

# Evolutionary Competition of Standards with Random Noise

江頭進<sup>1</sup>・依田高典<sup>2</sup>

## Abstract

本稿は、消費者が空間的特性を持つ場合の戦略の標準化競争をコンピュータ・シミュレーションによる実験を通じて考察したものである。400人からなるトラス上のセルに配置された各プレイヤーが相関した結果、必ずしも一つの優位な戦略に全員の選択が集中するとは限らなくなる。しかし、各プレイヤーの合理性を制限してみると、一つの支配的戦略が登場する可能性が大幅に増大する。これらの実験結果は、実際の技術の標準化競争において、生まれ出るパターンや制度を説明する重要な手がかりを与えてくれると思われる。

## 1 序

日常の行動の行動において、われわれは意識的、無意識的のうちに周囲の人々の行動を判断の基準にしている場合が多い。それは単に環境に合わせているというだけではなく、多数派に合わせているという行為そのものが個人的には積極的な意味を持つ場合も考えられるだろう。Katz & Shapiroの論文(1985)はこの問題を「ネットワーク外部性」という名前で取り上げた画期的業績である。ネットワーク外部性とは、あるフォーマットの製品の需要量が、既にそのフォーマットを採用している人々の数に左右されるような現象を指す。特に、互換性のない複数のフォーマットが存在する場合(ex. ビデオテープの規格のVHS方式と $\beta$ 方式、パーソナル・コンピュータのOSであるMS-WINDOWSとMac OS)、各企業は、消費者の支持を自社の採用しているフォーマットに集めることを第一に考えなければならない。

Katz & Shapiro以来、数学的ゲームを用いた多くの関連論文が発表されたが、残念ながらその多くが、消費者の効用関数に、単純に各フォーマットの製品の採用者の数を織り込んだだけのものとなっている。しかし、非常にしばしば見られることであるが、人々は全体としての普及率よりも「自分の近くの人々」がどのフォーマットを採用しているのか、ということに目を奪われがちである。これは、サーチ・コストの存在や仲間意識といった理由が考えられるであろう。ここでは、各プレイヤーが自分の隣人たちがどんな戦略を採用しているかということを観察した上で、自分の戦略をその範囲での多数派の戦略を合わせるというゲームを考える。このゲームでは、多人数ゲームである上に、過程において発生するパターンを観察することに意義があるのでコンピュータ・シミュレーションによる動的ゲームを用いるのが有効であろう。そこで、既に幾人かの研究者にしばしば取り上げられている「日和見ゲーム」を用いて、その基本的な動きを見ることとする(ex. 小田 1996, Oda, Miura, Ueda & Baba 1996)。

本稿の第1節では、まず本稿を通じての基本モデルである協調ゲームの意味と、制限された合理性について考察する。第2節では基本的なゲームの構造を説明し、第3節でその結果を見る。ここで現れる「スクラム」という概念がキーポイントになる。第4節以降はこのスクラムをいかに壊すかというテーマで議論が進められる。まずはじめに、各戦略の初期値に偏りを持たせて状況の変化を観察する。次に、プレイヤーが判断の誤りを犯すようなTremblingを導入する。第6節では補足的にプレイヤーの戦略が変化する場合を考える。

本稿は経済学の論文として、市場における現象に関心を集中しているが、示される結果はきわめて一般

<sup>1</sup>日本学術振興会特別研究員

<sup>2</sup>甲南大学講師

的であり、社会心理の形成や、もっと広げれば文化の形成問題にも応用が可能なものとなっている。

## 2 基本的アイデア

### 2.1 コーディネーション・ゲームの進化的安定性

ゲーム理論において、もっとも広範に支持を集めている均衡概念は、論に及ばず、ナッシュ均衡概念である。しかし、ナッシュ均衡概念にはよく知られた問題点が存在する。第一に、ナッシュ均衡を混合戦略を含めて解釈する場合、確率混合することの現実上の意味が必ずしも明らかではない。第二に、ナッシュ均衡はかなり広範な概念であり、しばしば複数個存在する。複数ナッシュ均衡の間の選択基準をいかに考えるべきか。数理経済学者のMaynard Smithは上の二つの問題に、進化論的アプローチから一つの解答を与えた。今日それは「進化ゲーム」の理論として知られている。

Weibullの言葉を借りれば、進化ゲーム理論は次のようにまとめられる。

「進化ゲーム理論のキー・コンセプトは進化的に安定な戦略(evolutionary stable strategy)」である。その様な戦略は正しく進化的淘汰圧力に対しても頑健である。ある大集団から任意の個々人を抽出し、対称的二人ゲームを行うものとせよ。また、個々人は、遺伝か何かである純粋または混合戦略を選ぶように「プログラム」されているものとせよ。そこで、別の純粋または混合戦略を選ぶようにプログラムされている個々人の小集団を紛れ込ませてみよう。この突然変異戦略に対して、異分子の比率が正の侵入バリアー以下の場合、既存の戦略の利得が突然変異戦略よりも高いようなバリアーが存在するならば、既存戦略は進化的に安定と言われる。」(Weibull, 1995, p .33)

