

ゲーム理論における不確実性の取り扱い方(2)

—— 非定和ゲームにおける混合戦略と進化 ——

松 本 直 樹

序

コイン合わせ等のゲームのようなプレイヤー間で100%利害が対立している状況下においては、純粋戦略の枠組みの中だけでは均衡導出に際して堂々巡りを招いてしまい、安定的な組合せをそこで得ることができない。その種のゲームでは、混合戦略まで考察の対象を広げ、プレイヤーの戦略が確率的に決まるものと見なすことによって、初めて均衡を見出すことができるようになる。この点は既に前稿で確認し、併せてその応用問題も幾つか取り上げた。

しかしながら純粋戦略のみによってナッシュ均衡が十分に得られうるケースにおいてさえ、依然としてこの種の混合戦略の考え方は有効である。なぜならある種のゲームでは、既に純粋戦略ナッシュ均衡が得られているにも拘わらず、それとは別に他に混合戦略ナッシュ均衡の存在が認められるかもしれないからである。

そこでこのような不確実性を取り込んだナッシュ均衡の一般化を見るため、本稿では対象をゼロ和を含む定和ゲームに限ることなく、まずチキン・ゲームとシカ狩りの2つの非定和ゲームを取り上げ分析する。前者のチキン・ゲームには共に‘裏切る’という最悪の組合せを避けようとする意味で、プレイヤー間に利害の共通する部分が存在する。また後者のシカ狩りとは調整ゲームの1つであり、そこではプレイヤー間で戦略選択の調整が適切に行われさえすれば、そもそも利害対立はまったく生じない。従ってこれら両ケースにおいては

元々純粋戦略のみでナッシュ均衡を十分に求められる構造となっている。しかしそれらにおいてさえ、純粋戦略以外に新たに混合戦略ナッシュ均衡をも見出しうるのである。この点を確認し、次いで意味付けを行い、ゲーム理論の理解をより深めたい。

更に非定和ゲームにおける混合戦略の議論によって得られた結果を踏まえながら、続いてタカ-ハト・ゲームに基づき進化ゲームにおけるレプリケータ・ダイナミクスの手法に議論を関連付けていく。そして最後にその分析手法に基づきつつ進化ゲームの考え方を企業組織内部の問題に適用し、組織腐敗のメカニズムを見ることにする。

1. 非定和ゲームにおける混合戦略

本節では、純粋戦略のみによってナッシュ均衡を得られるようなゲームにおいても、混合戦略を考慮することに十分に意義を持ちうることを明らかにする¹⁾。そのようなケースとして、特にここではチキン・ゲームとシカ狩りとして知られる非定和ゲームの2つを取り上げ、純粋戦略と共に新たに混合戦略ナッシュ均衡が導き出されうることを以下、2つの項においてそれぞれ確認する²⁾。

1.1 チキン・ゲーム

表1のようなチキン・ゲームにおいては、ナッシュ均衡が(裏切り, 協調), (協調, 裏切り)と複数存在している。共に裏切るという最悪の組合せを避けたいことから、利害の共通する部分が両者間には存在する。それでも相手の協調を前提とした際には裏切りを選んだ方が有利であるし、自分が裏切りを選ぶ

表 1

		B	
		裏切り	協調
A	裏切り	1, 1	4, 2
	協調	2, 4	3, 3

のであれば相手は協調を選ばざるを得ず、基本的には利害が対立している。

このゲームを混合戦略まで考慮に入れて分析するため、裏切りを選ぶ確率を p_A 、協調を選ぶ確率を $1 - p_A$ とし、A の確率ベクトルは $\mathbf{p}_A = (p_A, 1 - p_A)$ where $1 \geq p_A \geq 0$ 、同様にBのそれは $\mathbf{p}_B = (p_B, 1 - p_B)$ where $1 \geq p_B \geq 0$ と表記されるものとしよう。ここではAの期待利得が

$$E_A = p_A(1 - 2p_B) + 3 - p_B,$$

となり、そこでのAの最適反応戦略は

$$1 - 2p_B \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_B \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 1/2 \Rightarrow p_A = \begin{cases} 1 \\ \text{all } p_A \\ 0 \end{cases} \quad (1 \geq p_A \geq 0)$$

である。他方、Bについてその期待利得は

$$E_B = p_B(1 - 2p_A) + 3 - p_A,$$

であり、その最適反応戦略は

$$1 - 2p_A \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 1/2 \Rightarrow p_B = \begin{cases} 1 \\ \text{all } p_B \\ 0 \end{cases} \quad (1 \geq p_B \geq 0)$$

となる。両最適反応を重ね合わせれば、その交点においてナッシュ均衡が求まる。ここでは交点は3箇所を得られ、純粋戦略としては $(p_A, p_B) = (1, 0)$ と $(0, 1)$ が、混合戦略としては $(1/2, 1/2)$ が、それぞれナッシュ均衡に対応している。このことをまず図1において確認されたい。そして併せて混合戦略ナッシュ均衡では期待利得が $(5/2, 5/2)$ となっていることも確かめられたい。このように混合戦略まで考慮することによって、新たな均衡 $\{(裏切り/2, 協調/2), (裏切り/2, 協調/2)\}$ が元々の純粋戦略のみの複数均衡（裏切り, 協調）, （協調, 裏切り）に追加される。そしてこのとき、チキン・ゲームにおける悲劇的な結末（裏切り, 裏切り）の確率が $1/4$ として引き出されることとなる。

