

# 人类的合作及其演进：研究综述和评论

黄少安 张 苏

**摘要：**“合作演进的原因”被称为“驱动基础科学研究以及决定未来科学研究方向”的25个重大科学难题之一。这一问题的提出引发了大量的自然科学实验、经济学实验以及理论研究。这些研究成果对于解释“合作演进的原因”以及现代经济学理论体系的拓展具有重要作用。合作是促使公共利益“蛋糕做大”的行为；而竞争是争夺周围的生存资源、试图“分得更大份额的蛋糕”、但不创造有利于他者生存的资源的行为。合作演进的重要原因有两条：第一，科学实验表明，人类大脑具有“奖励合作”、“惩罚不合作”的脑神经基础。在奖励合作的“脑回报区域”，合作行为能够自我强化，这一行为本身就具有回报性，其对行为的支配作用要超过经济利益的诱导作用。在惩罚不合作的脑尾部核区域，“利他惩罚”也具有自我强化功能，即使有成本的利他惩罚行为也能够带来愉悦感。第二，基于第一个原因，人类设计了一系列机制、制度（比如将亲缘选择、直接互惠、间接互惠、强互惠、网络互惠、组间选择等合作动力的制度化）、环境，使得群体中“先进参与人”的适应性追赶“落后参与人”的适应性，并取代“落后参与人”，促使合作均衡从最小值纳什均衡解向最大值合作解演化。这些研究成果对于拓展博弈理论中纳什均衡、子博弈精炼纳什均衡、贝叶斯纳什均衡、精炼贝叶斯纳什均衡的思想具有重要启发意义。

**关键词：**合作 演进 博弈 合作均衡

作者黄少安，经济学博士，教育部长江学者特聘教授，山东大学经济研究院院长（山东 250100）；张苏，经济学博士，中央财经大学经济学院副教授（北京 100081）。

## 一、引言

2005年，《科学》杂志创刊125周年之际，组织全世界最优秀的科学家提出了125个“驱动基础科学研究以及决定未来科学研究方向”的科学难题，其中25个“大问题”，100个小问题<sup>①②</sup>。25个大问题中有23个是纯粹的自然科学问题，比如“宇宙由什么构成”、“意识的生物学基础是什么”，等等，只有两个问题同时还是社会科学问题，一个是“马尔萨斯的人口论观点会继续错下去吗”，一个是“人类的合作行为如何演进”。2005年7月1日出版的《科学》杂志对这25个问题分别作了介绍。在关于“合作”的论文中，作者指出：“合作在诸多物种中盛行，这意味着，尽管在我们人类这个物种中，民族的、政治的、宗教的冲突非常多，合作仍然是一个更好的生存战略”，作者指出，这是一个需要演化生物学家、动物学家、神经科学家、经济学家共同努力来研究的课题，需要最终探索出“到底是什么因素在促成我们的合作精神”<sup>③</sup>。2006年4月的《自然》杂志援引英国皇家学会主席罗伯特·梅（Robert May）的观点说：“在演化生物学领域，或者更一般地说，在社会科学领域，最为重要而又没有解决的问题是：在人类社会以及其他动物群体中，合作行为是如何演化、如何维持的”<sup>④</sup>。

“合作难题”在现实中迫切需要解决。在2006年4月号的《自然》杂志上发表的题为《合作的困境》的一文中，作者以英吉利海峡等海域的渔业资源为例说明了每个人都面临的合作困境：如果自己禁渔但其他人不禁渔，自己的福利一定比别人都少；但如果大家都禁渔，自

<sup>①</sup> Donald Kennedy, 2005, 125, SCIENCE VOL 309 1 JULY.

<sup>②</sup> Donald Kennedy, and Colin Norman, 2005, What Don't We Know? SCIENCE VOL 309 1 JULY.

<sup>③</sup> Elizabeth Pennisi, 2005, How Did Cooperative Behavior Evolve, SCIENCE VOL 309 1 JULY.

<sup>④</sup> Andrew M. Colman, 2006, The puzzle of cooperation, NATURE, Vol 440, 6, April, P744.

己偷偷去捕鱼,又不会对海里的渔资源产生伤害;人人都这样想,海洋渔业资源就必然枯竭,所有渔民的福利都减损了<sup>⑤</sup>。能源危机、环境危机、战争危机的产生,都存在合作难题,迫切需要解决。

## 二、“合作”与“合作均衡”的科学定义

2005年7月1日出版的《科学》杂志在关于“合作”的论文中,并没有明确给出“合作”的定义,但举了两个“合作”的例子:雌性动物放弃繁殖的机会,反而来照顾比自己更有优势的母的孩子;雄性黑猩猩团结起来共同对付入侵者,虽然这需要付出成本<sup>⑥</sup>。Andrew M. Colman (2006)举出了一个“不合作”的例子:英国的父母花钱给自己的孩子注射麻疹-腮腺炎-风疹(MMR)联合疫苗的比例越来越低,这些父母想,其他父母会给孩子打这种疫苗,因而会形成“群体免疫”,所以我不可以不给孩子打。事实上,如果都这样推理的话,每个人的福利都会比大家都合作的更低<sup>⑦</sup>。Ashleigh S. Griffin<sup>1</sup>, Stuart A. West<sup>1</sup> & Angus Buckling (2004)从细菌生存繁衍的例子中抽象出了竞争与合作的定义:竞争是指争夺周围的生存资源,但自己不创造有利于他者生存的资源;合作是自己付出成本为他人以及临近组织创造生存资源的利他行为<sup>⑧</sup>。Michael Mesterton-Gibbons and Eldridge S. Adams (2002)以及 Barry Sinervo and Jean Clobert (2003)对合作的定义是:合作是使双方支付近期成本而获得远期更大利益的“延期互惠行为”<sup>⑨⑩</sup>。John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston (2004)对合作的定义是:合作是对公共产品作贡献,而竞争是攫取其他人对公共产品的贡献<sup>11</sup>。Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg (2004)以及 Martin A. Nowak (2006)对合作的定义是:合作是指花费成本来帮助他人,而不是得到了利他主义的帮助却不进行回报<sup>1213</sup>。黄少安等(2011)<sup>14</sup>定义合作时,强调要结合主体的意识性和行为的经济性,强调合作的基本特征是“自愿选择”和“自利性与互利性的统一”。认为“合作”是相对于竞争(广义的“竞争”,不等于新古典体系中描述市场结构的“竞争”)而言的。合作行为强调互利,并不违背人性和进化论的观点,应该成为社会倡导的一种主流文化。

这些定义的实质相同,综合起来表述如下:合作者追求自利性与互利性的统一,自己付出成本  $c$ , 向其他人或者“公共品”提供价值为  $b$  的贡献 ( $b > c$ ); 也就是说,合作是促使公共利益“蛋糕做大”的行为;而竞争行为是指争夺周围的生存资源,但自己不创造有利于他者生存的资源,试图“分得更大份额的蛋糕”。

John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston (2008)<sup>15</sup>, 黄少

<sup>⑤</sup> Andrew M. Colman, 2006, The puzzle of cooperation, NATURE, Vol 440, 6, April. P744.

<sup>⑥</sup> Elizabeth Pennisi, 2005, How Did Cooperative Behavior Evolve, SCIENCE VOL 309 1 JULY.

<sup>⑦</sup> Andrew M. Colman, 2006, The puzzle of cooperation, NATURE, Vol 440, 6, April. P744.

<sup>⑧</sup> Ashleigh S. Griffin<sup>1</sup>, Stuart A. West<sup>1</sup> & Angus Buckling, 2004, Cooperation and competition in pathogenic bacteria, NATURE, VOL 430, 26 AUGUST.

<sup>⑨</sup> Michael Mesterton-Gibbons and Eldridge S. Adams, 2002, The Economics of Animal Cooperation, SCIENCE, DECEMBER, VOL 298.

<sup>⑩</sup> Barry Sinervo and Jean Clobert, 2003, Morphs, Dispersal Behavior, Genetic Similarity, and the Evolution of Cooperation, SCIENCE, VOL 300 20 JUNE.

<sup>11</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston, 2004, Variation in behaviour promotes cooperation in the Prisoner's Dilemma game, NATURE, VOL 428, 15 APRIL.

<sup>12</sup> Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg, 2004, Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations, NATURE, VOL 428, 8, APRIL.

<sup>13</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE, 8 DECEMBER VOL, 314.

<sup>14</sup> 黄少安和韦倩, 2011, 《合作行为与合作经济学》, 《经济理论与经济管理》, 第2期

<sup>15</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston, 2008, The coevolution of choosiness and cooperation, nature, Vol 451, 10 January.

