论.

(1) 存在腐败, 但惩罚者的权利比较小: 惩罚者实施惩罚的代价和背叛的代价之和比较大, 即 $S > -\gamma' - \beta' > -\beta$, 此时 (D, D) 不再是公共数据博弈 (11) 的 Nash 均衡, 会导致合作者与腐败执法者共存;

(2) 存在腐败, 且惩罚者的权利较大: $-\gamma' - \beta' > -\beta > S$, 此时 (K, K) 是公共数据博弈 (11) 的 Nash 均衡, 同时扩展式公共数据博弈存在子博弈精炼 $((D, D), (\text{Peer}, \text{Peer}), (K, K))$, 即第 1 阶段选择背叛且第 2 阶段选择参与惩罚且第 3 阶段选择实施惩罚, 博弈的结果是导致全面的腐败.

在现实的中国公共数据博弈中, 真实的情况是, 不是所有的数据提供者都有权选择参与惩罚的, 因此上面的扩展式数据博弈模型是一种理想模型. 但是, 这并不影响我们对数据腐败的结论. 事实上, 普通的数据提供者无权参与惩罚, 它们最多只能以公众或旁观者的身份对数据造假或瞒报者和搭便车者进行举报, 在研究数据腐败过程中, 我们可以将这些数据提供者排除在外.

综合两种情形, 在公共数据博弈中, 由于腐败的存在可以导致惩罚者存在, 从而对合作的生存是有促进作用的.

关于质量技术监督的公共数据博弈实证分析也支持了上述的结论. 根据相关法律, 质量技术监督部门对水泥生产企业的产品质量数据具有稽查的责任. 但是, 在很长时期内, 由于稽查部门权利较小, 加之执法成本较大等因素, 对水泥生产数据稽查缺位, 在缩短库存周期的利益驱动下昆明市所属水泥生产企业上报的水泥质量数据 (如 3 天强度、7 天强度、28 天强度等) 出现大量瞒报或假报, 尤其 28 天强度数据基本都是假的. 从 2008 年开始, 云南省人民政府规定, 质量监督执法的罚没收入收支两条线并将 100% 的罚没收入返回云南省质量技术监督局纳入预算, 省质量技术监督局再将 40% 的罚没收入返回州、市级稽查部门, 事实上允许部门利益 (腐败行为) 存在. 这项政策迅速取得积极效果, 市质量技术监督稽查部门遂积极进行巡查和立案, 包括多家水泥厂被重罚, 填报或瞒报数据情况顿为改观. 2014 年, 云南省质量技术监督局取消省级以下垂直管理, 同时取消了罚没收入纳入预算的做法 (减少惩罚权利), 数据稽查没有了动力, 水泥生产企业的数据短期内恢复了造假和瞒报的常态.

当然, 在公共数据博弈中, 允许惩罚者有一定程度的腐败 (部门利益) 对合作者的生存有促进作用, 这并不意味着腐败的是公共数据库数据真实性的必要条件. 尽管腐败的存在促进了下一级数据提供者和同级的不具备惩罚角色的数据提供者提供真实数据 (合作) 的意愿, 但腐败的惩罚者本身又成了假数据提供者或瞒报者, 而且对单纯的数据提供者形成的收益优势 $T > S$. 根据式 (5), 由于腐败的惩罚者的优势地位对原来的忠诚的惩罚者和新加入的参与者具有聚集效应, 信息公开和公共部门内部流程数据的真实性将下降, 腐败的程度将上升. 因此, 腐败的存在对公共数据库的数据质量控制的作用有限, 甚至是负面的.

6 公共数据博弈的信息公开与媒体自由

在公共数据博弈中, 如果动态博弈的环境是封闭的, 那么外部的观望者和惩罚者无法入侵, 合作者遭遇背叛者时总是居于劣势, 忠诚的惩罚者遭遇腐败者时也是居于劣势. 也就是说, 在封闭的环境中, 公共数据博弈的演化结果是, 要么合作者消亡, 要么惩罚者全面腐败. 因此, 促进公共数据博弈中合作者增殖有赖于博弈演化环境的开放. 公共数据博弈的环境开放的主要方式是信息公开和媒体自由.