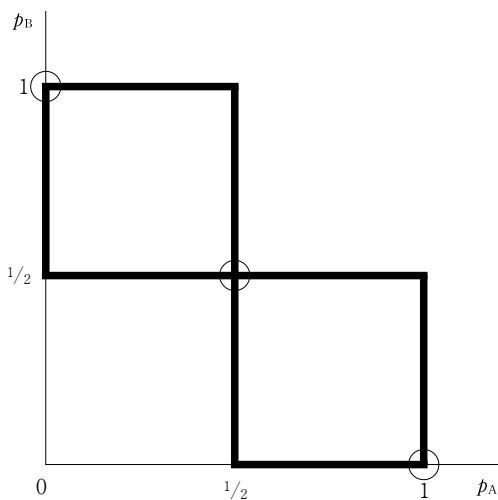


図 1

1.2 シカ狩り

表2のようなシカ狩りゲームでは低位均衡（裏切り，裏切り）と高位均衡（協調，協調）が共にナッシュ均衡として得られる。相手プレイヤーが協調すると予想すれば進んで協調を選ぶ。そしてもし自分が協調を選ぶのであればまた相手も協調で応えるからである。しかし反対に裏切りを予想すれば止む無く裏切りを互いに選び合うことになってしまう。このようにプレイヤー間で戦略選択が適切に調整されさえすれば，そもそも利害対立が存在しないため，このシカ狩りは調整ゲームの1つとされる。

さてここでもチキン・ゲームと同様にAの期待利得が

表 2

		B	
		裏切り	協調
A	裏切り	1, 1	1, 0
	協調	0, 1	3, 3

$$E_A = p_A (3p_B - 2) + 3 - 3p_B,$$

となることから、Aの最適反応戦略は

$$3p_B - 2 \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_B \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 2/3 \Rightarrow p_A = \begin{cases} 1 \\ 1/2 \\ 0 \end{cases} \quad (1 \geq p_A \geq 0)$$

である。他方、Bについてその期待利得は

$$E_B = p_B (3p_A - 2) + 3 - 3p_A,$$

となり、Bの最適反応戦略は

$$3p_A - 2 \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_A \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 2/3 \Rightarrow p_B = \begin{cases} 1 \\ 1/2 \\ 0 \end{cases} \quad (1 \geq p_B \geq 0)$$

である。図2において示されているように、最適反応をそれぞれ重ね合わせれば、その交点は、純粋戦略として $(p_A, p_B) = (1, 1)$ と $(0, 0)$ 、更に混合戦略

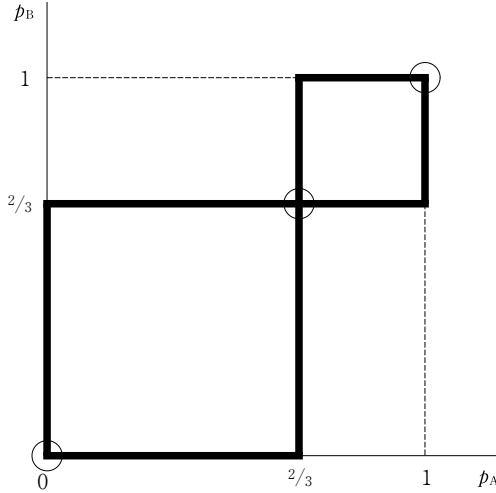


図 2

として $(2/3, 2/3)$ の計3箇所得られ、それぞれナッシュ均衡となっている。この最後の混合戦略ナッシュ均衡では期待利得が $(1, 1)$ となる。このように混合戦略まで考慮することによって、新たにここで均衡 $\{(裏切り\ 2/3, \text{協調}\ 1/3), (裏切り\ 2/3, \text{協調}\ 1/3)\}$ が純粋戦略のみの2つの複数均衡（裏切り，裏切り），（協調，協調）に追加されることになる³⁾。

2. タカ-ハト・ゲームと進化的に安定な戦略

前節で非定和ゲームに対し混合戦略を適用する際に為された議論を踏まえ、ここでは進化ゲームの考え方とその特徴について述べることにする⁴⁾。この進化ゲームにおいては、任意の個体AとBが1対1でランダムに遭遇するものとされる。各個体の行動様式には2通りあり、これらの行動様式は各個体に特有なものであって、個体にとっての選択肢ではない。換言すると先天的に組み込まれ（遺伝子レベルで決まっ）ており、その意味ではプレイヤーがある一定の行動パターンを具現化する存在となり、自らが戦略そのものとなっていると見なすのである。またランダムに選ばれた対戦相手との相互作用の結果は利得の数値によって表される。但しここでの利得はむしろ適応度として取り扱われ、子孫を残す可能性の高さを表している。適応度の高い行動様式を持った個体は繁殖に成功し、集団内で勢力を拡大することになる。他方、適応度の低い個体は繁殖に失敗し駆逐され、そこでは勢力を維持拡大することができない⁵⁾。

このように状況次第では、それぞれの個体が利得の組合せを総合的に考えて相手の出方を合理的に予測し、意識的、自覚的に戦略を決定するとみなすよりも、ときには習慣や惰性、思い込み、ないし勘に従って、いわば無意識的ないし反射的に決定すると想定した方が妥当な場合もあるかもしれない。人間においてさえ、その持つ合理性は限定的であることが少なくないため、その行動パターンをモデル化しようとする場合には、却って上述の進化ゲームにおける想定の方がより適切であることも多い。