安（2000）<sup>16</sup>等人从不同角度提出了“合作均衡”的思想。结合这些文献描述如下：每个人既有合作性特质（cooperativeness trait），也有竞争性特质（competitiveness trait）<sup>17</sup>，比如，A、B两人发生经济行为，A的合作性特质是指，A愿意为B的收益贡献的禀赋和劳动量，用x描述；A的竞争性特质是指，A希望B为自己的收益贡献的最小禀赋和劳动量，用y描述。那么，对应地，可以定义B的合作性特质和竞争性特质分别为（x',y'）。如果满足

$(x - y) \cdot (x' - y') < 0$ ，则发生“不幸的合作”，合作会解散。现用几何图形1描述合作均衡：

图1中，纵轴为A愿意为B的收益贡献的禀赋和劳动量x，横轴为某一个B愿意为A的收益贡献的禀赋和劳动量x'，而且这一个值不小于A希望B为自己的收益贡献的最小禀赋和劳动量y，称作A的“合作门槛”（cooperation threshold）。如果B的贡献小于这一值，A将解散B，合作均衡被打破。图中任何一点如果满足：

$$\begin{cases} x - y' \geq 0 \\ x' - y \geq 0 \end{cases} \quad (*)$$

则发生双方满意的合作，实现了合作均衡。合作均衡的最小值是纳什均衡解（Nash solution），也就是，在囚徒困境的制度环境下，A、B两人从个人理性出发投资的个人禀赋和劳动量，该理论预测值为0，但实验条件下一般不为零<sup>18</sup>，见图1的下边界。合作均衡的最大值为合作解（cooperative solution），也就是双方从集体理性出发，最大化合作收益时双方付出的禀赋和劳动量<sup>19</sup>，见图1的上边界。图中阴影部分为现实的合作均衡。这里提出的重要问题是，如何进行机制设计，使现实的合作均衡从纳什均衡解演化到合作解。

合作主体不同，现实的合作均衡不同。比如，A处于M点时，A对合作的付出比希望别人的合作付出要大（注意到图中斜线为45°线），A处于N点时，A对合作的付出比希望别人的合作付出要小，这是完全不同的合作特质，必然对合作均衡产生影响。

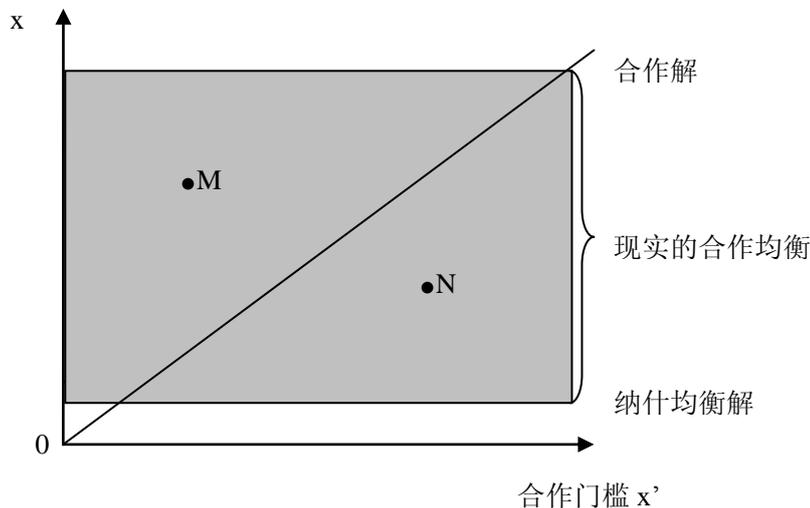


图1 合作均衡

<sup>16</sup>黄少安，2000，《经济学研究重心的转移与“合作”经济学构想——对创建“中国经济学”的思考》，《经济研究》，第5期。

<sup>17</sup>在 John M. McNamara, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston (2008) 那里，使用的是选择性特质（choosiness trait）。

<sup>18</sup> Houston, A. I. & Davies, N. B., 1985, in Behavioural Ecology (eds Sibly, R. M. & Smith, R. H.) (Blackwell Scientific Publications, Oxford), pp.471-487.

<sup>19</sup> Parker, G. A., 1985, Models of parent-offspring conflict. V. Effects of the behavior of the two parents. Anim. Behav. 33, pp.519-533.

合作动力不同、合作环境不同，实现的合作均衡也会不同，下文将进行论述。

### 三、“合作决策”的脑神经基础

按照主流的进化论，进化是在个人之间激烈的竞争基础之上发生的，由此来看，只有自私行为才能得到进化意义上的回报，即每一个基因，每一个细胞，每一个生物，在其演化路径上，都应该是以竞争者的损失作为代价来提高自己的进行能力为导向的。但是，我们可以观察到生物组织在很多层面上展开了合作：基因在基因组中展开合作；染色体在真核细胞层面展开合作；细胞在多细胞生物中进行合作。动物之间也有很多合作。人类是合作行为的冠军：从狩猎社会到民族国家，合作一直是人类社会起决定性作用的组织原则。地球上再也没有其他物种从事着与人类相同复杂程度的合作与竞争。自然选择是如何导致合作行为的呢，这个问题还一直没有得到解决<sup>20</sup>。

Martin A. Nowak (2006) 的模型规范化了这个问题的表述<sup>21</sup>：如果人类最初都是合作者（用C表示，如图2），因为某种变异产生了竞争者（或者欺骗者，用D表示），自然选择（natural selection）必然是有利于竞争者的。

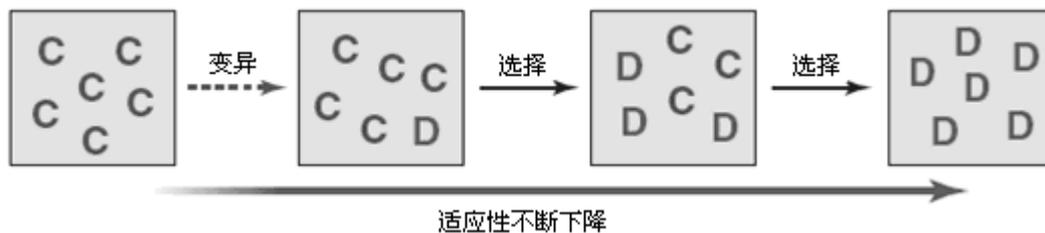


图2 自然选择导致合作者适应性降低<sup>22</sup>

因为，如果最初人数为N，合作者数量为i，显然竞争者的适应性是  $f_D = bi/(N-1)$ ，

合作者的适应性是  $f_C = b(i-1)/(N-1) - c$ ，这里有  $f_C < f_D$ ，自然选择的结果是合作者数

量i递减。整个人类的适应性是  $\bar{f} = (b-c)i/N$ ，所以  $\bar{f}$  必然递减，导致人类灭绝。人类要

延续发展，必须有这样的理性思维，虽然自我作为微观个体获得了更多的资源，但是整体的适应性在下降，整体的状况恶化的时候，自己的福利会不可逆转的减少。

人类大脑具有这种思维的脑神经基础。现在我们从两方面的科学实验结果来阐述。

第一类研究探讨了“奖励合作”的脑神经基础。合作行为要在一个物种中延续，必须满足的先决条件是：该物种的脑活动中存在这样一种机制：能够权衡远期回报、远期惩罚与即期收益，从而阻断仅仅接受但不回报利他主义的动机<sup>23</sup>。只有存在这样一种机制，才能使维持合作的远期利益得以实现。为探明这里的神经基质（neural substrates），James K. Rilling, David A. Gutman, et al (2002) 设计了这样的实验<sup>24</sup>：让参与人俩俩进行重复囚徒困境博弈，参与人独立选择合作或者不合作；根据双方的选择给与实际经济报酬。每一回合有四种结果：A 和 B 两个参与人都选择合作（CC）；A 选择合作，但 B 选择欺骗（CD）；A 选择欺骗，B

<sup>20</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE ,8 DECEMBER VOL,314.

<sup>21</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE ,8 DECEMBER, VOL,314.

<sup>22</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE ,8 DECEMBER , VOL,314,P1560.

<sup>23</sup> Frank, R.H. ,1988, Passions within Reason: The Strategic Role of the Emotions, First Edition, New York: Norton.

<sup>24</sup> James K. Rilling, David A. Gutman, et al, 2002, A Neural Basis for Social Cooperation, Neuron, Vol. 35, 395-405, July 18.

