

## 少数派ゲームと人工市場

田中美栄子

鳥取大学工学部知能情報工学科

mieko@ike.tottori-u.ac.jp

### 概要

持続可能なマルチエージェント人工市場の条件とは何かを探るとき、皆が大勢に従うような行動をすると市場の温度が急冷してしまうため、何らかの工夫が必要である。少数派ゲームはこの難点をうまく回避し異質エージェントを温存することができる。しかしエージェント間に貧富の差ができず皆平等なのが不自然である。そこで資産分布に焦点を当てて少数派ゲームの標準モデル(SMG)に改変を加える試みをいくつか検討し(RMG,IMG), TMG を提案する。これにより, SMG にあったエージェント間の資産分布の不自然さが TMG においては解消され, Gini 係数が  $G=0.4\sim 0.5$ , パレート指数も  $\alpha=1.8$  程度となって観測値を再現する。

### 1. MG と人工市場

人工市場モデルの一つとしての少数派ゲーム<sup>1)</sup>

(Minority Game : 以後 MG) は, 金融市場に見られる自己組織化現象などを説明できる可能性を持ちながら, その構成は単純で, しかも個々のエージェントが学習機能を付与された限定的知能を持つなど, コンピュータ・シミュレーションに適した市場モデルとしての性質を備えている。また, 商品流通を正面から取り上げて市場をモデル化すると寡占化により市場の寿命が短くなりやすいが, MG では少数派の選択をした者を勝たせるルールを取り, 寡占化を封じている。

MG の構成員であるエージェント達は使用した戦略で勝てばその戦略に加点するという形で個別に学習するが, その時使用する記憶長  $M$  と戦略数  $S$  は全エージェントに対して同じとし, これらが比較的小さく取ってあることが限定合理性の表現となっている。二者択一をするという行為は現実社会での「売るか売らないか」, 「買うか買わないか」, または「売るか買うか」の選択に対応すると考えられる。市場での投資家の行動は究極のところ, この選択に尽きる, という仮定は極めて妥当なものである。一方, 少数派が勝つ

というルールの方は一見奇妙に見える。多くの投資家は人気商品を買ひ, 人気落ちる前に売り抜ける, という形で実際の市場において多数派が勝っているように見えるからである。しかし投資の本当の意味は「先読み」にあり, 多数派の真似をして小さい儲けを積み重ねるのではなく, 少数派として人気が出る前の商品を買って人気が出始めたところで売り抜ける, というほうが本来の投資家心理をよく表している。

### 2. MG の拡張 : 少数で勝つほど大きな褒賞

MG は単純な仕組みが一番の魅力ではあるが, 投資市場のモデルとしては一つ大きな欠陥がある。少数派になれば勝ち, というだけで「何人で勝っても各人が同じ褒賞を受け取る」ことになる点が不自然である。「より少ない人数で少数派になりたい」という投資家心理が欠落しているのである。その結果として, 元の MG ではエージェントが全てほぼ同等の回数だけ勝ち, 格差は生じない。勝ち回数に比例した資産を獲得すると仮定した MG シミュレーション結果を Gini 係数で表すと  $G=0.01$  程度になり, 実社会の  $G=0.3\sim 0.7$  大きくずれているがこれは不自然である。エージェントが資産という属性を持ち, より少数派になれば

ばなるほど資産が増える仕組みを付加すれば上記の不自然さは解消し、エージェント間に自然に資産格差ができると考えられる。そのようなメカニズムをいくつか考察し、比較する。

### 3. 拡張モデル(1): 褒賞追求型モデル (RMG)

勝ち戦略と負け戦略への加点を非対称にして、勝ち戦略に2点を加点、負け戦略に1点を減点、と勝った方をより大きく褒めることにすると勝ち回数の分布が変化する。この拡張モデルを Reward-driven MG (RMG)<sup>2)</sup>と呼ぶ。一部の戦略を頻用するエージェントが増え、結果として強い指向性が現れる。逆に負けた方への減点を大きくすると、負けたエージェントは次々と戦略を変え続けるため、全体の勝ち率は低くなる。RMGでは Gini 係数が元の MG の 20 倍くらの  $G=0.2$  程度とになるが、実社会での Gini 係数<sup>3)</sup>は 0.3-0.5 程度であり、これだけではない他のメカニズムがありそうである。

### 4. 拡張モデル(2): 投資型モデル (IMG)

少数派度が高い程多くの褒賞を貰うという要素を MG にとり入れたモデルとして戸田・中村による投資型 MG<sup>4)</sup> (IMG)がある。彼らはエージェントに資産を明示的に与え、資産から一定比率の額を全員が出資して、その総額を勝ったエージェントだけで出資率に比例した額を分配するというモデルを考案した。本来、投資市場のモデルとして考えられた MG に資産を導入し、これを投資するという、2重の投資概念を導入するのは奇妙であるが、これを上記のような「少数派度」の実現法と考えればごく自然な MG の改良方法と理解できる。

しかしながら IMG はそれだけでは資産分布を Gini 係数によっても Pareto 分布によっても再現できない。少数派度が大きくなるほど大きな褒賞をエージェントに与えるモデルを上記の IMG のように表現した場合、全エージェントに共通する「投資比率:  $r$ 」をパラメータとするが、 $r$  を 0.3

から 0.001 の範囲でどのように取っても Gini 係数は殆ど  $G=0.9$  を超えて  $G=1$  に近づいてゆくからである。投資率  $r$  をこの範囲に取る理由は、全資産の 3 割を超える投資をする者は少ないであろうし、また資産の 0.1% 以下の投資というのも余程の例外的な大資産の持ち主でなければ現実的ではないからである。

そこで IMG に資産の再分配を加味する意味で、定率  $Z$  の税の徴収を加えた再分配型投資モデル (TMG) を提案する<sup>2)</sup>。

### 5. MG の拡張(3): 資産再分配モデル (TMG)

現実的な資産分布を再現するには「資産の再分配」を取り入れる必要がある。これは IMG の枠組みの中では、勝ちエージェントが褒賞を分ける際、各人が出資した額に比例する分配を受けるだけでなく、その中から一定額 (比率  $T$ ) を徴収して勝ちエージェント全員に均等分配することになると、Gini 係数を 0.3-0.7 程度の適当な値に留めることができる。このとき累積資産分布は

Pareto 分布、 $P(x) = Ax^{-\alpha}$  と資産  $x$  のべき乗になり、 $\alpha=1.8$  程度となって実測値と矛盾のない値を再現することが示される。<sup>2)</sup>

1) Challet, D. and Zhang, Y.-C.: Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game, *Physica A*, vol.246 pp.407-418 (1997)

2) Tanaka-Yamawaki, M. and Tokuoka S.: Wealth Concentration Problem in the Minority Game, *Proc 4th Int. Workshop on Agent-based Approches in Economic and Social Complex Systems*, July 9-13, 2005 Tokyo Inst. Tech. Japan pp.237-241 (2005)

3) 厚生労働省: 所得再分配調査報告書 2002

4) 戸田皓治, 中村泰之: Minority Game における富のダイナミクス, *情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用(TOM14)*, 掲載予定