信息公开的内涵包括信息公开主体、信息公开的范围和信息公开的方式. 《中华人民共和国政府信息公开条例》规定: “信息公开的主体是各级人民政府及教育、医疗卫生、计划生育、供水、供电、供气、供热、环保、公共交通等与人民群众利益密切相关的公共企事业单位; 信息公开的范围是行政机关在履行职责过程中制作或者获取的, 以一定形式记录、保存的信息; 信息公开的方式为政府公报、政府网站、新闻发布会以及报刊、广播、电视等便于公众知晓的方式公开.” 《中华人民共和国政府信息公开条例》所发布的信息公开范围中大部分信息 (数据) 与公共产品供给有关, 特别强调了环境保护、公共卫生、安全生产、食品药品、产品质量的监督检查情况的数据.

媒体自由的内涵在于通过宪法保障媒体自由使新闻媒体成为一种制度性的组织, 并能够独立于政府之外、具有自主性、免受政府干预事实真相发布权. 第四权理论认为, 媒体作为一种公共三权 (行政权、立法权与司法权) 以外的第四权力组织, 用以监督政府、防止政府滥权, 因此第四权理论又称为“监督功能理论”. 根据第四权理论, 媒体自由的目的并不是为了形成一个意见或言论的自由市场, 也非将媒体视为政府与人民之间的中立讯息沟通管道, 更非为完成个人表达自我, 其本质在于监督公共部门是否滥用权力.

在公共数据博弈中, 信息公开和媒体自由作为揭露数据提供者的数据造假或数据瞒报行为和惩罚者的腐败或搭便车行为的外部力量, 持续不断地给公共数据博弈中的合作者和忠诚执法者提供外在“能量”, 使之获得更多的生存机会, 从而促进合作演化稳定策略的形成, 至少使合作行为不致湮灭.

信息公开和媒体自由是引入外部惩罚者和合作者的条件, 也可以增加已有数据参与者采取背叛行为的代价和惩罚者实施腐败惩罚的代价 (降低腐败执法者的权利, 即缩小权力寻租的空间). 信息公开和媒体自由本质上是公共数据博弈合作演化的一种外部正能量. 它使外部合作者、外部忠诚的执法者得以入侵的同时, 外部背叛者和外部腐败执法者由于惧怕信息公开和媒体监督而拒绝加入博弈. 从而使公共数据库系统形成耗散结构.

另一方面, 信息公开的环境下, 由于公共数据博弈的参与者往往参与多种公共数据库数据生产的过程, 从而信息公开增加了数据提供者提供假数据或瞒报和惩罚者权力寻租的风险. 多个公共数据库中的数据在信息公开后就会形成数据链. 随着公共数据链的形成, 数据串并技术和联机分析处理技术将有助数据稽查者发现背叛者, 使得背叛者的背叛行为的代价增加, 也降低了惩罚者实施惩罚的代价, 从而使合作者的生存概率增加. 同时, 信息公开和媒体自由也会使提供真实数据的参与者和忠诚的执

法者获得更高的社会信任, 并通过更高级别的信用等级获取更多的收益, 增加了背叛者和观望者的策略迁移, 促进公共数据博弈的合作演化, 甚至使合作行为成为公共数据博弈的演化稳定策略.

7 结论

通过对中国公共数据库物理网络和参与者社会网络叠加而成的复杂网络的结构分析和公共数据库本身的公共产品属性分析, 建立了公共数据库复杂网络上的公共数据演化博弈模型. 进一步在各种条件下, 对公共数据演化博弈的解的分析, 我们得到如下基本结论:

(1) 在理性假设下, 若公共数据博弈的参与者是均匀混合且不存在奖励行为和惩罚行为, 那么背叛行为将成为公共数据演化博弈的演化稳定策略, 合作者将湮灭, 公共数据库将最终崩溃. 在实际的中国公共数据库网络中的某些自治的区域内是可能存在公共数据博弈参与者均匀混合的, 针对这些均匀混合的自治区域需要改变网络结构并建立开放的环境, 引入外部合作者和忠诚执法者以消除背叛者的统治地位.