选择合作 (DC); A 和 B 都选择欺骗。支付的经济报酬满足  $DC > CC > DD > CD$ 。<sup>25</sup>四种结果分别对应不同的社会交往场合: DC 是指 A 选择不合作, 而 B 选择合作, 这样 A 以 B 付出代价为前提获得利益。CD 正好相反。CC 是指共同合作, 而 DD 指双方非合作。在现实中有很多这些场合的例子。

实验的第一步: 计算博弈结果 CC 之后四种结果出现的转移概率。James K. Rilling, David A. Gutman, et al (2002) 设计了四种不同的情形来计算 (比如设计博弈方相互认识或者匿名的情形), 不论哪种情形, CC 之后出现 CC 的转移概率最大, 将这四种情形的转移概率计算平均值, 结果如图 3 所示: 参与人在共同合作的前提下: 下一轮博弈中出现共同合作的概率平均为 71.25%, 有一方出现欺骗的概率平均小于 20%, 双方都进行欺骗的概率平均小于 3%。这一步试验揭示了人们存在共同合作之后继续合作的倾向性。

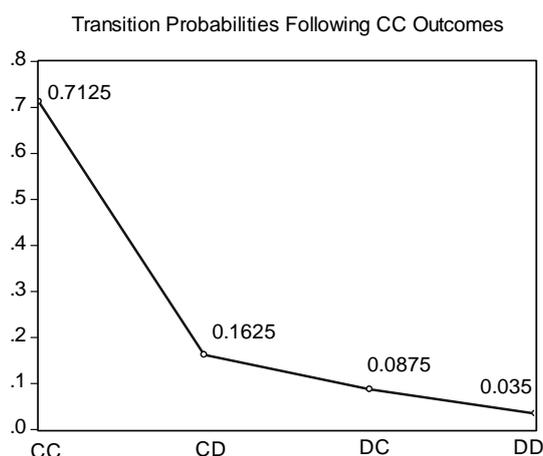


图3 实验中合作与非合作的转移概率<sup>26</sup>

实验的第二步: 利用功能磁共振成像技术 (fMRI : functional magnetic resonance imaging) 测试参与人在四种结果之后的神经反应 (neural response)。其结果是, CC、DD 结果的反应要比 CD、DC 结果的强烈得多。从简单的认知心理来看, CD、DC 结果至少让一个参与人反感, 因而下一轮博弈中不会重复这一结果, 相反, CC、DD 结果是稳定的, 会重复出现。这里的一个推测是, CC 和 DD 结果, 也就是“共同合作”与“共同欺骗”具有“行为自我强化性”。这里需要排除的一个可能性是, 这种自我强化是由于 CC 结果下的金钱激励形成的。实验人员进行了这样的对比实验: 让参与人获知博弈的对象是计算机, 而不是社会人。这就使得与人博弈是“社会场合” (social context), 而与计算机博弈的场合称为“非社会场合” (nonsocial context)。对比实验表明, 虽然激励金一样, 但非社会场合下的 CC 结果出现时的神经反应比社会场合下 CC 结果要小得多。这就说明, 如果“共同合作”与“共同欺骗”具有“行为自我强化性”, 这是与金钱激励没有关系的。

实验的第三步: 这也是最重要的, 既然人们存在共同合作之后继续合作的倾向性, 而且“共同合作”能带来更强烈的脑神经反应, 那么, 是不是有一个特定的脑区域与这种“倾向性”相对应呢? 为了寻找这一脑区域, 可以测试人们“共同合作” (或者“共同欺骗”、“别人合作而我欺骗”、“别人欺骗而且合作”) 之后、一方选择下一个行动 (或者“合作”、或者“欺骗”) 之前这一间隙的脑神经反应——具体说, 这一间隙之内 (James K. Rilling, David A. Gutman, et al (2002) 设定为 6 秒) 哪一个或者哪几个脑区域的血氧水平依赖信号 (blood oxygen level-dependent, 简称 BOLD) 发生了显著变化。James K. Rilling, David A. Gutman, et al (2002) 的发现是, 在 XC, CX; XC, DX; XD, CX; XD, DX 这四种间隙中, (XC, CX), 也就是别人合作

<sup>25</sup> 同时满足  $CC > (CD + DC) / 2$ 。

<sup>26</sup> 图中数据根据 James K. Rilling, David A. Gutman, et al (2002, P397, Table 2) 计算。

之后我合作，比其他情况更能激活脑部的rACC以及 anteroventral striatum两个区域，如图4所示。



图4 奖励合作的脑区域<sup>27</sup>

这三步试验正好发现了大脑“奖励合作”的脑神经基础：相对其他三种情况，(XC,CX)激活上述脑区域是非常显著的，在实验中P值小于0.01。这两个区域正好是“脑回报区域”，其特点是，能激活这一脑区域的行为能够自我强化，行为本身就具有回报性，不再需要额外的回报（比如经济利益的回报）。这说明，别人合作之后，下一次（不管是不是还是与这个人博弈）我的“合作行为”能促使rACC以及 anteroventral striatum两个脑区域的血氧水平显著上升。此愉悦的脑反应本身就让人感到是一种报酬，其对行为的支配作用要超过经济利益的诱导作用。

第二类研究探讨了“惩罚不合作”的脑神经基础。常常可以观察到，在没有经济报酬的情况下，人们还会自己付出成本去惩罚那些不合作者，且可能是第三方惩罚，第三方日后没有任何机会与其进行交易。这些现象正是理性递增的表现。这就对传统的社会科学框架（比如博弈论）提出挑战，在没有声誉机制的情况下，人们为什么会做出非利益最大化的惩罚决策呢？Dominique et al（2004）在《科学》杂志发表的文章提出的假说是，人们之所以自愿承担成本来惩罚不合作者，因为利他惩罚（altruistic punishment）能激活人脑的报偿区域（reward-related brain regions），给人带来满意和解脱之感，使自己获得利他奖赏（altruistic rewarding）<sup>28</sup>。

Dominique et al（2004）使用 $H_2^{15}O$ 正电子发射断层扫描（positron emission tomography, 简称PET）技术寻找到了利他惩罚的脑神经基础。

首先设计如下试验：A、B两人匿名的参与试验，试验前各给10单位钱。A先做决定，如果信任B，送给B自己的10单位钱，如果不信任就不送；B拿到钱以后，试验人员再给B30单位的钱，那么B就一共有50单位的钱了，如果B讲诚信，返回25单位给A，如果不讲诚信，50单位钱B全部自己留住。该实验正好拟合了社会合作的基本过程：A将自己的资源禀赋给B，B使用这种资源以及自己的资源实现增值（在实验中B的收益增加到了50单位），然后分配合作收益。这里B有更大的讨价还价优势，在合作收益分配中有决定性影响。现引入“惩罚机制”，在试验前额外给每人20单位钱，并赋予A20单位的“罚点”：惩罚情况有四种：（1）故意不合作、有成本惩罚（intentional and costly, 简称IC）。这是指B自己决定是否返回25单位钱给A，如果不返回，说明B故意破坏了合作意向；这时A对B处以0-20单位的罚点，每单位罚点使A损失1单位钱，使B损失2单位钱。（2）故意不合作、无成本惩罚（intentional and

<sup>27</sup> James K. Rilling,1,2 David A. Gutman,et al, 2002, A Neural Basis for Social Cooperation, Neuron, Vol. 35, 395-405, July 18,P402.

<sup>28</sup> Dominique J.-F. de Quervain, Urs Fischbacher,Valerie Treyer, Melanie Schellhammer, Ulrich Schnyder, Alfred Buck, Ernst Fehr, The Neural Basis of Altruistic Punishment, 2004, SCIENCE , 27 AUGUST, VOL 305 .

free, IF)。这里B仍然自己决定是否返回25单位给A；A对B处以0-20单位的罚点，但每单位罚点不会使A有损失，却使B损失2单位钱。(3)故意不合作，象征性惩罚(intentional and symbolic, 简称IS)。这里B仍然自己决定是否返回25单位给A；A对B处以0-20单位的罚点，但每单位罚点不会使A和B有经济损失。(4)非故意不合作，有成本惩罚(nonintentional and costly, 简称NC)。这里，B不自己决定是否返回25单位钱给A，而是由一个随机设备决定(这一信息A知道)；这时A对B处以0-20单位的罚点，每单位罚点使A损失1单位钱，使B损失2单位钱。

该实验过程中，A获知B的决定后，A有1分钟时间来思考是否给与惩罚，研究人员在这一间隙用PET技术测试A的脑部反应。其结论如下：

第一，在三个B故意不合作的场合(IC, IF, IS)，A觉得非常不公平，并对B表现出强烈的惩罚意愿，相对于非故意不合作场合(NC)，故意不合作的场合下，A对B实施的惩罚要多得多(NC下A几乎不实施惩罚)。

第二，寻找到了利他惩罚的脑神经基础。IC、IF两种场合下，PET技术观察到，脑部尾状核(caudate nucleus)区域激活状态明显高于常态，这两种状态下被试人表现出强烈的惩罚意愿而且能够满足这种意愿；IS、NC两种场合下，脑部尾状核区域激活状态明显低于常态，这两种状态下，被试人要么不能满足惩罚的意愿，要么没有动机实施惩罚。

第三，实验证明，利他惩罚的脑决策过程是：A观察到B故意不合作，A的脑部尾状核区域被激活，被激活的程度越大，其期望从惩罚中获得的满足感就越强，从而实施的惩罚的力度就越大。

Dominique et al (2004) 的实验与 Fehr, E. and Gächter, S (2002) 的思想非常接近<sup>29</sup>：利他惩罚是人类社会合作得以持续发展的重要基础。利他惩罚的目的不同于竞争者“个人利益最大化”的目的，是试图是社会整体利益最大化。

