

# Adaptive Competition, Market Efficiency, and Phase Transitions

Robert Savit, Radu Manuca, and Rick Riolo

Physical Review Letters, Vol82, No.10, pp.2203-2206 (1999)

## 1. はじめに

- 多くの社会的および生物学的システムにおいて、エージェントは限られた資源に対して同時に適応的に競合し、それにより環境が変化する。
- 例えば、金融市場では、ある商品の価格が上昇すると広く信じられているために、その商品の価格が上昇する可能性がある。しかし、価格上昇の根本的な理由がない限り、こうしたバブルは最終的に崩壊し、広く共有されている戦略は長期的には崩壊することが多い。
- 従って、多くのシステムにおいて、成功したエージェントは、それらを競合者から差別化する戦略を採用するであろう。
- さらに、全体的なシステムのパフォーマンスの観点から見ると、限られた資源が限界に近い形で消費されるようなことが望ましい。
  
- 本研究では、Challet(1997)により考案された少数派(マイノリティ: minority)ゲームを解析した。
- このゲームは、限られた資源をめぐる競争が起こり、少数派になった者が利益を得る状況をモデル化したものである。
- 例えば、自動車の経路選択では、他の車が少ない経路の方がスムーズに移動でき、株式投資では、株価が比較的安定している場面において、売り注文が多くなった瞬間に買い注文を執行すると、安値で買える可能性が高まることがある。
- このように、少数派になった者が利益を得る場面は、人間社会においてもよく起こりうる。

## 2. 少数派ゲームのルール

- 少数派ゲームは、 $N$ (奇数)個のエージェントで構成される。
- ゲームの各タイムステップで、各エージェントは、選択肢「行動"0"」と「行動"1"」の中から1つを選択する。
- そのタイムステップで、行動"0"を選択したグループと行動"1"を選択した人数を比較し、少数派グループを勝利サイドとする。
- 勝利サイドのエージェントには1点が与えられるが、敗北サイドのエージェントには何も与えられない。
  
- エージェントの行動選択は、該当エージェントの戦略と過去の勝利サイドの履歴から決まる。
  - ◆ 過去の勝利サイドの履歴
    - ✓ 各エージェントは、長さ $m$ の記憶長を持ち、直前 $m$ タイムステップの勝利サイドの履歴を保有する。
  - ◆ 戦略
    - ✓ 記憶長 $m$ から生成できる戦略の総パターンは $2^{2^m}$ となる。
    - ✓ 各エージェントは、 $2^{2^m}$ 個の可能な戦略のうちの $s$ 個をランダムに与えられる。
    - ✓ 各エージェントは、現時点までのゲームの中で、最高のパフォーマンス(最も予測が当たった回数が多い)を得た戦略を選択する。

表 1 記憶長 $m = 2$ の場合の可能な戦略(発表者作成)

直前 $m$ タイムステップの勝利サイドの履歴	$S_1$	$S_2$	...	$S_{16}$
"0" "0"	"0"	"0"	...	"1"
"0" "1"	"0"	"0"	...	"1"
"1" "0"	"0"	"0"	...	"1"
"1" "1"	"0"	"1"	...	"1"

### 3. シミュレーション結果・考察

#### ■ 図1の結果

- 各 $m$ について、 $N = 101$ 、 $s = 2$ で32回のシミュレーションを実施。
- "1"の行動を選択したエージェントの数の時系列を $L_1$ とすると、その平均はどのような $N$ 、 $m$ 、 $s$ 値に対しても、一般に $N/2$ に近い。
- この時系列の標準偏差 $\sigma$ は、システムが平均して資源を分配する際にどれだけ効率的であるかの指標となる。
  - ✓  $\sigma$ が小さいほど、各タイムステップにおいて、少数派グループに属するエージェントの数が $N/2$ に近いことを意味する。
  - ✓ 多くのエージェントにポイントが与えられる。
- 破線はランダム選択ゲーム(RCG:各タイムステップで、ランダムに"0"か"1"の行動を選択する)の標準偏差を示す。
- 結果として次のことが言える。
  - (1)  $m$ が比較的小さい場合、 $\sigma$ の平均値は非常に大きい(RCGよりはるかに大きい)。
  - (2)  $m = 6$ で $\sigma$ の最小値があり、この値を $m_c$ とする。
  - (3)  $m$ が $m_c = 6$ を超えると $\sigma$ は徐々に増加し、RCGでの値に近づく。