より厳密な定義は次のように与えられる。プレイヤーを $i = \{1, 2\}$ 、 $a_i(a_j)$ をプレイヤー $i(j)$ の戦略、プレイヤー $i$ の利得関数を $U(a_i, a_j)$ とする。 $a^*$ が次の二つの条件を満足するとき、 $a^*$ は、ESSであるとされる。

$$U(a^*, a^*) \geq U(a, a^*) \text{ for } \forall a \quad (1)$$

$$\text{if } U(a^*, a^*) = U(a, a^*), \text{ then } U(a^*, a) \geq U(a, a) \text{ for } \forall a^* \neq a \quad (2)$$

条件(1)は戦略 $a^*$ がナッシュ均衡戦略であることを意味し、同戦略は他の任意の戦略よりも低い利得をもたらしてはいけないことを表す。また、プレイヤーの集団が多形(polymorphic)であることを仮定すると、動学的調整を次のように与えられる。ある戦略 $a$ を採るプレイヤーの比率を $p$ 、戦略空間 $A$ 上のプレイヤー比率のベクトルを $P$ とする。

$$\frac{dp}{dt} = p[U(a, P) - U(P, P)] \quad (3)$$

条件(3)は戦略 $a$ を用いるプレイヤー比率の増加率 $(dp/dt)/p$ はその利得と平均利得の差 $[U(a, P) - U(P, P)]$ に等しいことを表す。平均利得よりも高い利得を与える戦略は通常普及していき、平均利得よりも低い戦略を与える戦略は通常淘汰されていく。

次のような対称的2戦略二人ゲームを仮定しよう。通常、このようなゲームは「協調ゲーム(coordination game)」と一つの混合戦略均衡 $((a_1, 0.5; a_2, 0.5), (a_1, 0.5; a_2, 0.5))$ からなる。このことは、戦略 $a_2$ を採用す

るプレイヤーの比率を  $p$  とおき、動学方程式  $dp/dt = p(1-p)(2p-1)$  を用いて、 $p = 0, 0.5, 1$  のときに  $dp/dt = 0$  となることから確かめられる。 $p < 0.5$  のとき  $dp/dt < 0$  であるから、純粋戦略  $a_1(p=0)$  は ESS である。他方、 $p > 0.5$  のとき  $dp/dt < 0$  であるから、純粋戦略  $a_2(p=1)$  は ESS である。ナッシュ均衡戦略  $(a_1, 0.5; a_2, 0.5)$  は ESS ではない。

		プレイヤー2		
		$a_1$	$a_2$	
プレイヤー1	$a_1$	1, 1	-1, 0	(4)
	$a_2$	0, -1	0, 0	

協調ゲームは非常に多様な経済学的含意を持っている。ここでは周知の3例を挙げよう。第一にルソーは『人間不平等起源論』において鹿狩と兎狩の間の協調ゲーム的状况を説明した。鹿狩には集団狩猟が適し、兎狩には個人狩猟が適している。鹿狩は大きな分け前をもたらすが、相手の協力が必要である。相手の協力無しに、鹿狩を行うことは徒勞に終わる。兎狩は小さな分け前しかもたらさないが、相手の協力は必要でない。この場合、鹿狩は  $a_1$ 、兎狩は  $a_2$  である。第二に技術標準の採用やシステムの普及においてより優れた技術が採用されず、より劣った技術が初期に採用されてしまいインストール・ベースやロックイン効果を持つてしまうことがある。キーボードの QWERTY 配列と DVORAK や DEALEY 配列の関係、VTR の  $\beta$  と VHS の関係がこの一例である (Cusumano, Mylonadis, & Rosenbloom 1992, David 1984)。技術標準の採用やシステムの普及は非常に強い戦略的補完性(しばしばネットワーク外部性とも呼ばれる)が存在する為、自分一人だけが現在の戦略を変更するインセンティブが存在しないのである。この場合、優れた技術標準は  $a_1$ 、劣った技術標準は  $a_2$  である。第三にケインズ経済学の非自発的失業も「協調の失敗」として解釈される。ケインズによれば個々人の合理的選択が時として社会全体の非効率性を招くのである。この場合、名目的な需要ショックに対して名目的な価格・賃金を変化させることは  $a_1$ 、変化させないことは  $a_2$  である。

## 2.2 限定された合理性

サイモンは「限定された合理性 (bounded rationality)」という視点から主流派経済分析の限界を訴え続けてきた。経済学で取り扱ってきた合理性はしばしば狭すぎる概念であり、実証的基礎からも支持され難いものであると言う。ホガース&レダーも経済学と心理学の合理性に関するパースペクティブを比較考察して次のように指摘している (Hogarth & Reder 1986)。

現象の範囲：経済学は適切に動機付けられた市場行動にのみ注目する。

研究目的：経済学は選択の帰結を考察するが、心理学は選択のプロセスを考察する。

データ：経済学は集計された価格・数量関係に注目するが、心理学は個人レベルの多様なタイプに注目する。

近年、経済心理学的アプローチの発展から、選択の合理性をより広い現実的妥当性の観点から再考する動きが広まりつつある。経済学的極大化原理から逸脱した行為を「異常 (anomaly)」として片付けるのではなく、実際に観察される限定された合理性を基礎において理論を構築する動きである。例えば、期待効用