## 四、“合作”中的个人

理性经济人假设下，经济活动参与人的身份特征、行为特征对经济活动结果的影响被很大程度的忽略了或者简化了，比如，人们的诚实(honesty)、可靠(trustworthiness)、忠诚(loyalty)、为他人着想(consideration)的品格特征就很大程度的被经济学家忽视了<sup>30</sup>。假设个人不顾集体利益只顾个人利益最大化情况下的理论模型推出的结论在实际中常常得不到验证。比如，陌生人公共产品投资博弈模型(public goods game by anonymous subjects)中，理论推测的结果是，人们对公共产品的投资将为零；事实上，对人们进行抽样试验的结果是，有人会拿出可观的费用为公共产品产出做贡献<sup>31</sup>。

经济活动参与人的身份特征、行为特征不同，合作动力以及形成的合作均衡不同，关于“合作中的人”的特征，科学试验已经得出如下重要结论：

(1) 个人的“固有倾向性”(innate prosociality)对于合作均衡具有重要影响。一般的经济理论认为，人们在与亲密的人交往过程中，会受道德情操支配，但在与陌生人交往的过程中，人成为“利益最大化的自私者”<sup>32</sup>。B. Herrmann 等人2008年在《科学》杂志发表的研究结果表明，这一观点并不正确<sup>33</sup>。人们在与陌生人交往的过程中，也有很大的“固有倾向性”，在合作问题上，有的人合作的固有倾向性很大，而有的人会很小。B. Herrmann et al (2008) 对15个不同国家的大学生进行陌生人公共产品投资博弈试验，他们发现，在社会道

<sup>29</sup> Fehr, E. and Gächter, S, 2002, Altruistic Punishment in Humans. Nature, 415, pp.137-140.

<sup>30</sup> Gneezy, U., 2005, Deception: the role of consequences, American Economic Review, 95, pp.384-394.

<sup>31</sup> J. O. Ledyard, 1995, Public Goods: A Survey of Experimental Research, in The Handbook of Experimental Economics, J. H. Kagel, A. E. Roth, Eds. (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1995), pp. 111-194.

<sup>32</sup> Herbert Gintis, 2008, Punishment and Cooperation, SCIENCE, VOL 319, 7 MARCH.

<sup>33</sup> B. Herrmann et al., 2008, Antisocial Punishment Across Societies, Science, 319, pp.1362-1367.

德氛围良好的国家，大学生们出于道德谴责（而不是经济利益驱动）将提高合作水平并惩罚那些不合作者；而在社会道德氛围差的国家，大学生们自己不但不增加合作水平，反而违背个人利益最大化的原则惩罚高合作者，使整个合作水平降下来，B.Herrmann et al (2008) 将此称为“反社会惩罚”（Antisocial Punishment）。

B.Herrmann et al (2008) 的研究表明，合作的“固有倾向性”是人们长期内社会道德氛围的结果，非常稳定。市场经济发达的国家，人们内化的是社会伦理，人们在与陌生人交往时，会为他人着想，表现出高的合作倾向；在市场经济不发达的国家，人们内化的可能是家庭伦理，为家庭成员做出个人牺牲的价值观会超越其个人利益最大化原则，从而在与陌生人交往时，不易表现出利益陌生人的合作行为。他们推测，市场国家的成功，不仅仅是经济利益驱动的结果，还是人们将良好道德氛围内化成合作倾向的结果<sup>34</sup>。

(2) 人们的即时折现（temporal discounting）偏好不同，合作倾向不同。即时折现偏好是指，对于同等的报酬，支付的时间越近，人们获得的效用越大。比如，对于烟瘾发作的人，未来六小时之内可获得的一根烟的效用要远远大于未来六个月之内可获得的一个烟的效用<sup>35</sup>。

Axelrod R., Hamilton W. D (1981)<sup>36</sup>在《科学》杂志提出的重复囚徒困境模型（The Iterated Prisoner's Dilemma，简称IPD）对于解释合作行为形成了重要影响<sup>37</sup>，其核心观点是：如果博弈是重复的，如果参与者采取互惠战略（reciprocating strategy），将会出现合作均衡。尽管这一结论得到了很多经验研究的支持<sup>38394041</sup>，研究人员发现了IPD框架下合作并不稳定的场合<sup>4243</sup>。D.W. Stephens et al (2002) 的实验表明，如果在IPD框架下引入参与人的即时折现偏好，其解释力会大为加强。他们对蓝鸟进行实验研究，让蓝鸟在IPD框架下对即期的少量种子以及远期的大量种子之间进行权衡，结果发现，几秒钟的延迟，将使蓝鸟对未来的折现率成为0.5。也就是，蓝鸟宁愿要现在的1粒种子，也不要几秒钟之后的2粒种子<sup>44</sup>。他们的研究表明，在互惠、重复博弈的IPD框架下，更低的折现率意味着更高的合作均衡。

这里的理论问题是，未来的合作收益如果是 $b$ ，人们现在对其估价是 $\eta \cdot b$ ，不同的参与者，即时折现偏好程度 $\eta$ 是不同的，上述实验中，蓝鸟为0.5，M. L. Weitzman (2001) 的研究中，人的 $\eta$ 值为4%/年<sup>45</sup>。

Michael Mesterton-Gibbons and Eldridge S.Adams (2002)<sup>46</sup>指出，不同的人，即时折现

<sup>34</sup> B. Herrmann et al., 2008, Antisocial Punishment Across Societies, Science, 319, pp.1362-1367; Herbert Gintis, 2008, Punishment and Cooperation, SCIENCE, VOL 319, 7 MARCH.

<sup>35</sup> Bickel, W. Odum, A., & Madden, G., 1999, Impulsivity and cigarette smoking: delay discounting in current, never, and ex-smokers. Psychopharmacology. Oct;146(4), pp447-454.

<sup>36</sup> Axelrod R., Hamilton W.D., 1981, The evolution of cooperation. Science, 211: (4489) pp.1390-1396.

<sup>37</sup> D.W. Stephens et al., 2002, Discounting and Reciprocity in an Iterated Prisoner's Dilemma, Science 298, 2216.

<sup>38</sup> L. A. Dugatkin, 1997, Cooperation Among Animals: An Evolutionary Perspective (Oxford Univ. Press, New York).

<sup>39</sup> Dugatkin, L. A., Mesterton-Gibbons, M. and Houston, A. I. 1992. Beyond the prisoner's dilemma: toward models to discriminate among mechanisms of cooperation in nature. - Trends. Ecol. Evol. 7, pp. 202-205.

<sup>40</sup> A. E. Pusey, C. Packer, 1997, in Behavioral Ecology: An Evolutionary Approach, J. R. Krebs, N. B. Davies, Eds. (Blackwell Scientific, Oxford, UK, 1997), pp. 254 - 283.

<sup>41</sup> Clutton-Brock, T. H. et al., 1999, Selfish sentinels in cooperative mammals, Science 284, pp.1640-1644.

<sup>42</sup> M. Flood, K. Lendenmann, A. Rappoport, 1983, 2x2 Games Played by Rats: Different Delays of Reinforcement as Payoffs, Behavioral Science, 28, pp.65-78.

<sup>43</sup> L. A. Dugatkin, 1997, Cooperation Among Animals: An Evolutionary Perspective (Oxford Univ. Press, New York).

<sup>44</sup> D.W. Stephens et al., 2002, Discounting and Reciprocity in an Iterated Prisoner's Dilemma, Science 298, 2216.

<sup>45</sup> M. L. Weitzman, 2001, Gamma discounting, The American Economic Review. 91, 260.

<sup>46</sup> Michael Mesterton-Gibbons and Eldridge S.Adams, 2002, The Economics of Animal Cooperation,

偏好程度会不相同，比如，男性与女性，经济学家与非经济学家，不同国家、不同地区的人，等等。而当前的经济研究更加注重的是人们合作过程中的战略互惠行为，而不是合作之前收集潜在合作者的行为特征信息。

这些研究的重要意义在于：提高社会的合作水平可以从降低人们的即时折现偏好着手<sup>47</sup>。是哪些因素影响了人们的即时折现偏好呢？寻找到这些因素并实施政策影响，对于社会进步具有重要意义。

(3) 人的行为变异是促使合作演化的重要条件。囚徒困境博弈模型的理论结果是，所有参与人的最优反应是合作次数为0，这意味着假设人们没有行为差异<sup>48</sup>。John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston (2004) 在《自然》杂志撰文指出，这没有考虑到总会有人愿意尝试与他人合作，也就是人们的行为是有差异的。在囚徒困境博弈中，如果所有人的战略都是合作n次，并在第n+1次进行欺骗，那么，每个人的最优反应就是先发制人，合作n-1次，在第n次进行欺骗。但如果人们的行为有差异呢？假设所有人战略的均值为E(n)，将人们的行为差异理解为，有的人的战略比E(n)大，有的人的战略比E(n)小，那么就会有人的最优反应比E(n)还大<sup>49</sup>。