(2) 就全局而言, 在无标度的隐形网络上, 公共数据博弈的参与者不可能均匀混合, 合作者不会湮灭, 即会有一定比例的数据提供者提供真实数据. 但是, 若奖励行为和惩罚行为不被实施, 或实施的奖励和惩罚的力度不够大, 那么合作者并不能完全占领网络, 即合作也不会成为演化稳定策略.

(3) 奖励行为在公共数据博弈的前几期对合作策略的涌现是有明显效果的, 但是随着数据博弈的不断进行, 奖金对合作策略的稳定作用在衰减.

(4) 在公共数据博弈中, 尽管惩罚者存在并不能使合作成为演化稳定策略, 但惩罚者的存在有利于提供真实数据者的生存. 特别要指出的是, 当腐败的惩罚者的权利过大时, 虽然有利于真实数据的提供者生存, 但腐败的惩罚者会占领整个网络, 从而公共部门的流程数据将是全为假的或被瞒报.

(5) 在公共数据博弈中, 信息公开和媒体自由作为揭露数据提供者的数据造假或数据瞒报行为和惩罚者的腐败或搭便车行为的外部力量, 持续不断地给公共数据博弈中的合作者和忠诚执法者提供外在“能量”, 使之获得更多的生存机会, 从而促进合作演化稳定策略的形成, 至少使合作行为不致湮灭.

(6) 经过将理论分析的结果与实际的昆明市质量技术监督信息系统公共数据管理的实证分析、数据库建设和维护应用经验作比较, 说明理论分析的结果与现实的中国公共数据库数据质量控制过程的表现是吻合的.

但是, 在实际中, 各种公共数据库的条件和环境存在很大差异, 公共数据博弈的演化会更加复杂. 由于条件和环境的改变, 中国公共数据库数据博弈的合作演化方向表现出多样性. 因此, 在公共数据演化博弈研究中, 有众多课题有待深入, 如奖励行为和腐败共生时合作行为演化方向、奖励行为和惩罚行为的效果边际分析等都是有待深入研究的课题. 更有意义的课题还包括针对特定的公共数据库, 采用适当手段设计面向数据管理人员和稽查人员行贿的实验, 用实证方法研究行贿对公共数据演化博弈的影响, 甚至包括公共数据库数据质量对行贿金额的边际效应.

参考文献

- 1 Tu Z P. The Big Data Revolution. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2012 [涂子沛. 大数据. 桂林: 广西师范大学出版社, 2012]
- 2 Liu W Q. Modeling data quality control system for Chinese public database and its empirical analysis. Sci Sin Inform, 2014, 44: 836-856 [刘文奇. 中国公共数据库数据质量控制模型体系及实证. 中国科学: 信息科学, 2014, 44: 836-856]