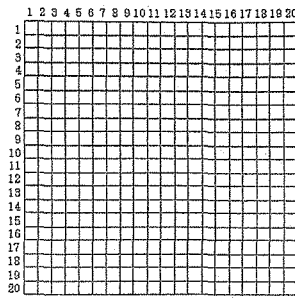


Fig. 1

極大仮説における独立性公理は「アレの反例」や「エルスバーグの反例」から批判されるので、もっと緩やかな公理体系をもとに意思決定理論を構築する「期待効用理論の一般化」の動きを挙げることが出来る。

一般的に言って、認知科学の見地から人間の情報処理能力には限界があり、情報処理の深さと広さにはトレードオフ関係があることが知られている。人間は情報認知の過程で様々な誤謬を犯したり、ヒューリスティックスを用いたりする。今後の意思決定モデルにおいて、人間の限定された合理性や情報処理能力の限界を明示的に考察し、完全な合理性や万能な情報処理能力を前提としたモデルの結論がどれほど頑健であるのかを考察することが求められる。

本論文では、次のような限定された合理性、情報処理能力の限界を明示的にモデルに取り込むことにしよう。

- (1) 認知ノイズ：情報処理の深さの限界のために、プレイヤーは自分の行動を誤ったり、相手の行動を誤って観察する。例えば、相手が $a_1$ という行動を取っているにもかかわらず、5%の確率で $a_2$ の行動として観察するのである。
- (2) ヒューリスティックス：情報処理の広さの限界の為に、全プレイヤーの行動の情報を収集して行動を決定するのではなく、近隣の一部のプレイヤーの行動の情報のみを収集して行動を決定する。

### 2.3 基本的モデル

本論文では、協調ゲームと限定された合理性のアイデアを盛り込み次のようなモデルを考える。

- (1) 20行20列のセルを考える (Fig. 1)。セルはトラス状になっていて、右端は左端に、上端は下端につながっている。各セルには一プレイヤーが存在する。従って、合計400人のプレイヤーが存在する。隣接する8人のプレイヤーを「1階の隣人」、1階の隣人の1階の隣人を含めた24人のプレイヤーを「2階の隣人」と呼ぶ。以下同様に「 $x$ 次の隣人」を定義する。
- (2) 親番が左上のプレイヤーから順繰りに回ってくる。親番が400人の全プレイヤーを一巡することを「1ターン」とよぶ。各プレイヤーは親番のときにだけ、行動を変更することが出来る。ただし、行動は全相手プレイヤーに対して共通であり、相手プレイヤー毎に個別に選択することは出来ない。つまり、右隣のプレイヤーに対しては $a_1$ 、左隣のプレイヤーに対しては $a_2$ のように使い分けることは出来ない。
- (3) 各プレイヤーは $x$ 次の隣人と2.1節で与えられた協調ゲームを行う。協調ゲームの性質より、過去の自分も含めて過半数以上の近隣の行動に従うような戦略を選択することが最適戦略である。

### ( $x$ 次のローカル・マジョリティ・ルール)

- $x$  次の隣人合計  $4x(x+1)$  人の行動に対して、半数  $2x(x+1)$  人より多くのプレイヤーが  $a_1(a_2)$  を選択するならば、自分も  $a_1(a_2)$  を選択する。
- $x$  次の隣人合計  $4x(x+1)$  人の行動に対して、 $2x(x+1)$  人のプレイヤーが  $a_1(a_2)$  を選択するならば、自分の前ラウンドの行動を変えない。(行動変更の保守性)。

$x = 1$  の場合、隣人プレイヤーは8人いる。4人より多くの隣人プレイヤーが  $a_1$  を選択するならば  $a_1$ 、4人より少ない隣人プレイヤーが  $a_2$  を選択するならば  $a_2$  を選択する。4人の隣人プレイヤーが  $a_1$  を選択するならば前ラウンドの自分の行動のままとする。

- (4) 第1ラウンドの各プレイヤーの行動は、初期分布に従って決定されるものとする。
- (5) 各プレイヤーは相手プレイヤーの行動  $\epsilon\%$  の確率で誤って観察する。
- (6) ゲームの利得はゲームが1ターン終了したときに一括して実現するものと仮定する。

プレイヤーの合理性が完全である場合にはどのようなことが予想されるであろうか。プレイヤーが全てのプレイヤーの行動を考慮に入れ戦略を決定し、また行動の観察に誤謬が存在しないならば、自分を除いた全プレイヤーの行動の過半数を占める戦略に合わせて行動をとるので、全プレイヤーの行動は即座に収束するであろう。ただし、協力行動  $a_1$  と非協力行動  $a_2$  のどちらが均衡戦略となるかは行動の初期比率に依存する。つまり、合理性が完全であるならば、セルを用いた多人数ゲームでも、二人協調ゲームと同様の結論が成立する。この意味で、本モデルの協力行動  $a_1$  と非協力行動  $a_2$  も進化的に安定な戦略であると言える。部分的あるいは確率的に協力行動  $a_1$  と非協力行動  $a_2$  が共存することはありえず、いずれか一方に収束するものと期待される。以上より、各プレイヤーの合理性が完全で、各プレイヤー間で強い戦略的補完性が存在する場合、社会全体の均衡パターンは画一化され、一度確定した社会パターンはそれが効率的なものであれ非効率的なものであれ固定的慣性傾向を持つことになる。