John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston (2004) 的研究表明，不同的人群，尽管战略的均值相同，如果人群的行为差异不同（用战略的标准差描述），则人群的均衡合作次数不同。如图5左所示。

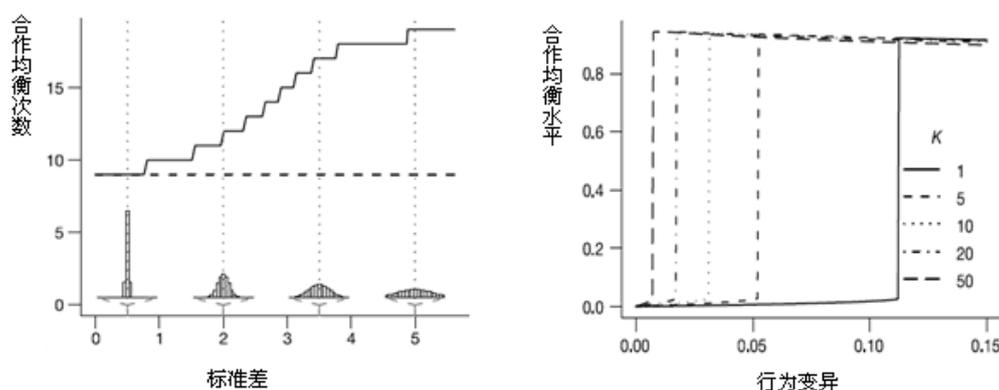


图5 行为变异与合作均衡的变化<sup>50</sup>

我们看到，标准差越大，人群的合作均衡次数越大。这里的直觉是，只要合作的收益大于被欺骗的成本，由于有人的战略是比E(n)更高的数，尝试多的合作就可能是有益的。这里的启发是，在最初合作倾向性低的人群中引入合作倾向性高的人（或者内生的培养，比如通过成立内部的合作联盟，或者通过教育培训增强合作意识），这种人群行为差异的提高，会导致整个人群的合作均衡增大。

如果最初所有人的战略都是n，行为变异会不会影响合作均衡呢？John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston (2004) 给出了行为变异的经典模型。如果“父代”的战略是n，当父代被欺骗或实施欺骗重新寻找合作伙伴进入新的博弈，可理解为成了“子代”。过去的经历可能对他产生了影响，也可能没有影响。用数学逻辑来简单描述就是，“子代”

SCIENCE , DECEMBER , VOL 298.

<sup>47</sup> D.W. Stephens et al., 2002, Discounting and Reciprocity in an Iterated Prisoner's Dilemma, Science 298, 2216.

<sup>48</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston, 2004, Variation in behaviour promotes cooperation in the Prisoner's Dilemma game, NATURE , VOL 428 , 15 APRIL .

<sup>49</sup> 证明参见: John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston, 2004, Variation in behaviour promotes cooperation in the Prisoner's Dilemma game, NATURE , VOL 428 , 15 APRIL .

<sup>50</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston, 2004, Variation in behaviour promotes cooperation in the Prisoner's Dilemma game, NATURE , VOL 428 , 15 APRIL .

的战略可能是 $n+1$ ，可能是 $n-1$ ，也可能是 $n$ 。假设变异概率为 $\varepsilon$ ：

$$\text{父代合作战略}(n) \rightarrow \text{子代合作战略} = \begin{cases} n-1, & P(n-1) = \varepsilon \\ n, & P(n) = 1 - 2\varepsilon \\ n+1, & P(n+1) = \varepsilon \end{cases}$$

式中 $P(\cdot)$ 表示变异概率。John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta<sup>1</sup> & Alasdair I. Houston (2004)

的研究表明，当最初 $n=0$ 时，需要 $\varepsilon$ 存在一个临界值，当低于这个值，整个人群不会演化成高合作水平的人群。当高于这个临界值，人群将演化成高合作水平的人群。但并不是行为变异概率 $\varepsilon$ 越大，合作水平越大。他们发现还有另外一个因素有着重要的影响：博弈之外获得的生存适应性 $K$ ， $K$ 越大，说明博弈中的结果对生存和“繁衍后代”的意义越小。作者的实验描述了不同的 $\varepsilon$ 、 $K$ 下的合作水平，见图5右：当 $K$ 越小时，博弈的结果对于交易双方越是生死攸关时，要让交易状况从非合作状态过渡到合作状态，需要引入很大的行为变异 $\varepsilon$ （或者说引入更多的高合作者）。这里的启示是：第一，过去的合作氛围将通过“子代”的变异影响未来的合作均衡。这说明了社会氛围的重要性；第二，越是生死攸关的交易，越是难以从非合作状态转化成合作状态。这说明对于生死攸关的交易，自发的合作越是困难，越需要进行制度干预。

## 五、“合作”的动力

合作动力论主要解释不同的主体为什么要合作，即合作动机问题<sup>51</sup>。自然科学家与经济学家提出了如下六种合作动力：亲缘选择（kin selection）、直接互惠（direct reciprocity）、间接互惠（indirect reciprocity）、强互惠（strong reciprocity）、网络互惠（Network Reciprocity）、组间选择（Group Selection），等等。

### （1）亲缘选择

W.D. Hamilton (1964) 首次提出这一思想：如果实施和接受利他行为的双方具有基因相似性（genetic similarity），自然选择将按照有利于合作的方向发展<sup>52</sup>，具体而言，如果合作行为的成本是 $c$ ，合作行为对于对方的收益是 $b$ ，如果两者的基因相似性为 $r$ ，满足 $rb > c$ 时，该合作行为会发生。这就是著名的哈密尔顿原则<sup>53</sup>。

亲缘选择动力只有助于解释亲属之间的冲突与合作<sup>54</sup>，但并不能解释非亲属之间的冲突与合作<sup>55</sup>。

### （2）直接互惠

Trivers (1971) 首次提出直接互惠的思想，这是毫无亲缘关系的人以及不同物种之间发生合作行为的动力：参与人有可能进行重复博弈，从而合作有利于现期预付成本换取未来的互惠<sup>56</sup>。R. Axelrod (1984) 用计算机模拟出这样的结论：最初都合作，此后双方采取以牙还牙（tit-for-tat）策略：你合作我下一轮也合作，你不合作下一轮我也不合作，这样能够得到合作均衡<sup>57</sup>。

<sup>51</sup>黄少安，2000，《经济学研究重心的转移与“合作”经济学构想——对创建“中国经济学”的思考》，《经济研究》，第5期。

<sup>52</sup> W.D. Hamilton, 1964, The genetical evolution of social behavior, J. Theor. Biol. 7, 1.

<sup>53</sup> Stuart A. West, Ido Pen, Ashleigh S. Griffin, 2002, Cooperation and Competition Between Relatives, SCIENCE, 5 APRIL.

<sup>54</sup> A. F. G. Bourke, N. R. Franks, 1995, Social Evolution in Ants, Princeton Univ. Press

<sup>55</sup> Andrew M. Colman, 2006, The puzzle of cooperation, NATURE, Vol 440, 6, April, P745.

<sup>56</sup> Trivers, R.L., 1971, The evolution of reciprocal altruism., Quarterly Review of Biology. 46:, pp.35-57.

<sup>57</sup> R. Axelrod, 1984, The Evolution of Cooperation, Basic Books, New York.

这里的条件是，如果合作行为的成本是  $c$ ，合作行为对于对方的收益是  $b$ ，如果下一轮遇到的合作者是上一轮合作者的概率为  $w$ ，满足  $wb > c$  时，该合作行为才会发生<sup>58</sup>。

直接互惠动力的首要逻辑问题是，在全部是永久欺骗者（always to defect，简称ALLD）有限人数群体中，第一个以牙还牙者（tit-for-tat，简称TFT）侵入，会不会逐步“繁衍”，并取代所有的ALLD？Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg（2004）对此进行了回答<sup>59</sup>。

现在我们来分析 TFT 侵入 ALLD 群体的过程，这对于理解直接互惠非常重要。这里的囚徒困境模型如图 6 左所示：

		B	
		合作	不合作
A	合作	(R,R)	(S,T)
	不合作	(T,S)	(P,P)

		A	B
A	⎧	$\alpha$	$\beta$
B		$\gamma$	$\delta$

图 6 “以牙还牙者”进入“永久欺骗者”群体的支付矩阵<sup>60</sup>

将博弈转化成 A, B 战略的支付矩阵，如图 6 右所示（A 为 TFT，B 为 ALLD）。

这里有： $\alpha = Rn$ ， $\beta = S + P(n-1)$ ， $\gamma = T + P(n-1)$ ， $\delta = Pn$ 。为  $n$  博弈回合。显然：