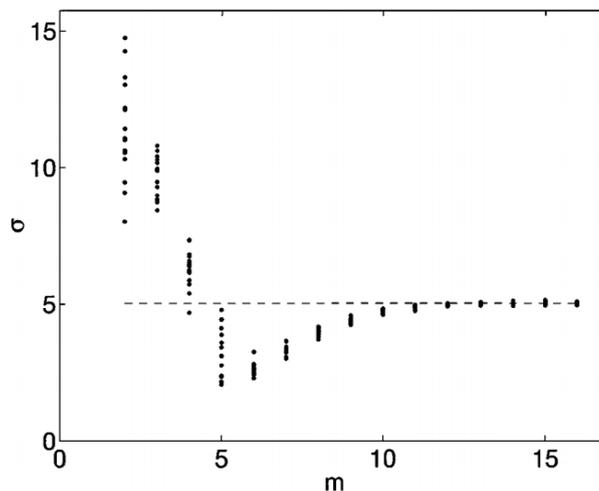


FIG. 1.  $\sigma$  as a function of  $m$  for  $N = 101$  and  $s = 2$ , showing 32 independent runs of 10 000 time steps for each value of  $m$ . The value of  $\sigma$  for each run is indicated by a dot. The horizontal dashed line is at the value of  $\sigma$  for the random game described in the text.

■ 図1の考察

- (1) $m$ が比較的小さい場合、 $\sigma$ の平均値は非常に大きい(RCGよりはるかに大きい)について
  - ✓  $m$ が比較的小さい場合、エージェントが類似した2つの戦略を持つ可能性が高い。例えば、"0" "1"の項目だけ異なり、それ以外は同じであるとする。

[例]

直前 $m$ タイムステップの勝利サイドの履歴	$S_1$	...
"0" "0"	"0"	
"0" "1"	"0"	
"1" "0"	"0"	
"1" "1"	"0"	

直前 $m$ タイムステップの勝利サイドの履歴	$S_1$	...
"0" "0"	"0"	
"0" "1"	"1"	
"1" "0"	"0"	
"1" "1"	"0"	

- ✓ 1回目に「"0" "1"」が現れたとき、「1」の行動を選択したエージェントの数はエージェントの総数の50%に近いと予想される。
- ✓ その結果、少数グループがたまたまグループ1であったと仮定する。  
すると、「"0" "1"」が現れた後に「1」の行動をする戦略を持つエージェントは、その戦略の予測価値を高める。
- ✓ 2回目に「"0" "1"」が現れたとき、「"0" "1"」が現れた後に「1」の行動をする戦略を持つエージェントそのエージェントは「1」の行動をする。
- ✓ その結果、1回目に「"0" "1"」が現れたときよりも、「1」の行動をするエージェントの人数が多くなり、少数グループが"0"になる。  
すると、「"0" "1"」が現れた後に「0」の行動をする戦略を持つエージェントは、その戦略の予測価値を高める。
- ✓ このように、ある特定の勝利サイドの履歴が奇数回出現しているときは、少数グループのエージェント数は比較的50%に近くなり、偶数回出現しているときは、その人数が50%から大きく離れる。そのため、 $L_1$ の時系列の標準偏差は大きくなる。
- ✓ ただし、 $m$ が大きくなると、ある特定の勝利サイドの履歴が出現する間に、その戦略の予測価値が変動する可能性が高くなり、その戦略を選択しない可能性が高くなる。そのため、上記のような現象は発生しにくくなる。そのため、 $L_1$ の時系列の標準偏差は小さくなっていく。

■ 図4の結果

- $N$ の値を変えてシミュレーションを行った。
- 図4のように、 $\sigma^2/N$ は $2^m/N \equiv z$ の関数であることを発見した。
- また、この関数の最小値は $2^{m_c}/N \equiv z_c \approx 0.5$ であることも発見した。

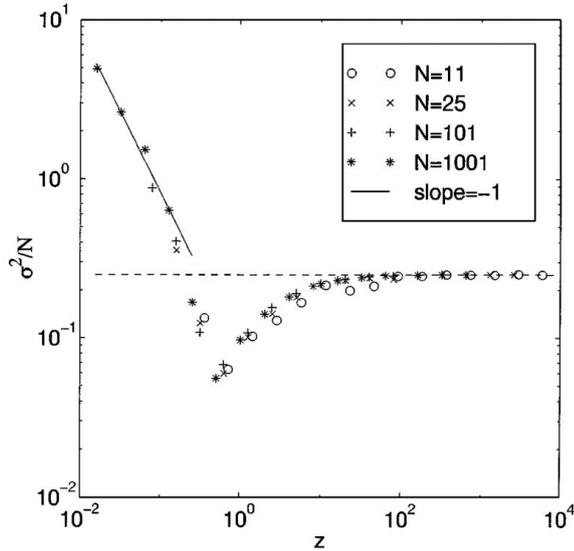


FIG. 4.  $\sigma^2/N$  as a function of  $z \equiv 2^m/N$  for various values of  $N$ , on a log-log scale.