この種の進化ゲームを論じる際に、しばしば関連して取り上げられるものと

して、ハト・タカ・ゲームがある⁶⁾。その特徴は次の通りである。まずそこでは2羽の鳥がランダム・マッチングで出会うものとされる。従って1羽の鳥がタカと出会う確率は全体に占めるタカの割合に等しいことになる。ハトと出会う確率も全体に占めるハトの割合に等しくなる。タカの行動様式は攻撃であり、ハトのそれは逃亡である。タカ同士が遭遇すると1/2の確率で勝利するが、その代わり争いのため酷く傷付いてしまう。ハト同士が遭遇すると傷付くことなく縄張りを分け合う。異種のタカとハトが対戦すればタカが無傷で勝利を収め、縄張りを占有でき、ハトは追い払われる。ここでは表3における数値例で、以上の関係がゲーム的状况に反映されているものとしておこう。

表 3

		B	
		タカ	ハト
A	タカ	-1, -1	4, 0
	ハト	0, 4	2, 2

さて上ではタカ・ハト・ゲームをタカとハトが種として各個体で事前に確定しており、これら意思を持たぬ個体が環境下での生存に適するかどうかで各種の占める割合が変化する、というように説明したが、これとは別にプレイヤーがタカ・タイプ戦略とハト・タイプ戦略を選択肢として持ち、何れかを決定するものと考えれば、従来通りに混合戦略ナッシュ均衡導出の際と同様の手法で解を求めることができる⁷⁾。そこで先のチキン・ゲームとシカ狩りに対して行ったものと同様に、ここでもAが $\mathbf{p}_A = (p_A, 1-p_A)$ where $1 \geq p_A \geq 0$, Bが $\mathbf{p}_B = (p_B, 1-p_B)$ where $1 \geq p_B \geq 0$ という混合戦略を取ったものとし、そのときの両者の期待利得を求め、そこから対応する最適反応戦略を導出の後、その組合せによってナッシュ均衡を得ることにする。但しここではタカ・タイプを選ぶ確率が p_A 、ハト・タイプを選ぶ確率が $1-p_A$ である。まずAの期待利得は

$$\begin{aligned} E_A &= p_A p_B \cdot (-1) + p_A (1 - p_B) \cdot 4 + (1 - p_A) p_B \cdot 0 + (1 - p_A) (1 - p_B) \cdot 2 \\ &= p_A (2 - 3p_B) + 2 - 2p_B, \end{aligned}$$

となる。AはBによる p_B の決定を与えられたものとして p_A をコントロールする。最適反応戦略は

$$2 - 3p_B \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_B \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 2/3 \Rightarrow p_A = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 0 \end{cases} p_A \quad (1 \geq p_A \geq 0)$$

である。 $p_B < 2/3$ であれば、 $p_A = 1$ としてタカ・タイプ戦略である。逆に $p_B > 2/3$ であれば、 $p_A = 0$ としてタカ・タイプを取り止めてハト・タイプ戦略に変更する。ちょうど $p_B = 2/3$ の際には p_A の如何に拠らずAの期待利得は $2/3$ である。

他方、Bの期待利得は

$$\begin{aligned} E_B &= p_A p_B \cdot (-1) + (1 - p_A) p_B \cdot 4 + p_A (1 - p_B) \cdot 0 + (1 - p_A) (1 - p_B) \cdot 2 \\ &= p_B (2 - 3p_A) + 2 - 2p_A \end{aligned}$$

となる。BはAによる p_A の決定を与えられたものとして p_B をコントロールする。最適反応戦略は

$$2 - 3p_A \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow p_A \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 2/3 \Rightarrow p_B = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 0 \end{cases} p_B \quad (1 \geq p_B \geq 0)$$

である。 $p_A < 2/3$ であれば、 $p_B = 1$ としてタカ・タイプ戦略である。逆に $p_A > 2/3$ であれば、 $p_B = 0$ としてハト・タイプ戦略である。ちょうど $p_A = 2/3$ の際には p_A の如何に拠らずBの期待利得はやはり $2/3$ である。

図3のように最適反応をそれぞれ重ね合わせると、その交点により、混合戦略として $(p_A, p_B) = (2/3, 2/3)$ 、純粋戦略として $(1, 0)$ と $(0, 1)$ 、の計3つがナッシュ均衡となっている。もし集団内に $2/3$ の割合でタカ、 $1/3$ の割合で

ハトがいるとすると、個体の対峙する相手がタカである確率は $2/3$ で、ハトである確率は $1/3$ である。この確率に基づいて期待適応度が求められるため、混合戦略ナッシュ均衡を得る際とまったく同様にしてここでの均衡が引き出されることとなっている。この混合戦略均衡ではタカとハトがそれぞれ $2/3$, $1/3$ の割合で共存するという解釈になる。そしてこれとはまた別に、タカ 100% とハト 0%, タカ 0% とハト 100%, という極端な純粋戦略の選択による両均衡も導出される。つまりここではタカとハトは共存できず、どちらか一方が優勢となり他方を駆逐してしまうことになる。

もしタカの割合が $2/3$ を下回っていればタカの期待適応度はハトのそれを上回るためタカの割合は増大する。逆にタカの割合が $2/3$ を上回っていればタカの期待適応度がハトのそれを下回るためタカの割合が減少する。タカの割合がちょうど $2/3$ のときにはタカの割合は変化しないことになる。このようにして正にこの $2/3$ という割合がステディー・ステートとなっており、しか

