

涨落理论在二人常数和博弈实验中的验证

许彬 王志坚

实验社会科学实验室, 浙江大学, 杭州, 310058, wangzj@zju.edu.cn

关键词: 涨落理论; 实验经济学方法; 熵增; 混合纳什均衡; 非平衡稳态系统

摘要

目标: 常数和 2×2 (constant sum 2 by 2 game) 博弈系统是具有唯一混合纳什均衡(mixed strategy Nash equilibrium, MSNE)的社会相互作用系统, 社会瞬间状态随时间改变, 而长期而言, 均衡点又是稳定的, 这样的系统又被经济学家称为稳态(stationary state)系统[1]。类似的系统在物理学上被称为稳态系统或非平衡稳态系统(non-equilibrium steady state, NESS)。近来, 以涨落理论(Fluctuation Theorems, FT)为代表[2], 人们对 NESS 的认知得以深入。FT 得到了实验支持, 尤其是在小系统和短时间观测数据中[5]。我们的问题是: FT 是否可以得到实验经济学的人群相互作用系统的实验支持。

数据: 实验数据来自 14 个不同支付矩阵的二人常数和 2×2 博弈; 其中, 前 10 个来自文献[3], 每一个博弈重复 9 次, 每次连续进行 500 轮, 而样本是美国三所大学的学生; 后 4 个是我们专门设计的一组拥有典型的(0.5, 0.5)为混合纳什均衡的硬币配对博弈, 各重复了 10 或 12 次, 每次 300 轮, 参与人的样本是浙江大学的学生, 且后三个实验是人机交叉配对的三种控制参数的实验。这些系统的态数为 4 (记为[0,0],[1,0],[1,1]和[0,1]), 是状态数最小的相互作用的社会系统。

方法: 在固定配对的二人 2×2 实验中, 每一个计时(t , 实验中的轮)之间, 社会在 4 态间跃迁。采用时间间隔采样(Interval sampling)方法和熵增加(湮灭)的微观定义[4], 每次跃迁按逆(顺)时针方向记为 $+1(-1)$, 其余记为 0。这样, 可以得到一个给定时间区间 M 的净跃迁的数量 m (m 值域为 $0, \pm 1, \dots, \pm M$)。在实验数据上, 分别对 14 组实验数据, 我们可对 m 的频次进行统计进而得到给定 M 的密度分布 $p(m)$ 。利用 $p(m)$, 我们可以验证 FT 的关系式, 也就是 $\ln[p(m)/p(-m)]$ 是否线性地依赖于 m 。

结果: 我们得到 14 个实验的 $p(m)$ 和累计转动角度 Θ 与 t 的关系。统计结果显示, FT 的预言的线性关系得到了稳定的支持。与胶体分子[5]和分子马达[6]相似, 随着 M 取值增大, 可观测到的熵减(背离热力学第二定律[5])过程越来越小。本文提供了人群样本与分子马达样本[6]的比较; 同时本文提供利用马尔可夫链熵增计算方法[9]对时间间隔采样法[4]进行了独立评价, 结果是时间间隔采样法得到支持。

结论: 本文首先报告了 FT 预言在实验经济学系统中的检测结果, 结果是 FT 得到支持。同时, 本文首先揭示了 MSNE 系统中的运动规律, 如 $p(m)$ 和 $\Theta(t)$ 。通过不同对象的实验结果对比, 以 FT 为例, 本文为社会系统运动规律与物理系统运动规律的一致性[7,8]提供了一个实验证据。

参考文献:

- [1] R. Selten and T. Chmura, *The American Economic Review* 98, 938 (2008).
- [2] D. J. Evans, E. G. D. Cohen, and G. P. Morriss, *PRL* 71, 2401 (1993).
- [3] I. Erev, A. Roth, R. Slonim, and G. Barron, *Economic Theory* 33, 29 (2007).
- [4] D. ben-Avraham, S. Dorosz and M. Pleimling, *PRE* 84, 011115 (2011).
- [5] G. Wang, E. Sevick, E. Mittag, D. Searles, and D. Evans, *PRL* 89, 50601 (2002).
- [6] K. Hayashi, H. Ueno, R. Iino, and H. Noji, *PRL* 104, 218103 (2010).
- [7] 可由 <http://socexp.zju.edu.cn> 或 <http://ssrn.com/abstract=1910045> 下载
- [8] C. Castellano and V. Loreto, *Reviews of Modern Physics* 81, 591 (2009).
- [9] B. Andrae, J. Cremer, T. Reichenbach, and E. Frey, *PRL* 104, 218102 (2010).