本論では上述の社会的均衡パターンの画一性と限定された合理性の関係をシミュレーションを用いて考察する。プレイヤーの情報処理能力の限界と社会全体の均衡パターンの多様性との間にどのような関係があるのかを明らかにしたい。

## 3 結果 1

各人が周囲の状況に100%反応しながらしながら、戦略を決定した結果は以下ようになった (Fig. 2.1-4)。

- (1) 比較的早いターン(10ターン前後)で調整が終了し、各戦略を採用している人数、全体の得点ともに変化が無くなる。
- (2) 調整終了後、セルの配置パターンを見ると、いずれの場合も Fig. 3 のような柔らかい形をした図形が見られるた。
- (3) 各戦略の人数がそれぞれどこに収束するかということは、各戦略の人数の初期値に依存せず、ターン0の配置にのみ依存する (Fig. 4)。
- (4) 同様に、調整の終了ターンも各戦略の初期値には全く依存せず、ターン0の配置にのみ依存する。

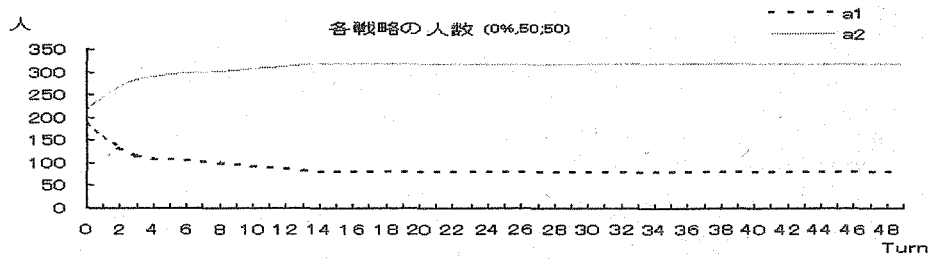


Fig. 2.1

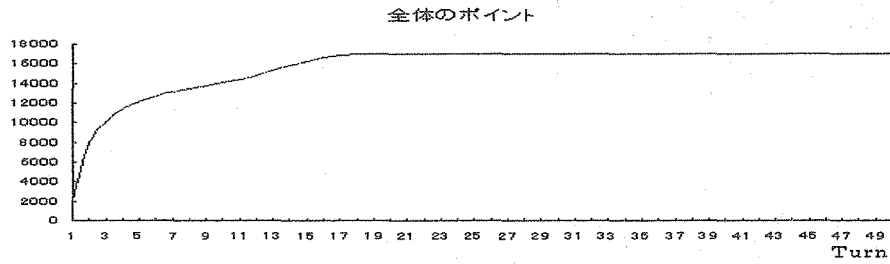


Fig. 2.2

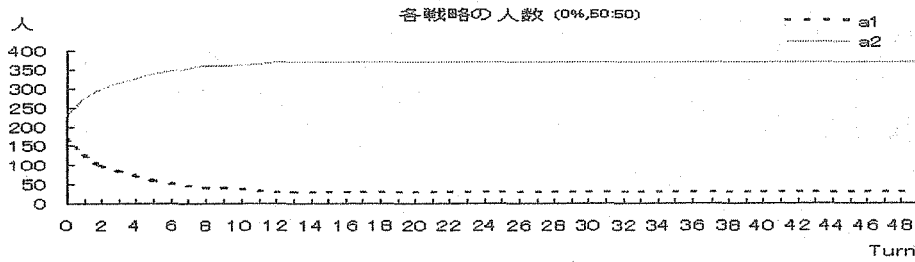


Fig. 2.3

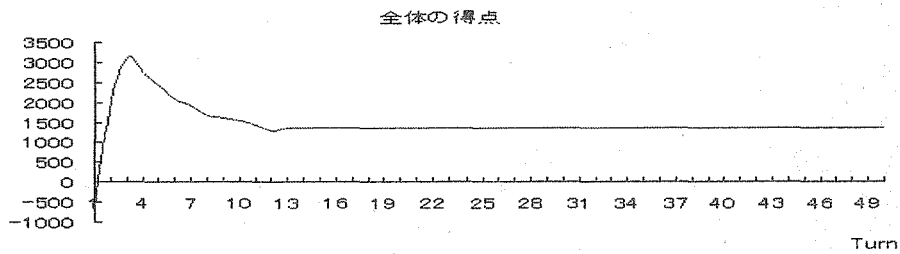
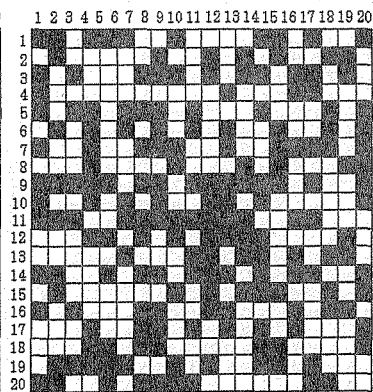
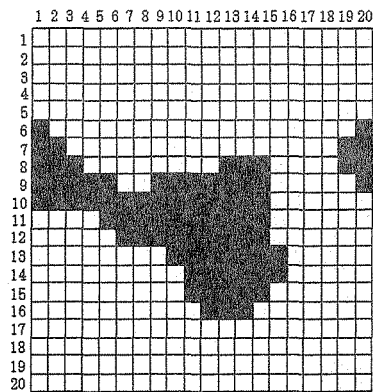