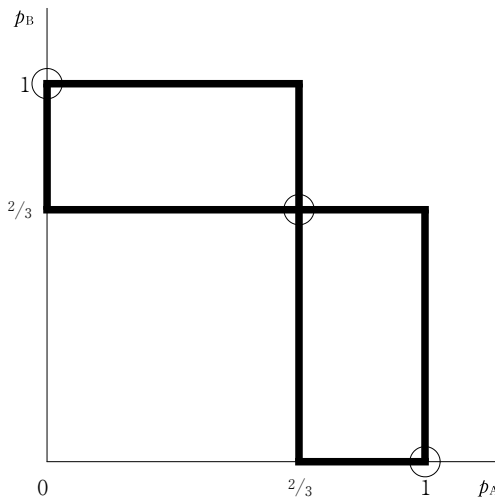


図 3

も今見たように少なくともこの近傍においては安定的であることが分かる。しかしタカばかりいる集団内にハトが1羽迷い込むと

$$U(\text{タカ}, \text{タカ}) = -1 < U(\text{ハト}, \text{タカ}) = 0$$

となるため、意外にもハトがそこでは繁殖してしまい、タカ100%の状態に戻ることはない。またハトばかりいる集団内にあるタカ1羽が侵入すると

$$U(\text{ハト}, \text{ハト}) = 2 < U(\text{タカ}, \text{ハト}) = 4$$

となるため、タカが勢力を拡大してしまい、ハト100%の状態に戻ることはやはりない。このように混合戦略均衡が安定的であるのに対して、純粋戦略均衡は共に不安定であることが確かめられる。この意味で前者のような均衡は進化的に安定な戦略(ESS)と呼ばれる。

このESSの条件は

$$(1-\varepsilon)E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) + \varepsilon E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}) > (1-\varepsilon)E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*) + \varepsilon E(\mathbf{p}, \mathbf{p}) \text{ for all } \mathbf{p} \neq \mathbf{p}^* \\ \text{and all } \varepsilon \in (0, \bar{\varepsilon})$$

であり、これを満たすある $\bar{\varepsilon}$ が存在することである。この定義は、戦略 \mathbf{p}^* が進化的に安定な戦略であるためには、他にどのような戦略が侵入してこようとも、それが十分に少数であれば \mathbf{p}^* の方が期待適応度が高くなければならないことを示している。また ε を0に近づけていけば、

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) > E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*)$$

であり、この条件からESSが対称ゲームにおける極単純なナッシュ均衡に対応していることも確かめられる。更には戦略 \mathbf{p}^* と \mathbf{p} がそれぞれ \mathbf{p}^* と遭遇したときの適応度が、もしたまたま同一、つまり

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) = E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*)$$

となっているならば、そのとき

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}) > E(\mathbf{p}, \mathbf{p})$$

のように、 \mathbf{p}^* が \mathbf{p} と遭遇したときの適応度が \mathbf{p} 同士が遭遇したときのそれを上回っていなければならないことをも、この定義は示している。

以上をまとめよう。 \mathbf{p}^* が ESS であるための必要十分条件はこうである。つまり $\mathbf{p} \neq \mathbf{p}^*$ であるような任意の \mathbf{p} に対して

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) \geq E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*),$$

そして

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) = E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*)$$

のときには,

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}) > E(\mathbf{p}, \mathbf{p})$$

が成立していることである。

いま $p = 2/3$ とする戦略を \mathbf{p}^* 、それ以外の任意の戦略を \mathbf{p} とすると

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}^*) = E(\mathbf{p}, \mathbf{p}^*) = 2/3$$

が得られ、また

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}) = -4p + 10/3,$$

$$E(\mathbf{p}, \mathbf{p}) = -3p^2 + 2$$

であることから、両者の差を取ると

$$E(\mathbf{p}^*, \mathbf{p}) - E(\mathbf{p}, \mathbf{p}) = (3p - 2)^2 / 3$$

が得られる。これより確かに $p \neq 2/3$ ではこの値がプラスとなることから、このケースではこの混合戦略が ESS の条件を満たしていることになる。しかし他の 2 つの純粋戦略に対してはこの条件を満たしていないことが同様のやり方で比較的容易にチェックできる。このように単なる混合戦略ナッシュ均衡とは異なり、ここでは安定性の条件を満たしているかどうかがキーとなり、この点が追加的に吟味されなければならない。この意味で ESS はナッシュ均衡戦略より厳しい均衡概念といえる⁸⁾。この安定性に関しては節を改め、そこにおいてこことはやや異なったアプローチでより視覚的に検討することにしたい。

3. レプリケータ・ダイナミクス

本節ではタカ-ハト・ゲームを題材とし、調整・学習プロセスの意味について説明する⁹⁾。その上でその手法をチキン・ゲームとシカ狩りにも適用し、先の

第1, 2節における諸結果と比較してみる。

プレイヤーの中でその平均を上回る利得を得ているタイプの割合は増加し、平均を下回る利得しか得られていないタイプの割合は減少するものとしよう。このような種の分布の変化を進化と捉えることもできるし、もう少しタイム・スパンを短く取って、学習プロセスと解釈することもできよう。特に後者の場合には純粹戦略に限られることなく、混合戦略という確率分布を次期にわたって調整していくことを認めることになる¹⁰⁾つまりそこでは最初から意識を持たず戦略が遺伝子レベルで規定されているのではなく、かといってすべてのプレイヤーが瞬時に最適化問題を解く程に過度の合理性を帯びているとの想定を置く必要もない。ゲームが繰り返されるプロセスで試行錯誤により最適行動様式(戦略)に気付いたプレイヤーから徐々にその高い適応度(利得)のものへ乗り換え、あるいはそのウェイトを移し調整していくのである。