符合现实的假设是， $\alpha > \gamma > \delta > \beta$ （需要： $n > (T-P)/(R-P)$ ，并且为有限回合）。

现在设计一种符合现实的情景。假设一个有限数量为  $N$  的群体全部为 ALLD 者，也就是任何时候对任何都采取不合作的态度；现在其中有一个突变为 TFT 者：也就是，每面临一个新交易人，第一次都采取合作的态度；此后采取的政策与对方上一轮采取的政策相同。从图 7 可以看出，在这个矩阵决定的生存环境下，这个突变者是反自然选择的，因为他面临的都是 ALLD 者，其支付必然是  $\beta$ ，而其中一个“有幸”与其交易的人的支付是  $\gamma$ ，没有机会与其接触的 ALLD 者彼此之间进行交易，其支付为  $\beta$ ，是其中最小的（ $\beta < \delta < \gamma$ ）。

但是这个逆自然选择的变异（比如，在一个全部是不合作者 ALLD 的群体中，用一个合作者 TFT 来替换其中一个 ALLD），能不能逐步繁衍，并取代所有的 ALLD 呢？答案是可能！那么其条件是什么？

这一个 TFT 入侵后，整个群体变成了 1 个 TFT， $N-1$  个 ALLD，选择动态遵循如下符合现实的程序：第一步，其中一个个体（或者是 TFT，或者是 ALLD）按照一定的概率复制一个自己，该概率与自己的适应性正相关，也就是，适应性越高的，越有可能复制一个自己。比如，如果群体中有  $i$  个 TFT，此时每个的适应性为  $f_i$ ， $N-i$  个 ALLD，此时每个的适应性

<sup>58</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE, 8 DECEMBER VOL, 314.

<sup>59</sup> Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg, 2004, Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations, NATURE, VOL 428, 8, APRIL.

<sup>60</sup> Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg, 2004, Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations, NATURE, VOL 428, 8, APRIL.

为  $g_i$ ，则整个群体中增加一个 TFT 的概率为： $if_i/[if_i+(N-i)g_i]$ ；增加一个 ALLD 的概率为： $(N-i)g_i/[if_i+(N-i)g_i]$ 。显然，当一个 TFT 入侵后，其复制自己的概率比 ALLD 复制自己的概率要小。出生-死亡过程的第二步是：随机挑出一个个体被这个新生的个体替代。一个 TFT 入侵后，虽然其适应性小于 ALLD 者从而复制出一个 TFT 的概率比 ALLD 复制自己的概率要小，但这个概率不为零，一旦复制出一个 TFT，这时 TFT 以及 ALLD 的适应性对比会发生改变：有两个 TFT 以后，有可能这两个 TFT 者相遇，它们之间的支付会是  $\alpha$ ，这时 TFT 的适应性与  $\alpha, \beta$  正相关；ALLD 的适应性与  $\gamma, \delta$  正相关，注意到  $\alpha > \gamma > \delta > \beta$ ，显然，相对于只有一个 TFT 时，这时 TFT 的适应性开始追赶 ALLD 的适应性。在一定的条件下，有可能追上 ALLD 的适应性并超越。为分析这种可能性，可分析当群体中有  $i$  个 TFT 者，再增加一个 TFT 或者在减少一个 TFT 的概率：

$$P_{i,i+1} = \frac{if_i}{if_i+(N-i)g_i} \cdot \frac{N-i}{N}$$

$$P_{i,i-1} = \frac{(N-i)g_i}{if_i+(N-i)g_i} \cdot \frac{i}{N}$$

已经有  $i$  个 TFT，再增加一个 TFT 的概率  $P_{i,i+1}$  取决于：这个事件相当于从  $N$  个个体中抽出一个 ALLD 变成 TFT，概率为  $(N-i)/N$ ，而每一个抽出来的个体变为 ALLD 的概率为  $if_i/[if_i+(N-i)g_i]$ ；如果  $N$  很小，第一个 TFT 入侵很容易夭折：因为  $(N-i)g_i/[if_i+(N-i)g_i] > if_i/[if_i+(N-i)g_i]$ ，而且  $N$  很小时， $(N-i)/N$  与  $i/N$  的差异不如  $N$  很大时大，所以，在  $N$  很小时  $P_{i,i+1} < P_{i,i-1}$ ，也就是 TFT 夭折的概率更大。如果有一定的人口规模，虽然最初  $(N-i)g_i/[if_i+(N-i)g_i] > if_i/[if_i+(N-i)g_i]$ ，但  $N$  很大时，从群体中抽取一个被替换的程序中，抽中 ALLD 的概率更大： $(N-i)/N > i/N$ ，这样，就有可能  $P_{i,i+1} > P_{i,i-1}$ ，并出现 TFT 者增加。我们关心的是有没有可能从第一个 TFT 入侵者出发，TFT 得以繁衍，并替代所有 ALLD。设  $X_i$  为从状态“有  $i$  个 TFT”出发，到  $i=N$  的概率，显然有： $X_i = P_{i,i+1}X_{i+1} + P_{i,i}X_i + P_{i,i-1}X_{i-1}$ ，注意到  $P_{i,i+1} + P_{i,i} + P_{i,i-1} = 1$ （也就是 TFT 要么增加，要么不变，要么减少，）； $X_0 = 0, X_N = 1$ ，从第一个 TFT 入侵者出发，TFT 得以繁衍，并替代所有 ALLD 的概率为  $\rho_A = X_1$ ， $\rho_A = 1 / \left( 1 + \sum_{k=1}^{N-1} \prod_{i=1}^k \frac{g_i}{f_i} \right)$ 。这个概率必须大

于“中性突变率  $1/N$ ”，才可能真正实现从一个 TFT 入侵者出发，TFT 得以繁衍，并替代所有 ALLD，如果小于这个概率，自然选择会吞并所有 TFT。

Martin A. Nowak, Akira Sasaki, Christine Taylor & Drew Fudenberg (2004) 得出的结论是，对于有限人口“从一个 TFT 入侵者出发，TFT 得以繁衍，并替代所有 ALLD”可以成功，但必须满足  $\alpha + 2\beta > \gamma + 2\delta (N > 2)$  这样的制度环境。如果不满足这个条件，具有合作倾向的入侵者也会演变为完全不合作者。

直接互惠对于解释合作演化起到了重要作用，但是，直接互惠和亲缘选择一样，不能解释陌生人之间的非重复合作行为。

### (3) 间接互惠

人们不仅仅关心与自己有直接关系的事情，还对其他人的事情有浓厚的兴趣。M. A. Nowak, K. Sigmund (1998)<sup>61</sup>等人提出的间接互惠思想是：任意两个陌生人进行博弈，他们不需要再次谋面，双方可以选择合作与不合作；他们的博弈被其他人观察到，并且这些人会传递参与人是否合作的消息；如果存在声誉机制，间接互惠将导致合作均衡。

这里的条件是，如果合作行为的成本是  $c$ ，合作行为对于对方的收益是  $b$ ，如果获知声誉的概率为  $q$ ，满足  $qb > c$  时，该合作行为才会发生<sup>65</sup>。

这里的间接互惠包括上游互惠以及下游互惠。上游互惠是指，A 与 B 合作中 A 对 B 的利他行为激励 B 后来与 C 的合作中对 C 有利他行为；下游互惠是指，A 与 B 合作中 A 对 B 的利他行为激励后来 C 与 A 的合作中，C 对 A 有利他行为。

这里的声誉机制包括好声誉机制、坏声誉机制。<sup>66</sup>。这里的坏声誉机制是必不可少的，如果没有这一机制，与别人合作但也与不合作的人合作的“纯合作者”（也称为第二免费搭车者）将挤出“利他惩罚者”，会使整个合作水平降低<sup>67</sup>。帮助不合作者会影响自己的声誉，从而未来得不到他人帮助，这样的声誉制度下，不会有“纯合作者”了。

正如 Martin A. Nowak & Karl Sigmund (2005) 指出，与陌生人交往占到了人的一生的相当一部分时间，而且越来越多的交易再也不是面对面的了，基于声誉机制的间接互惠对于促进合作的作用越来越大<sup>68</sup>。

### (4) 强互惠

强互惠最早是由 Fehr, E. & Gächter, S. (2000) 提出来的<sup>69</sup>。强互惠者与自利的经济人以及纯合作者不同。强互惠者无条件地参加合作劳动，并无条件惩罚不合作者，即使惩罚会给自己带来由自己独立承担的成本。这种人与前文提到的纯合作者有所不同，纯合作者是无条件地参与合作劳动但从不惩罚不合作者<sup>70</sup>。

<sup>61</sup> M. A. Nowak, K. Sigmund, 1998, Evolution of indirect reciprocity by image scoring. Nature, 393: 573-577.

<sup>62</sup> Milinski, M., Semmann, D. & Krambeck, H. J., 2002, Reputation helps solve the 'tragedy of the commons'. Nature 415, pp.424-426.

<sup>63</sup> Panchanathan, K., and R. Boyd, 2004, Indirect reciprocity can stabilize cooperation without the second-order free rider problem. Nature 432 (7016), pp.499-502.

<sup>64</sup> Nowak M. A. and K. Sigmund, 2005, " Evolution of Indirect Reciprocity ", Nature, vol.437, pp.1291 -1298.