Fig. 2.4



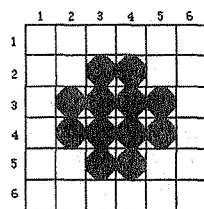


Fig. 5

通常の二人協調ESSの場合は、どちらかの戦略に完全に収束するために、これはやや意外な結果であるが、各プレイヤーの初期戦略の配置とゲームの構造からあるほとんどの場合、10~20ターン前後で両戦略を採る人数は変化しなくなった。可能性としては各戦略の比率が400:0になることを否定できないが、このゲームについて、1000回繰り返したが一度も現れなかった(362:38というようにそれに近いパターンはできる(Fig. 2.3,4)。)。

#### 定義1

- (1) 各戦略の人数がまったく変化しなくなった状態を平衡状態と呼ぶ。
- (2) 各戦略の人数が入れ替わり続けている状態を非平衡状態と呼ぶ。

#### 定義2

- (1) 一つの戦略が他方の戦略よりも数において優勢になることを、de facto standardと呼ぶ。
- (2) 一つの戦略がプレイヤー全員に行き渡り、他の戦略が一掃された場合支配的になった戦略をincumbent de facto standardと呼ぶ。

このゲームで、平衡状態に到達するのは一つの戦略がFig. 3で示されたような図形を形成するからである。これをここではスクラムと呼ぶ。このスクラムは、「自分を入れた5人以上」というゲームのルールによって生まれたものである。スクラムの最小単位はFig. 5の様になる。この12個は各プレイヤーがゲームのルールに従い続ける限り、一度形成されれば崩れることはない。

#### 定義3

全体としてはminor strategyだが、近隣のすべてのプレイヤーにとってlocally majorな戦略となっている状態をスクラム(scrum)と呼ぶ。スクラムが完成されるとゲームは平衡状態となる。

プレイヤー全体の挙げる得点が、ターン1が最低で、ターン2、3で跳ね上がるのは、ゲームが協調ゲームであることと、各プレイヤーが採用している戦略が完全な一様分布になっていることによる。つまり、ターン1では、近隣のプレイヤーと戦略が一致している可能性はないので、負の利得が得られる可能性がターン2以降に比べて大きいからである<sup>3</sup>。

<sup>3</sup>軽率の愚をあえて犯して、具体例に比較するならば1995年において、Apple社製パソコンは世界的には、出荷台数で5.3%のシェアしかなかったのだが、日本においては11.5%を占めた。これはもともと世界的に見ても、日本でのMacintosh信仰が過去から一部の分野で極端に高かったためであると考えられる。世界的なフォーマットに準拠するよりも、自分の周囲の特殊な環境に適合してしまうことの一つの説明となるだろう。

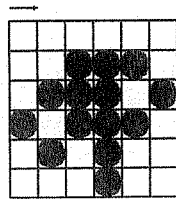


Fig. 6

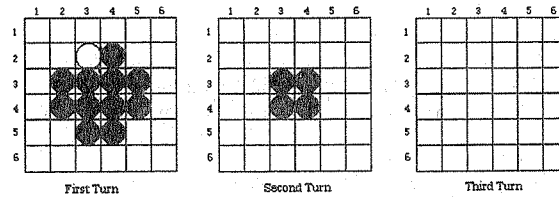


Fig. 7

## 4 スクラムの破壊

本節では前節で述べたスクラムをいかにして消滅させるかということについての考察を行う。スクラムを消滅をさせるためには、スクラムが最初からできにくい状態にしてやるか、もしくは形成されたスクラムが崩壊するような要因を入れてやればよい。本節では、以下二つの方法を用いる。

- (1) 各戦略の初期値に偏りをを持たせる。具体的には、200:200 から 240:160 までの間で連続的に変化させて影響を考える
- (2) 各プレイヤーがある一定の確率で周囲の状況を読み間違えるというルールを新たに加える。具体的には各プレイヤーに一律に1%から20%までのノイズを加える。

### 4.1 初期値の偏り (uneven chance)

Fig. 5 で示した最小単位のスクラムは、例えば Fig. 6 のような初期配置ならば1ターン後に形成される。したがって、Fig. 6 のようなパターンに配置される可能性を下げれば、スクラムが形成されにくくなるであろう。前節の基本モデルでは、各プレイヤーが戦略  $a_1$  と戦略  $a_2$  を選択する確率は50:50 (even chance) であったが、今回はこの比率を非連続的に変えて<sup>4</sup>、de facto standard が形成されるときに各戦略を採用しているプレイヤーの人数との関係を調べる。

#### 定義 4

初期的に有利な戦略を initial superior strategy (ISS) と呼び、初期的に不利な戦略を、initial inferior strategy (IIS) と呼ぶ。