いずれにしても今期における各行動様式の適応度の数値に比例して次期における行動様式の構成割合が変化していく動学プロセスは、レプリケータ・ダイナミクスとして知られている。モデル化は次のようである。学習プロセスは先の想定を反映し、以下の動学方程式によって記述される。2つの種ないし戦略(s_1, s_2)があり、 s_1 に付与される確率を p 、 s_2 に付与される確率を $1-p$ とすると、レプリケータ・ダイナミクスは

$$dp/dt = p(E(s_1, p) - \bar{E})$$

となる。但し $E(s_1, p)$ は s_1 を取ったときの期待適応度または利得、 \bar{E} は s_1 と s_2 を取ったときの期待適応度または利得を意味する。またここでの p は割合とも解釈できることにも注意されたい。従って $dp/dt > 0$ であれば p は上昇し s_1 の割合は増加する。逆に $dp/dt < 0$ であれば p は低下し s_1 の割合は減少する。 $dp/dt = 0$ のときに限り p の値が一定となり割合は不変となりうる。このときがステディー・ステートである。状況が以上の何れかを確認するにはこの方程式の軌道をまず探らなければならない。この軌道は右辺によって記述される。つまり s_1 を取ったときの期待戦略が s_1 と s_2 間での平均利得を上回っ

ているか否かで、この戦略に転換するタイプの割合が時間の経過を伴って増えるか減るかが決まる。この関係式の右辺では、その時点での平均との差にそのタイプの割合を乗じたものに応じて、そのタイプの割合が増大する形となっている。すべてのタイプが平均利得を得る状態に至っておれば、先に触れたようにステディー・ステートとなる。この状態を求めればよい。

しかし分析はそれだけでない。ここでの動学方程式では更にそのステディー・ステートが安定性を満たしているかどうか、併せて吟味されなければならない。この条件を満たしていればレプリケータ・ダイナミクスによってプレイヤーのタイプの割合が変化し、早晚ステディー・ステートに到達することになるし、満たしていなければ侵入者や突然変異が種の分布上の攪乱要因となり、かつその後ステディー・ステートからの乖離を益々大きくさせ、もはや元の均衡を回復することはできないことになる。この意味で前者のみがESSに対応するといえる。前節の繰り返しになるが、このようにしてレプリケータ・ダイナミクスによってナッシュ均衡が誘導されうるかどうかを論じる点で、ESSはナッシュ均衡戦略より厳しい均衡概念となっていることが確かめられる。

タカ-ハト・ゲームにおいてタカ戦略を選択する確率を p とすると、その時間を通じた変化は

$$dp/dt = p(3p-2)(p-1)$$

であり、図4における p の動きは矢印のように描写されうる。ここで意味を持つのは $p=[0, 1]$ に限られ、かつそこにおいて位相線が横軸を3回横切っている。つまり $dp/dt=0$ となり、すべてのプレイヤーが平均利得を得ているステディー・ステートは3つ存在することになる。これらはすべてナッシュ均衡に対応している(図3参照)。しかしその内、 $p=0$ と $p=1$ は位相線が横軸を左下から右上に横切っているため、共に不安定となっており、そのためここでESSは2/3のみであることが確かめられる。この結果は前節における安定性に関する議論と一致していることが確認できよう。

チキン・ゲームの計算も同様に、裏切り戦略を選択する確率を p とす

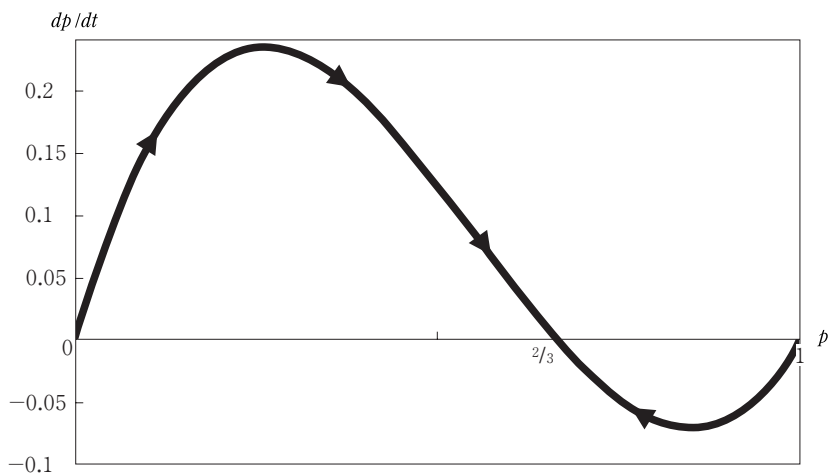


図 4

とその時間を通じた変化が

$$dp/dt = p(2p-1)(p-1)$$

で表され、その軌道は図5のように描かれる。 $p=[0, 1]$ において位相線がやはり横軸を3回横切っており、ステディー・ステートは3つ存在することになる。これらはすべてナッシュ均衡に対応しているが(図1参照)、その内、 $p=0$ と $p=1$ は位相線が横軸を左下から右上に横切っているため、共に不安定となっており、そのためここでのESSは $1/2$ のみであることが確かめられる。このゲームはタカーハト・ゲームと同じ構造をしているため、純粋戦略均衡の方が不安定となり、混合戦略均衡の方がESSとなるという意味で、ここでもまったく同じパターンとなっている。