<sup>65</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE, 8 DECEMBER VOL.,314.

<sup>66</sup> Ernst Fehr, 2004, Don't lose your reputation, NATURE, VOL 432, 25 NOVEMBER.

<sup>67</sup> Panchanathan, K. & Boyd, R., 2004, Indirect reciprocity can stabilize cooperation without the second-order free rider problem, Nature 432, 499-502.

<sup>68</sup> Martin A. Nowak & Karl Sigmund, 2005, Evolution of indirect reciprocity, nature, Vol, 437, 27, October.

<sup>69</sup> Fehr, E. & Gächter, S. 2000 Cooperation and punishment in public goods experiments, American Economic Review 90, pp.980-994.

<sup>70</sup> Samuel Bowles, Herbert Gintis, 2004, The evolution of strong reciprocity: Cooperation in heterogeneous populations, Theoretical Population Biology, 61, pp. 17-28.

Fehr, E. & Gächter, S (2002) 设计的公共产品投资博弈试验证明, 强互惠能实现合作均衡。他们的试验不让试验成员相互认识从而防止了直接互惠因素的影响, 也防止形成声誉, 从而消去了间接互惠的影响。试验结果如图 7 所示。

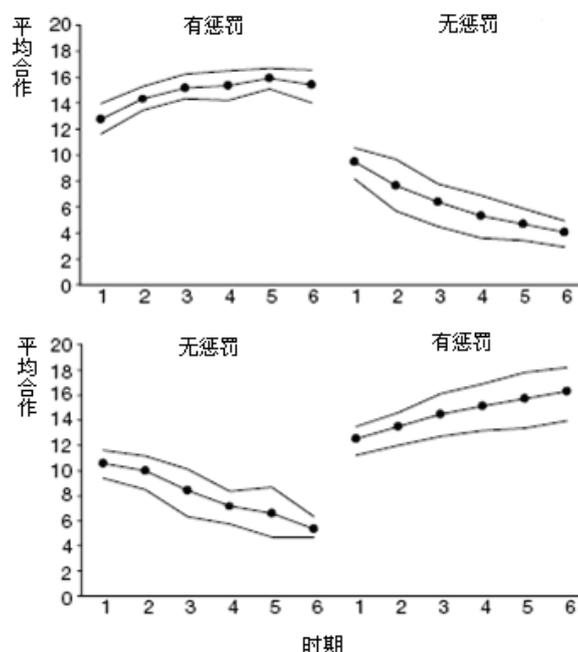


图 7 强互惠博弈中合作均衡的变化<sup>71</sup>

相对于没有惩罚的场合, 有惩罚的场合下, 合作均衡水平都要高; 当试验从有惩罚场合开始, 合作水平不断提高, 一旦移出惩罚机制, 合作水平迅速开始下降 (见图 7 上)。当试验从无惩罚场合开始, 合作水平不断降低, 一旦引入惩罚机制, 合作水平迅速开始上升 (见图 7 下)。这说明了强互惠是合作行为的动力。

#### (5) 网络互惠

网络互惠最初是由 M. A. Nowak, R. M. May (1992) 提出来的<sup>72</sup>。自然选择理论假设人们互相接触的概率是相等的, 事实上, 社会网络存在着空间结构, 人们与一部分人接触非常频繁, 而与另一部分人很少接触, 这种空间结构会影响群体的生物动态性<sup>737475</sup>。互相合作的人形成网络聚集, 合作者的生存适应性将超过不合作者, 并逐步取代不合作者。

这里的条件是, 如果合作行为的成本是  $c$ , 合作行为对于对方的收益是  $b$ , 如果网络的平均邻居数目为  $k$ , 满足  $b > kc$  时, 该合作行为才会发生<sup>76</sup>。

#### (5) 组间选择

组间选择最早是 Traulsen, M. A. Nowak (2006) 提出来的<sup>77</sup>, 其基本思想是, 社会资源

<sup>71</sup> Fehr, E. & Gächter, S, 2002, Altruistic punishment in humans, NATURE, VOL 415, 10 JANUARY, P138.

<sup>72</sup> Nowak MA, RM May, 1992, Evolutionary games and spatial chaos. Nature 359: pp.826-829.

<sup>73</sup> E Lieberman, C Hauert, MA Nowak, 2005, Evolutionary Dynamics on Graphs. Nature 433: pp.312-316.

<sup>74</sup> Hassell, M. P., H. N. Comins & R.M. May, 1994, "Species coexistence and self-organizing spatial dynamics." Nature, 370: pp.290-292.

<sup>75</sup> Hauert C, Doebeli M, 2004, Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the snowdrift game, Nature. 428:pp.643-646.

<sup>76</sup> Martin A. Nowak, 2006, Five Rules for the Evolution of Cooperation SCIENCE, 8 DECEMBER VOL, 314.

<sup>77</sup> A. Traulsen, M. A. Nowak, 2006, Evolution of cooperation by multi-level selection, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 103, 10952.

是有限的，能容纳的个体数目有限，而人们生活在一个一个的组织中，在组织之内自然选择有利于竞争者而不是合作者；但在组织之间自然选择却是有利于合作者而不是竞争者的。如果存在组间繁殖力选择，合作水平更高的组更容易繁殖从而分裂成新的组并取代合作水平更低的组，所有组的合作水平都会提高。

这里的条件是，如果合作行为的成本是 $c$ ，合作行为对于对方的收益是 $b$ ，如果 $n$ 为组的最大组员数， $m$ 所有组数，Traulsen, M. A. Nowak (2006) 证明，只要满足 $b > (1+(n/m))c$ 时，合作演化就会发生。

## 六、“合作”的环境

什么样的环境有助于提高合作均衡水平是当前的研究难点。规律性的结论还非常少，有待深入的研究，形成共识的结论有：

(1) 在非结构化的社会环境中，自然选择不利于合作演化；结构化的社会如果满足网络互惠条件，自然选择将形成合作演化。

在非结构化的社会，任何个人被其他人接触的概率是一样的，平均而言，欺骗者将比合作者有更高的支付，从而自然选择将有利于欺骗者的繁殖而不利于合作者生存<sup>7879</sup>。

Hisashi Ohtsuki, Christoph Hauert, Erez Lieberman & Martin A. Nowak (2006) 的研究表明，结构化的社会环境可能形成合作均衡，不同的制度下合作程度不一样<sup>80</sup>。什么样的结构有利于形成合作均衡呢？他们的研究给出的一般性的规律即是：社会结构应该有利于形成网络互惠，也就是满足  $b > kc$ 。

(2) “重复囚徒困境”转向“重复铲雪博弈” (The snowdrift game) 的环境改变有助于合作演化。

图 6 左既可以是囚徒困境博弈的支付，也可以是铲雪博弈的支付。但支付矩阵中  $T, R, P, S$  大小不同，则分别对应不同的博弈，如表 1 所示：

表 1 囚徒困境与铲雪博弈对比

囚徒困境								铲雪博弈									
	T		R		P		S			T		R		S		P	
A	不合作	b	合作	b-c	不合作	0	合作	-c	A	不合作	b	合作	b-c/2	合作	b-c	不合作	0
B	合作		合作		不合作		不合作		B	合作		合作		不合作		不合作	

环境改变 →

图 8

在囚徒困境博弈中，合作收益为  $b$ ，每个人的合作成本为  $c$ ，A、B 两个参与人战略组合下的支付大小为： $T > R > P > S$ （左表），这说明，重复囚徒困境博弈的演化稳定战略是：每个人愿意为他人的收益贡献的禀赋和劳动量以及希望他人为自己的收益贡献的最小禀赋和

<sup>78</sup> Taylor, P. D. & Jonker, L., 1978, Evolutionary stable strategies and game dynamics, Math. Biosci. 40, pp.145-156.

<sup>79</sup> Hofbauer, J. & Sigmund, K., 1998 Evolutionary Games and Population Dynamics (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK).

<sup>80</sup> Hisashi Ohtsuki, Christoph Hauert, Erez Lieberman & Martin A. Nowak, 2006, A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks, Nature, Vol 441, 25 May.