- 3 Ma H D, Song Y N, Yu S Y. The research of IoT architecture model and internetworking mechanism. *Sci Sin Inform*, 2013, 43: 1183–1197 [马华东, 宋宇宁, 于帅洋. 物联网体系结构模型与互连机理. *中国科学: 信息科学*, 2013, 43: 1183–1197]
- 4 Smith J M, Price G R. The logic of animal conflict. *Nature*, 1973, 246: 15–18
- 5 Nowak M A, May R. Evolutionary games and spatial. *Nature*, 1992, 359: 826–829
- 6 Nowak M A. Five rules for the evolution of cooperation. *Science*, 2006, 314: 1560–1563
- 7 Chen G R, Wang X F, Li X. *Introduction to Complex Networks: Models, Structures and Dynamics*. Beijing: Higher Education Press, 2015
- 8 Santos F C, Pacheco J M. Scale-free networks provide a unifying framework for the emergence of cooperation. *Phys Rev Lett*, 2005, 95: 98–104
- 9 Apicella C L, Marlowe F W, Fowler J H, et al. Social networks and cooperation in hunter-gatherers. *Nature*, 2012, 481: 497–501
- 10 Wang L, Cong R, Li K. Feedback mechanism in cooperation evolving. *Sci Sin Inform*, 2014, 44: 1495–1514 [王龙, 丛睿, 李昆. 合作演化中的反馈机制. *中国科学: 信息科学*, 2014, 44: 1495–1514]
- 11 Clutton-Brock T H, Parker G A. Punishment in animal societies. *Nature*, 1995, 373: 209–216
- 12 Ostrom E, Walker J, Gardner R. Covenants with and without a sword: self-governance is possible. *Am Polit Sci Rev*, 1992, 86: 404–417
- 13 Fehr E, Gächter S. Cooperation and punishment in public goods experiments. *Am Econ Rev*, 2000, 90: 980–994
- 14 Fehr E, Gächter S. Altruistic punishment in humans. *Nature*, 2002, 415: 137–140
- 15 Masclet D, Noussair C, Tucker S, et al. Monetary and nonmonetary punishment in the voluntary contributions mechanism. *Am Econ Rev*, 2003, 93: 366–380
- 16 Gürer O, Irlenbusch B, Rockenbach B. The competitive advantage of sanctioning institutions. *Science*, 2006, 312: 108–111
- 17 Nowak M A, Sigmund K. Tit for tat in heterogeneous populations. *Nature*, 1992, 355: 250–253
- 18 Milinski M, Semmann D, Krambeck H J. Reputation helps solve the “tragedy of the commons”. *Nature*, 2002, 415: 424–426
- 19 Sigmund K, de Silva H, Traulsen A, et al. Social learning promotes institutions for governing the commons. *Nature*, 2010, 466: 861–863
- 20 Zhang B, Li C, de Silva H, et al. The evolution of sanctioning institutions: an experimental approach to the social contract. *Exp Econ*, 2014, 17: 285–303
- 21 Schoenmakers S, Hilbe C, Blasius B, et al. Sanctions as honest signals—the evolution of pool punishment by public sanctioning institutions. *J Theor Bio*, 2014, 356: 36–46

Public data evolution games on complex networks and data quality control

Wenqi LIU^{1,2}

¹ Center for Data Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

² Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

E-mail: liuwenq2215@sina.com

Abstract A public database is a special kind of public goods in which data quality control involves solving some basic problems in public management science at the interface with data science. A public database network is a complex body with some physical objects associated with each other (a visible system) and some partners of the public data game (an invisible system); the quality of public data is reflected synthetically by the database technology and evolution of the public data game. From the viewpoint of public goods management, the availability of data in public databases depends on the cooperation evolution of the public data game for same data cleansing technology. The Chinese public data network is regarded as a scale-free complex network on which the

corresponding data game is an evolutionary game. Using the models of a prisoner's dilemma game and extended prisoner's dilemma game, the existence of an evolutionary stable strategy is discussed for the public data game. With the theoretical modeling of complex network analysis, it is further regarded that the collaborators of the public data evolution game would survive on the scale-free complex network, and that cooperative strategy even becomes a stable strategy of the public data evolutionary game through strong punishment or by returning all fines to the punisher. The corruption sub-game model of the public data evolutionary game is established to analyze the influence of the punisher's corruption. By constructing the corruption sub-game model, the rights of the data auditor are beneficial for cooperative behavior to survive, and when the stronger rights of the auditor would result in total corruption. Finally, we discuss the extent to which information disclosure and freedom of media help to limit the rights of the public auditor, while helping the cooperator and loyal punisher to irrupt, such that the cooperator's survival increases to improve the data quality in public databases.

Keywords public databases, data quality, public data evolutionary game, evolutionary stable strategy, reward, punishment, corruption sub-game



Wenqi LIU was born in 1965. He received his Master's degree in science from the Beijing Normal University, Beijing, in 1995. Currently, he is a professor at Kunming University of Science and Technology. His research interests include data mining, decision making, information fusion, and information systems.