シカ狩りの計算についても裏切り戦略を選択する確率を p とすると、その時間を通じた変化は

$$dp/dt = -p(3p-2)(p-1)$$

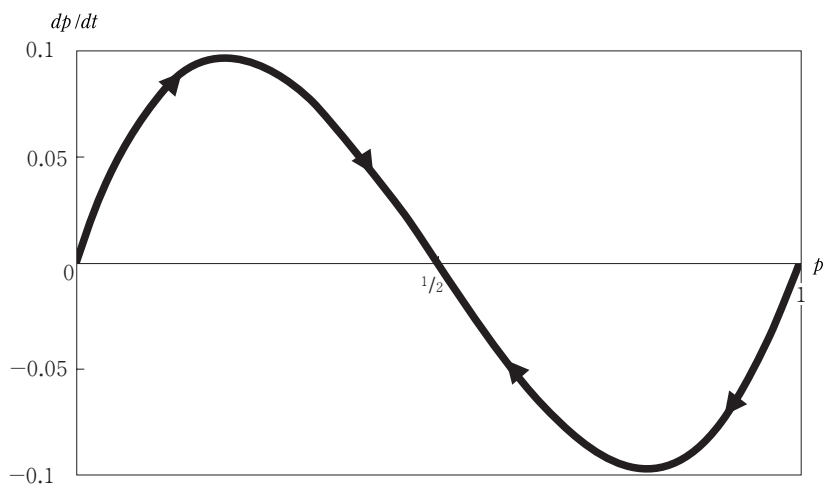


図 5

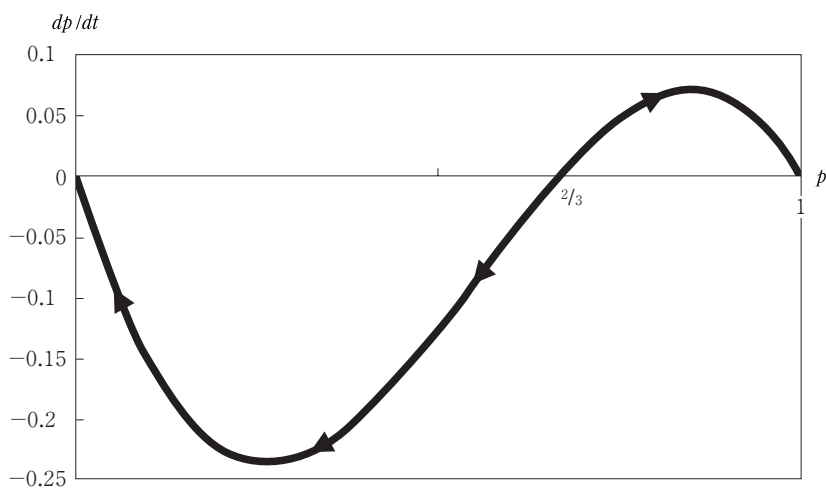


図 6

で表され、その軌道は図6のように描かれる。 $p=[0, 1]$ において位相線がここでもやはり横軸を3回横切っており、ステディー・ステートは3つ存在することになる。これらはすべてナッシュ均衡である(図2参照)。しかし今度は位相線が $p=2/3$ において横軸を左下から右上に横切っているため、不安定となっており、むしろ $p=0$ と $p=1$ の方がESSとなっていることが確かめられる。

このようにして1, 2節のゲーム的状况における純粹戦略・混合戦略ナッシュ均衡が、本節でのレプリケータ・ダイナミクスによるステディー・ステートにそれぞれ1対1に対応しており、更にここではその中から得られるはずのESSに関しても位相図において併せて導出を確認できるのである。

4. 組織の腐敗

最後に以上の進化ゲームにおける分析手法を組織内部の問題に適用する¹⁾。まず表4を見て頂きたい。まずここでの進化ゲームでは2タイプの従業員または2つの行動様式(武闘派と宦官)が存在しており、これまでと同様にランダム・マッチングで対戦するものとする。

いまベンチャー・ビジネスを考えよう。創業間もない頃には組織の規模も小さく、メンバー間で気心も知れており、創業者を中心によくまとまっていたはずである。そこでは業務も商品開発等、現場の視点を素朴に生かすものが主であり、ルールやモニタリングに細かく心を砕くまでもなかったであろう。しかし幸いにもそのビジネスが成功を収めて組織が大きくなるにつれて、単純に高い求心力や組織への忠誠心をメンバーに期待することはもはやできなくなって

表 4

		B	
		武闘派	宦 官
A	武闘派	2, 2	0, 4
	宦 官	4, 0	1, 1

くる。メンバーをまとめていくためには、打算や利己心に訴えながら、それら個人的動機を組織目標に収斂させるべく、適切で合理的な人事制度を含めたルールを確立し、その運営を心掛けておく必要性が生じてくる。つまり皆が当たり前のように全社一丸で献身的に働くのではなく、彼らのインセンティブに働き掛けるシステムの設計・運営の工夫が欠かせないのである。

更に一層、組織が肥大化し、かつ業務も多様化した折には、ルールが益々複雑化する。そのことがその運用者としての宦官の台頭を引き起こしてしまう。その結果、現場主義的な行動を取る武闘派との軋轢を生む。しかしながら両タイプの対立時にはルール運用に通じた宦官に対し武闘派が太刀打ちできずに敗退し、最終的に武闘派は一掃される。理屈はこうである。武闘派はその名前が示す通り、ビジネス・シーンにおいてリスクを負って攻撃的に出る。そのため勇み足も多く失敗の可能性が少なくない。そこに付け込まれる隙が生じてしまうのである。宦官は自分でリスクを負わず、相手の言動に対し常に批判だけを行う。そのため直接的には企業業績に対してさしたる成功はなくとも失敗もないことになる。その結果、宦官の勢力は徐々に拡大し、武闘派の勢力は縮小していく。やがては若年層にまで宦官化を善しとする風潮が蔓延し、この傾向が一層進んでいくことになる。