劳动量都为 0<sup>81</sup>。铲雪博弈描述的是这样的情景：A、B 两名驾车人遇到暴风雪，前方道路被雪堆挡住，他们可能都走出车铲除雪障（合作），也可能躲在各自车中不出来（不合作）。如果都出来铲雪，则他们平分劳动成本  $c$ ，得到合作收益  $b$ ，所以合作净收益为  $R=b-c/2$ ；如果都不出来， $P=0$ ；如果一方出来另一方留在车里，留在车里的收益为  $T=b$ ，出来铲雪的人收益为  $S=b-c$ 。如果  $c>b$ ，这仍然是囚徒困境，事实上，现实的情况往往是，“如果一方拒绝走出车门合作，另一方宁愿单边合作，而不是呆在车里受一晚的冻”<sup>82</sup>。也就是一般会有  $b>c$ ，那么 A、B 两个参与人战略组合下的支付大小为： $T>R>S>P$ （右表）。诸多研究证明，铲雪博弈能够导致稳定的合作<sup>8384</sup>。Christoph Hauert, Michael Doebeli（2004）的研究表明，在重复铲雪博弈制度下，均衡时合作者的比率为  $1-r$ ，不合作者比率为  $r$ ， $r=c/(2b-c)$ 。<sup>85</sup>

重复囚徒困境博弈制度与重复铲雪博弈制度的重要区别就是，前种情况下，纳什均衡解为 0，而后种情况下不为 0。重复铲雪博弈制度分两种情况，一是随着合作努力增加，成本递增的情形，一是成本递减的情形。成本递增现象在大自然中是很常见的，比如，报警鸟的行为，越是努力报警，越有可能被捕杀者捕获<sup>86</sup>。成本递减现象在大自然中是很常见的，比如，细菌向食物环境中分泌消化酶的行为，比如公共产品投资行为。成本递增还是递减将会影响合作均衡水平<sup>87</sup>，不过，不论哪种重复铲雪博弈制度下，John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston（2008）证明，合作均衡都大于纳什均衡解<sup>88</sup>。

如何进行机制设计，促使合作环境由“重复囚徒困境”博弈转向“重复铲雪博弈”，从而使合作均衡向更高的水平演化？表达式  $T>R>P>S$  是囚徒困境下的环境的根本特征。而表达式  $T>R>S>P$  是铲雪博弈下的环境的根本特征。可见实现转化的突破口是“促使单边合作收益比双边不合作收益更大”，但具体如何解决这一难题，需要进行深入的研究。

### （3）声誉制度、惩罚制度

间接互惠、强互惠是陌生人之间的重要合作动力，分别需要合作环境中存在声誉制度和惩罚制度。另一方面，B. Herrmann et al（2008）指出，低的道德水准以及软弱的法律制裁体系是存在反社会惩罚的重要信号<sup>89</sup>。结合合作动力论的研究，我们认为，如果社会的信用制度、法律法规建设充分考虑了加强合作的声誉原则和惩罚原则，社会的合作水平将得到提升。

## 七、结论和启示

<sup>81</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston, 2008, The coevolution of choosiness and cooperation, nature, Vol 451, 10 January.

<sup>82</sup> Martin A. Nowak and Karl Sigmund, 2004, Evolutionary Dynamics of Biological Games, SCIENCE VOL 303 6 FEBRUARY.

<sup>83</sup> Christoph Hauert, Michael Doebeli, 2004, Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the snowdrift game, Nature, VOL 428, 8, APRIL.

<sup>84</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston, 2008, The coevolution of choosiness and cooperation, nature, Vol 451, 10 January.

<sup>85</sup> Christoph Hauert, Michael Doebeli, 2004, Spatial structure often inhibits the evolution of cooperation in the snowdrift game, Nature, VOL 428, 8, APRIL.

<sup>86</sup> McNamara, J. M. & Houston, A. I., 1992, Evolutionarily stable levels of vigilance as a function of group-size, Anim. Behav. 43, pp.641-658.

<sup>87</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston, 2008, The coevolution of choosiness and cooperation, nature, Vol 451, 10 January.

<sup>88</sup> John M. McNamara<sup>1</sup>, Zoltan Barta, Lutz Fromhage & Alasdair I. Houston, 2008, The coevolution of choosiness and cooperation, nature, Vol 451, 10 January.

<sup>89</sup> B. Herrmann et al., 2008, Antisocial Punishment Across Societies, Science, 319, pp.1362-1367; Herbert Gintis, 2008, Punishment and Cooperation, SCIENCE, VOL 319, 7 MARCH.

从理论意义来看,关于“合作难题”的研究对于现代经济学理论的发展和完善具有重要意义。“合作”问题在经济学体系中归属于微观经济学“市场理论”板块中“不完全竞争市场”部分(绝大部分权威教科书都是在“不完全竞争市场理论”部分讲解博弈论)。自从博弈论的开创性文献——纳什的《非合作博弈》发表以来<sup>90</sup>,博弈论按照如下四个方向进行发展:完全信息的静态博弈(纳什均衡);完全信息动态博弈(子博弈精炼纳什均衡);不完全信息静态博弈(贝叶斯纳什均衡);不完全信息动态博弈(精炼贝叶斯纳什均衡)。上述有关“合作难题”的研究对于博弈论在这四个方向的拓展均有重要的理论启发意义。纳什均衡的一个重要思想是,个人的理性常常会导致集体的非理性<sup>91</sup>。纳什均衡解是在给定参与人的“类型”、参与人的“支付函数”的特征的条件下形成的,而有关“合作难题”的研究拓展了我们对于参与人类型、参与人支付函数的理解。比如,来自不同市场环境的参与人,会有不同的“固有倾向性”和不同的“折现率”,从而会影响纳什均衡解;再比如,自然科学实验识别出的人类思维过程中“奖励合作”以及“利他惩罚”动机,必定会对参与人的支付函数产生影响,从而会进一步影响纳什均衡解。与纳什1994年同时获得诺贝尔奖的泽尔腾提出了“精炼纳什均衡”的思想。“泽尔腾通过“精炼”概念,为试图排除不可能、不合理均衡的研究奠定了基础”<sup>92</sup>。已有的研究中,常常试图通过泽尔腾提出的“子博弈精炼纳什均衡”的思想来排除“威胁”、“承诺”情形形成的纳什均衡。有关“合作难题”的研究为此提供了附加的标准:这些被排除的纳什均衡如果符合亲缘选择、直接互惠、间接互惠、强互惠、网络互惠、组间选择动力,其仍然可能是可信的“威胁”、可信的“承诺”。由此可以逻辑一致的解释为什么每一个基因,每一个细胞,每一个生物,在其演化路径上,并不是以竞争者的损失作为代价来提高自己的适应性为导向,也可以解释为什么结构化的社会如果满足网络互惠条件,自然选择将形成合作演化。贝叶斯纳什均衡涉及到参与人对于对方“类型”的先验条件概率计算。有关“合作难题”中识别出的上述六种合作动力对于深化这一计算具有启发意义。带有不同合作动力的参与人代表着不同类型的参与人,其支付函数的期望值将各不相同。在不完全信息动态博弈中,需要利用贝叶斯法则用参与人的“行动”计算参与人“类型”的后验概率。有关“合作难题”中提出的“参与人的行为变异现象”对于改进这一计算也是有启发意义的。在传统的后验概率计算中,并没有考虑参与人的行为变异,但是,家庭教育、学校教育、事件的教育都可能对参与人的行为产生变异,纳入这一考虑,对于我们设计制度促使群体中“先进参与人”的适应性追赶“落后参与人”的适应性,并取代“落后参与人”,促使合作均衡从最小值纳什均衡解向最大值合作解演化具有重要启发意义。

从现实意义来看,世界经济的一体化呼唤着个人之间、企业之间、地区之间、国家之间各个层面的合作,尤其是近期发生的金融危机更是促使各国的合作。空间的开发也需要合作。从已有经济学、自然科学中以及中国传统文化精髓提炼出合作问题的哲学基础,并实证研究人类在能源、环境、金融、科技、空间等领域的合作机制及其理论依据,将成为具有重大学术价值、应用价值和体现世界学术前沿的重大研究领域。

## How Did Cooperative Behavior Evolve: a Summary and Review

*Shaoan Huang and Su Zhang*

The problem of how cooperative behavior evolved is one of "the 25 major scientific

---

<sup>90</sup> Nash, Jr., John F., 1950. Non-cooperative games, Ph.D. thesis, Mathematics Department, Princeton University.

<sup>91</sup> The Royal Swedish Academy of Sciences, 1994, Award Ceremony Speech.

<sup>92</sup> 同上。

puzzles driving basic scientific research and deciding the future scientific direction. This problem has led to a large number of natural science experiments and economics experiments and theoretical studies. The results of these studies are important to explain the reason of the evolution of cooperation as well as expansion of modern economic theory. Cooperation aims to promote the public interest, making a bigger cake; while competition is motivated to scramble the living resources around, trying to receive a greater share of the cake. The cooperation evolve for two reasons: First, the scientific experiments show that the human brain has a area of rewarding cooperation and altruistic punishing. This motive is self-reinforcing, and will dominate the motive to get economic benefits. Second, based on the first reason, the human being designed a series of mechanisms and systems (such as kin selection, direct reciprocity, indirect reciprocity, strong reciprocity, Network Reciprocity, Group Selection) and the environment to make adaptability of good participants to catch up that of bad participants, as well as to to promote the cooperative equilibrium solution to evolve from the minimum Nash equilibrium to maximum value. The results of these studies are also useful for expansion of game theory by adding elements to the concept of Nash equilibrium, subgame perfect Nash equilibrium, Bayesian Nash equilibrium, and perfect Bayesian Nash equilibrium.

Key words: cooperation evolvment game cooperation-equilibrium