

2x2 ジレンマゲームにおける進化的現象

— 記憶と戦略揺らぎとゲーム構造が協力形成に果たす役割 —

秋山 英三*

ゲームの構造は進化的現象にどのような影響を与えるだろうか？ エージェントの記憶の様式の違いは、社会現象にどのような違いを与えるだろうか？ 戦略空間が有限の時、戦略の突然変異の有無は、進化ダイナミクスにどのくらい本質的だろうか？

これらの問題を考えるために、二人のプレイヤーがそれぞれ二つの戦略を持つようなゲーム — 2x2 対称ゲーム — における進化ダイナミクスを検証してみよう¹。ここでは、non-generic²な対称ゲームの1例として華厳ゲーム [Aruka 2001] を (表 1)、generic なゲームの例として、4つの代表的なジレンマゲーム — 囚人ジレンマゲーム、チキンゲーム、指導者ゲーム、英雄ゲーム ([Rapoport 1966] の分類) — のみを考える (表 2)。

表 1: 「華厳 (けごん) ゲーム」の利得行列: 左と右の行列はそれぞれプレイヤー 1 とプレイヤー 2 の利得行列を表す。行方向はプレイヤー 1 の行動の選択肢、列方向はプレイヤー 2 の選択肢である。対称ゲームでは、プレイヤー 2 の利得行列はプレイヤー 1 の利得行列の転地行列になるので、以下、プレイヤー 1 の利得行列のみを書くこととする。

	プレイヤー 1 の利得行列	プレイヤー 2 の利得行列																		
	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="border: none;"></td><td style="border: none;">D</td><td style="border: none;">C</td></tr> <tr><td style="border: none;">D</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td style="border: none;">C</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>		D	C	D	1	2	C	1	2	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="border: none;"></td><td style="border: none;">D</td><td style="border: none;">C</td></tr> <tr><td style="border: none;">D</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td style="border: none;">C</td><td>2</td><td>2</td></tr> </table>		D	C	D	1	1	C	2	2
	D	C																		
D	1	2																		
C	1	2																		
	D	C																		
D	1	1																		
C	2	2																		

華厳ゲームは個人的利得最大化とは無縁の構造を持っており、戦略空間全てがナッシュ均衡戦略である。それゆえ、個人的利得最大化「以外」の要素 (エージェントの認知構造など) の影響を浮き彫りにするのに非常に適している。

一方、generic な対称 2x2 ゲームとして、表 2 の 4 つのゲームだけを分析

*筑波大学社会工学系, eizo@sk.tsukuba.ac.jp

¹本稿では、現実の個体間相互作用を考慮するため、(i) 繰り返しゲーム (ii) 繰り返しの伴う action noise の存在 (iii) 適者生存 (進化ゲームダイナミクス) の 3 つを仮定している。

²同点となる利得要素が存在する

表 2: 2x2 ジレンマゲーム ([Rapoport 1966])

	D	C			D	C
(a) 囚人	D	1 5	(c) 指導者	D	0 5	
	C	0 3		C	3 1	
	D	C		D	C	
(b) チキン	D	0 5	(d) 英雄	D	0 3	
	C	1 3		C	5 1	

すれば十分であるという根拠は以下のとおりである。まず、2x2 ゲームの利得表には 4 つの戦略の組 (CC, CD, DC, DD) がある。そのそれぞれに対応する利得 ($\pi(CC)$, $\pi(CD)$, $\pi(DC)$, $\pi(DD)$) が全て異なるとすると、その大小関係から $4! = 24$ 通りのゲームが存在する。このなかで、例えば $\pi(CC) > \pi(CD) > \pi(DC) > \pi(DD)$ となるようなゲームでは、当然、双方のプレイヤーとも C を選ぶだろう。つまり、このゲームには特にプレイヤーが判断に困るところ— (Rapoport の) ジレンマ —がない。この場合、必ずゲームダイナミクスは収束するし、利得行列を一見すれば最終状態は簡単に予測できる。我々が分析する必要があるのはゲームに何らかの「ジレンマ」が存在するときだけである。そこで、対称ゲームでジレンマが存在する条件として次の 2 つを要請することにする：(1) 二人とも協力しているほうが二人とも裏切っているときよりも利得が大きい。つまり、 $\pi(CC) > \pi(DD)$ 。(2) 相手が協力しているときに裏切りへの誘引がある。つまり、 $\pi(DC) > \pi(CC)$ 。この 2 つの条件を満たすゲームは表 2 の 4 つのゲームしかない。

モデルの数理的分析とコンピュータシミュレーションの結果、主に以下の 4 つのことが分かる³。

1. カオスのダイナミクスを引き起こしうるゲームは、すべての 2x2 ゲームの中で「囚人ジレンマ」だけである。
2. 協力的社会が安定に実現される場合、その協力形態は (i) カオスの準協調状態 (ii) パブロフ戦略による全社会的協調状態 (iii) 役割分業協調状態のいずれかである。
3. まず、突然変異の影響は、華厳ゲームと囚人ジレンマで顕著である。特に、ゲームダイナミクスにおいて、アトラクタとしての ESS が小さな吸引域しか持たない場合、突然変異は本質的である。(実際、囚人ジレンマでは GRIM という戦略が進化的安定戦略であるが、ごく近傍にしか吸引域を持たない。また、華厳ゲームにはアトラクタが存在しない。)

³進化の時間発展の方程式は [Nowak 1993a] に従っている。

4. すべての 2×2 ゲームについて、協力的社会が安定に実現するためにエージェントが持つべき記憶は、相手と自分の両方に関する直前の記憶だけである。これより前の記憶は必要がない（あっても社会現象に影響を与えない）し、一方、この両者がないと安定な協力状態は実現できない。

参考文献

- [Aruka 2001] Aruka, Y., "Avatamsaka Game Structure and Experiment on the Web," in Aruka, Y.(ed), Evolutionary Controversies in Economics, Srpinger, Tokyo, 2001, pp. 115-132.
- [Nowak 1993a] Nowak, M. A. and Sigmund, K. (1993), "Chaos and the evolution of cooperation." Proc. Natl. Acad. Sci. USA 90: 5091-5094.
- [Rapoport 1966] Rapoport, A. and M Guyer (1966) "A Taxonomy of 2×2 games" General Systems 11:203-214