武闘派はときにルールを無視し越権行為をも辞さないのに対し、宦官は相手の行動や意見の不備を指摘し、ルールの抜け道や裏技に通じて、相手を徐々に窮地に追い込んでいくことを得意とする。会社組織にとっては、多少の過失を招いたとしても、現場で目に見える実績を挙げようとする武闘派の貢献が大であることは言うまでもない。商機を読み、ここぞというときに決断力を持って危ない橋を渡り、火中の栗を拾える人材は貴重である。確かにルールは必要であり、それを運用し、チェックする宦官タイプの存在意義は小さくない。しかしこのタイプばかりで組織が構成されるようでは、何を為そうとしても内向きの議論倒れとなり、積極的に外向きに他業者と競争し打ち勝って、全体として業績を拡大していく担い手がないことになってしまう。これこそが組織の行

き詰まりであり腐敗であり劣化である¹²⁾ やはり宦官が他を一掃してしまう程に存在感を強めることはタイプ分布のバランス上行き過ぎと言え、適度な割合での武闘派との共存が望ましいであろう。このことは可能であろうか。実は残念ながらこのゲームには、次に示されるように、構造的に組織腐敗のメカニズムが深く根差していることが明らかとなる。

武闘派戦略を選択する確率を p とするとその時間を通じた変化は、動学方程式

$$dp/dt = p(p^2 - 1)$$

で表現され、図7のように描写されうる。ここで意味を持つのは $p=[0, 1]$ であり、¹³⁾ そこではステディー・ステートとして $p=0$ と $p=1$ の2つが存在している。しかしその内、 $p=1$ では位相線が左下から右上にかけて横切っており、不安定といえ、そのためここでのESSは $p=0$ のみで、武闘派の居場所はどこにはないことになる。この結論は上記における組織腐敗のメカニズムの内容と一致していることが見て取れよう。

この進化ゲームにおいて、長期的に武闘派と宦官の2つのタイプが共存することはあり得ない。武闘派は宦官との争いに負け、最終的に組織内から一掃されてしまう。業績や組織の活性化に本来役立つのは実務で辣腕を振る武闘派であるが、宦官の属する組織内ではその勢力を伸ばすことができず、やがては淘汰を余儀なくされる。このように宦官の環境適応の成功が結果として組織のじり貧を招いている。宦官にとっても不利となることが明らかであるにも拘わらず、有為の人材を長期的に駆逐してしまい、集団全体としての競争力喪失がここでの組織の力学上避けられない結末となる。

このゲーム自体はタカ-ハト・ゲームではない。しかしそこでのプレイヤーに引き付けて論じれば、武闘派と宦官の関係をタカとハトとのそれにある程度なぞらえて考えることができる。そうすると本節において武闘派はタカではないし、宦官はハトではない。名称から受ける印象とは対照的に、実質的には武闘派はここではむしろハトに対応する。そしてむしろ宦官こそがタカとして振

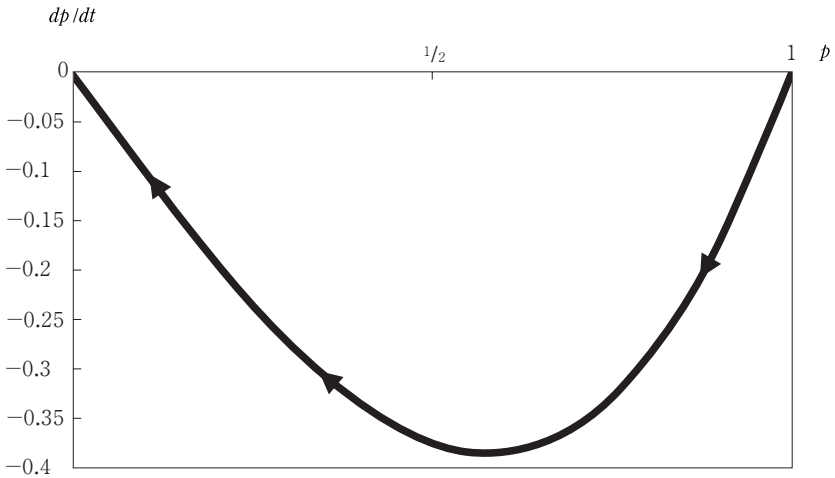


図 7

舞っている¹⁴⁾。タカ（宦官）がタカ（宦官）と遭遇したときの利得が、ハト（武闘派）がタカ（宦官）と遭遇したときのそれを下回っている際に、そのゲームはタカ-ハト・ゲームとなり得るが、ここではその大小関係が逆転している。実はこの点がここでのゲームの特徴になり、そのため両タイプの折合いが付かず、共存実現を阻むことに繋がっている。これら利得の大小関係が齟齬特徴は、正に囚人のジレンマそのものである¹⁵⁾。元々宦官という戦略が支配戦略となっているのである。宦官の占める割合が100%のとき、それがESSであることも、そもそもこの組合せ自体が支配戦略均衡であることを考えれば、その意味では当然と言える。これで進化ゲームの枠組みでレプリケータ・ダイナミクスにより、ESSの存在とそこへの調整プロセスを組織腐敗のメカニズムとして見たことになる¹⁶⁾。

お わ り に

プレイヤー間で100%利害が対立しているゲーム的状况下では、純粹戦略の

枠組みの中だけでナッシュ均衡を得ることはできないが、そのようなゲームにおいても、混合戦略まで考察の対象を広げて戦略を確率的に決めるものと見なすことによって、新たに均衡を見出しうるようになる。しかし純粋戦略のみによってナッシュ均衡を得られるゲームにおいてさえ、この種の混合戦略の考え方は依然として意味を持つ。なぜならゲームにおいては既に純粋戦略ナッシュ均衡が得られているにも拘わらず、それとは別に混合戦略ナッシュ均衡が求められるかもしれないからである。本稿ではそのような条件に合致するものとしてチキン・ゲームとシカ狩りの両ケースを取り上げ、これらにおいて純粋戦略以外に新たに混合戦略ナッシュ均衡が導き出されうることを見た。その後、以上の議論を踏まえながら混合戦略ナッシュ均衡をタカ-ハト・ゲーム等の進化ゲームにおけるレプリケータ・ダイナミクスに関連付け、論じた。最後にこれらの分析手法のより具体的な応用例として企業組織の問題点に触れ、手法をこの問題に適用した。そこでは実質的に囚人のジレンマ的状況下であり、進化的に武闘派と宦官の2タイプが共存することはあり得ず、武闘派は宦官との争いに負け、最終的に組織内から一掃されてしまうことが確認された。