<sup>4</sup> コンピュータ・シミュレーションでは、変数の値を連続的に変えることはできない。



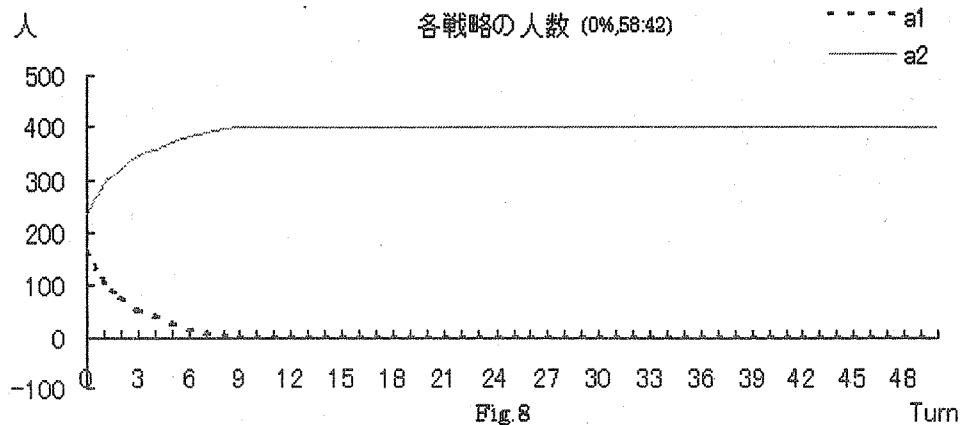


Fig.8

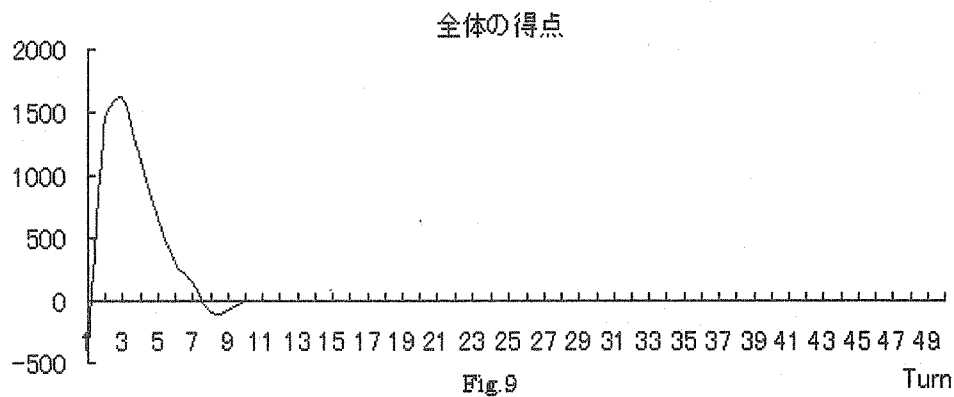


Fig.9

## 4.2 ノイズの発生

最初に設定したゲームのルールでは、各プレイヤーは自分を含んだ周囲の9人のプレイヤーの内、合計5人以上が一方の戦略を選択していた場合、自分もその戦略を100%選択するとしていた。このルールがスクラムの発生の原因となっていることは明らかである。そこで、今度は各プレイヤーが、 $\epsilon \in [0, 1]$  の確率で周囲の状況を読み間違えるとしよう<sup>5</sup>。一度形成された最小スクラム Fig. 5 は Fig. 7 のように一個所 (3,2) が欠けると2ターン後には消滅する。したがって、一度形成されたスクラムでも、プレイヤーの判断が安定的でない場合には、崩壊する可能性を含んでいる。

## 5 結果2

### 5.1 uneven chance

$a_1, a_2$  の両戦略の初期比率を 50:50 から非連続的に変化させた結果、58:42 で観察した範囲 (1000 回) で、incumbent de facto standard となるケースが観察された<sup>6</sup>(Fig. 8)。理論的には、各プレイヤーが最初に配置された時点で、Fig. 5 のような最小スクラムを形成する可能性がある<sup>6</sup>ので、88:12 までは、incumbent de facto standard にならない可能性がある。しかし、傾向としては偏りを大きくするにつれて、incumbent

<sup>5</sup>いわゆる、Trembling Gameにするわけだが、Selten(1975)の場合は、Nash均衡の頑健性を問うものであり、本稿のものは狙いが異なっている。