## 4. まとめ

- 本研究では、非常に単純な少数派ゲームが示す、注目に値する挙動を示した。
- 主な結果としては次の通り。
  - ✓ 記憶長が比較的小さい場合には、ランダム選択ゲームよりもシステム全体のパフォーマンスは悪い
  - ✓ 記憶長が大きくなっていくと、ランダム選択ゲームよりもシステム全体のパフォーマンスが良くなる。
  - ✓ さらに記憶長が大きくなると、システム全体のパフォーマンスはランダム選択ゲームに近づく。
- 本研究では、エージェントの戦略を“適応的”なものとしていたが、“進化的”なものにはしていない。“進化的”なものにした場合には、また異なる結果になるだろうと述べている。

## 5. 自分の研究について

- 以前講座ゼミで発表したときのシミュレーションは、各エージェントが方略を固定としていたため、“当たり前の結果”となった。
- 今後、状況に応じて方略を変化させるエージェントを考えることで、今回紹介する研究のような驚きの結果が得られる可能性があると考えている。

## その他

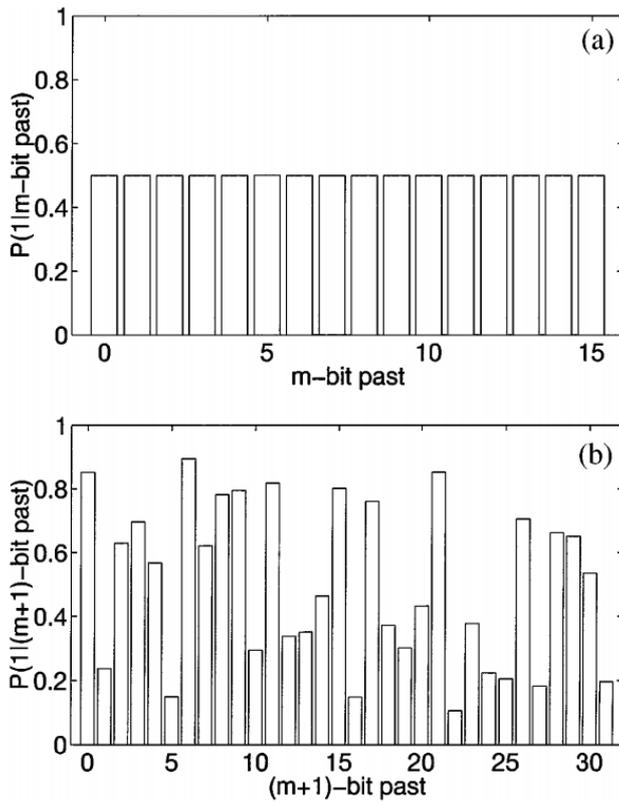


FIG. 2. (a) A histogram of the conditional probability  $P(1|u_k)$  with  $k = 4$  for the game played with  $m = 4$ . The bin numbers, when written in binary form, yield the strings  $u$ . (b) A histogram of the conditional probability  $P(1|u_k)$  with  $k = 5$  for the game played with  $m = 4$ .

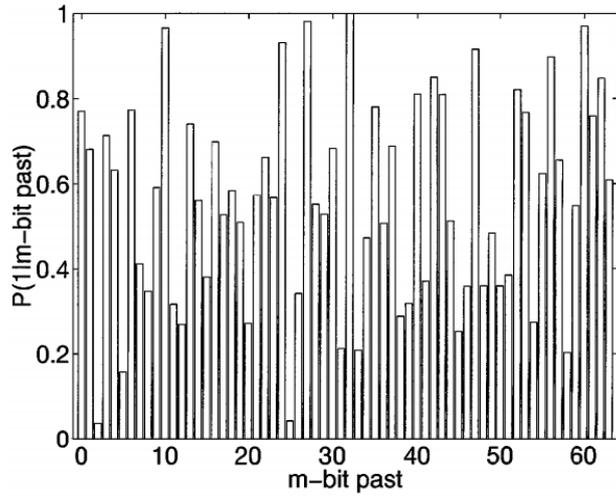


FIG. 3. A histogram of the conditional probability  $P(1|u_k)$  with  $k = 6$  for the game played with  $m = 6$ . The bin numbers, when written in binary form, yield the strings  $u$ .