注

- 1) この点については Stahl (1999) が詳しく、かつ分かりやすい。
- 2) チキン・ゲームとシカ狩りの特徴については松本 (2004) を参照のこと。
- 3) ここでは敢えて前稿と平行な方法で均衡を導出したが、チキンゲーム、シカ狩りは共に対称ゲームであるから、結果を導き出すだけならば両プレイヤーが同じ確率を使っているものとして、より簡単に混合戦略ナッシュ均衡を見つけることができる。以下取り上げるタカ-ハト・ゲームにおいてもこの点は同様に当てはまる。
- 4) この種の進化ゲームの考え方を、認知科学を軸により広い範囲にわたって考察したものとして佐伯・亀田 (2002) が挙げられる。
- 5) ゲーム理論の生物学への応用についての初の体系的研究書には、Maynard Smith (1982) がある。
- 6) 進化生態学の観点からは酒井・高田・近 (1999) が分かりやすい。
- 7) 本稿の他に混合戦略を進化ゲームとの関連で論じたものとしては荒木 (2001) が挙げら

れる。

- 8) この点に関するより詳細な議論は、Weibull (1995)、生天目 (2004) 等を参照されたい。
- 9) 本節の内容は Romp (1997) 第 11 章の実験経済学に関する議論を参考にした。より詳細には Vega-Redondo (1996) を参照されたい。
- 10) 先に少し触れたが、このように進化ゲームにおいて個体が当初より混合戦略を取ることを認めて、その後の学習プロセスを考慮する場合も、当初の個体が意思を持たず (遺伝子レベルで決まっているため) 機械的に行動する場合と同一の結果が得られる。要はタイム・スパンをどのように想定しているかという調整速度の問題となる。
- 11) 本節と関連し、進化論的なアプローチで企業組織や経済システムを分析したものには、青木・奥野 (1996) が挙げられる。
- 12) この話は、環境適応に成功したはずの宦官が皮肉にも自ら属する組織を衰退へと導いてしまい、不利益を被るというジレンマを説いたものである。以上の議論についての詳細は、沼上 (2003) 第 9 章の「組織腐敗のメカニズム」を参照されたい。
- 13) 従って他に得られるはずのステディー・ステート $p = -1$ は、ここでは除かれている。
- 14) 宦官は内弁慶で、内部に対してはタカ派であるが、外部に対しては弱い。対照的に武闘派は外部に対しては積極的であり、タカ派と見なせるが、その実、組織内部ではハト派に類するといえる。
- 15) 四人のジレンマについては松本 (2004) を参照のこと。
- 16) 混合戦略を用いたレプリケータ・ダイナミクスではなく、タイム・スパンをより長く取れば次のような素朴な進化ゲームとしての解釈もここでは可能である。つまりどちらのタイプとなるかは入社時に指導を受ける上司のタイプによって決まってくるものとする。ここでは社員にとって自らのタイプは意識的に選び取ったものではなく、組織内での立ち居振舞い、処世術、仕事の骨や要領、価値観、これらすべてが OJT として経験を通じて上司の持つ行動様式が好むと好まざるとに拘わらず知らず知らずの内に受け継がれ、植え付けられ、体に染み付いたスタイルになる、と考える。そして三つ子の魂、百までの警えの如く、最初の情報が脳に刷り込まれ、抜き難い傾向となり、その後の変節はあり得ないことになる。そのためここでは利得は厳密に適応度とされる。こうして部下に感化を及ぼしうる上司の勢力拡大は、その部下の今後の出世とランダム・マッチングでの勝利により、次世代におけるより一層の勢力拡大へと次々と繋がっていく。

参 考 文 献

- Maynard Smith, J. (1982) *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press. 寺本英・梯正之訳『進化とゲーム理論』産業図書, 1985 年。
- Romp, G. (1997) *Game Theory*, New York: Oxford University Press.
- Stahl, S. (1999) *A Gentle Introduction to Game Theory*, Providence: American Mathematical Society.

Vega-Redondo, F. (1996) *Evolution, Games, and Economic Behaviour*, New York: Oxford University Press.

Weibull, J. W. (1995) *Evolutionary Game Theory*, Cambridge: MIT Press. 大和瀬達二監訳『進化ゲームの理論』オフィスカノウチ, 1998年。

青木昌彦・奥野正寛 (1996) 『経済システムの比較制度分析』東京大学出版会。

荒木一法 (2001) 「混合戦略の進化論的解釈」『経済学の数理と論理』早稲田大学出版部。

生天目章 (2004) 『ゲーム理論と進化ダイナミクス』森北出版。

佐伯胖・亀田達也 (2002) 『進化ゲームとその展開』共立出版。

酒井聡樹・高田壮則・近雅博 (1999) 『生き物の進化ゲーム』共立出版。

沼上幹 (2003) 『組織戦略の考え方』筑摩書房。

松本直樹 (2004) 『ゲーム理論の基礎とその応用』松山大学総合研究所。