<sup>6</sup>実際には、 $a_1 < a_2$  で実験したが、このゲームは戦略の決定については対称的であるので一般性を失わない。

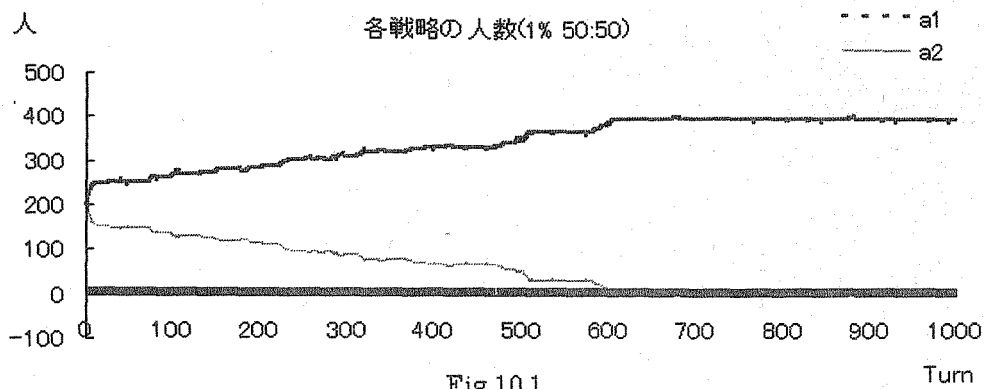


Fig.10.1

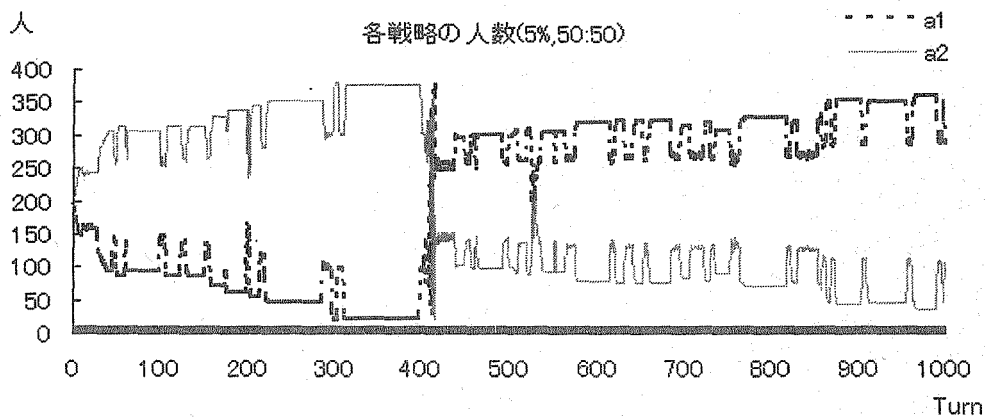


Fig.11.1

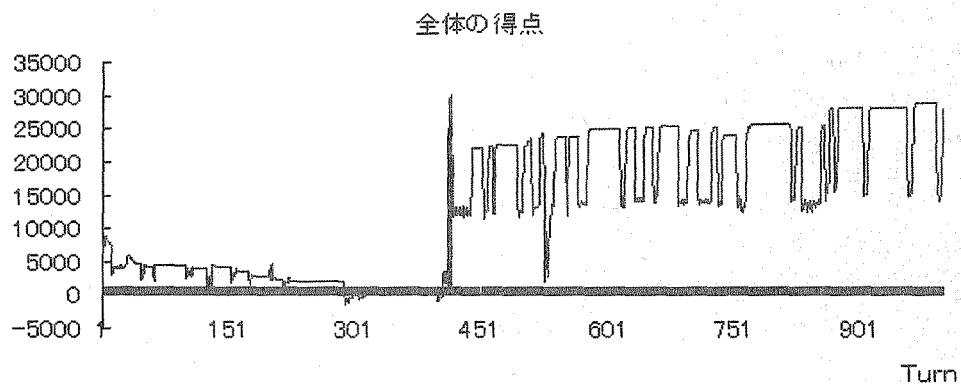


Fig.11.2

de facto standard になりやすくなる。

ISS が IIS に逆転される場合が、50:50 周辺ではごくまれにみられたが、56:44 以降はほとんど逆転は見られなかった。incumbent de facto standard になるときの全体の得点は、特徴的な動きを見せる (Fig. 9)。

初期戦略数と最終戦略数の関係

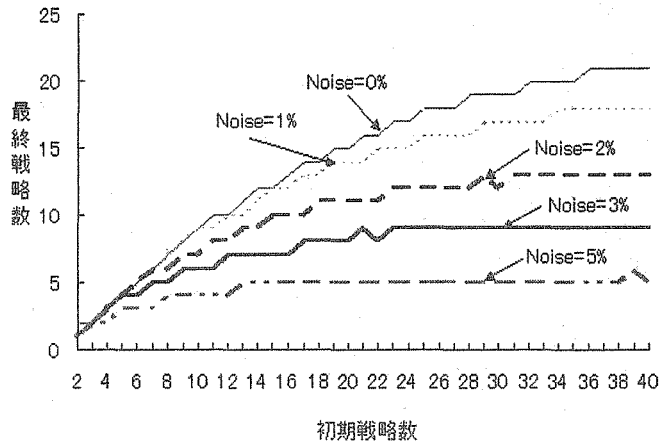


Fig. 13

## 5.2 ノイズをかけた場合

ここでは、ある一定の確率でプレイヤーがlocally majorな戦略を読み間違えるようにノイズを導入した。実際には、読み間違える確率(ノイズ)を0.01から0.1の範囲で変えて実験を行った。そこ結果、ノイズを1%かけた時点で、約10%の割合でincumbent de facto standardに到達するようになった(Fig. 10.1)。

この結果は、ひとたび形成されたスクラムをノイズが崩壊させていることを示している。この程度のノイズでは、一度incumbent de facto standardが形成されてしまうと、0人になってしまった戦略が復活することはない。

ノイズが5%ほどかかるとさらに様相が変化する。最初は優勢と見られていた戦略が急速に低下し、入替りに当初不利であった戦略が逆転する場合がしばしばみられた。しかもこの逆転は一回のゲームの中で複数回みられる場合もあった(Fig. 11.1,2)。しかし、これはノイズの直接的影響でランダムに上下しているのではなく、入替った後は、一定期、平衡状態となりde facto standardが形成されることからゲームの構造に規定された間接的効果による変化である。つまり、0.03程度(400人中12人)のノイズでも、その配置によってはFig. 7のように周囲のプレイヤーの戦略をすべてひっくり返してしまう場合があるからである。

ここで追加的実験として、ノイズの最初に与えられた戦略の数と最終的に生き残る戦略の数についての実験をしておこう。そして、それらの関係に対して、ノイズがどのように働くかを観察する。実験方法は、今までと同様な400人ゲームを考え、各人は周囲半径1の範囲で最も採用者数の多い戦略を採用することとする。各初期戦略数ごとに1000回実験を繰り返し平均を採った<sup>7</sup>。

結果は、Fig. 13に見られるとおりである。基本的に400人程度のゲームでは、たとえ初期戦略が40あったとしても最終的に生き残るのは20前後以下であることがわかる。また、ノイズの大きさとともにその生き残る数は少なくなり、5%ほどかけた場合には、初期戦略数が13以上になっても、生き残る戦略数は平均で5でしかない。常識的に考えれば、人々の合理性が限定されている場合には、様々な種類の戦略が生き残るように思われる、しかし、この実験から、逆に人々が判断を誤る可能性がある場合には、全体としてはより少ない戦略に全員の選択が収束してしまうことがわかる。なお、このFig. 13には現れていないが、

<sup>7</sup>ただし、実験速度を優先するためにここでは、プログラム上で整数変数を利用した。そのため、小数点以下は切り捨てられている。このことは、プログラミング上でのデリケートな問題を含むのだが、ここでの近似としては問題ないと考えられる。

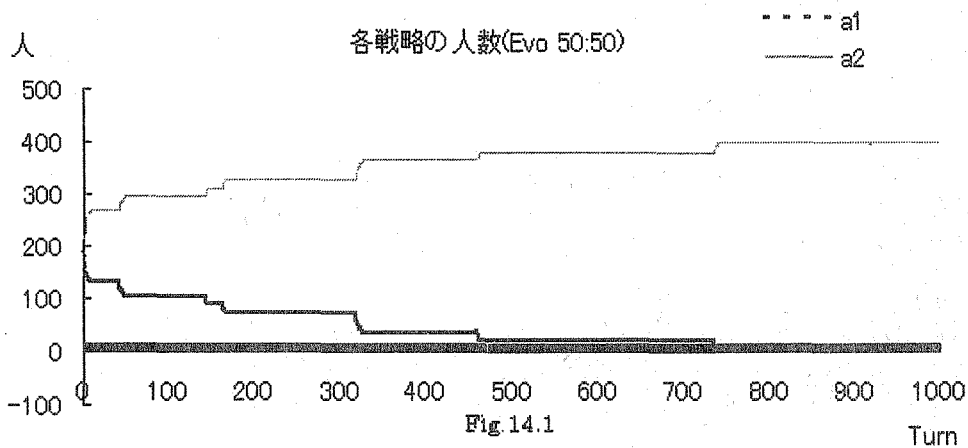


Fig. 14.1

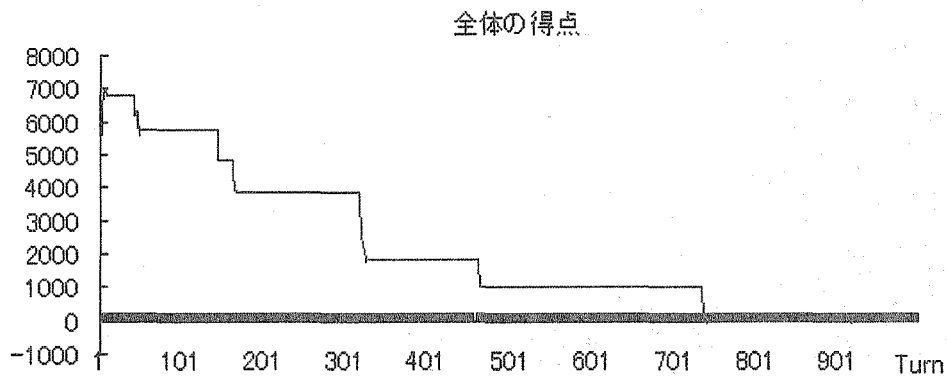


Fig. 14.2

ノイズが大きくなるにつれて、最終的に生き残る戦略の数の分散は大きくなる傾向にある。

## 6 さらになる拡張

ここで蛇足の感もあるが、ゲームの構造を少し変えて、戦略の変化を導入してみよう。今までは、各プレイヤーの観察範囲は「1階の隣人」に限られていたが、ここではある一定の確率で、「2階の隣人」まで観察範囲を広げるようなプレイヤーが出てくることを想定する。つまり前節までのゲームでは、自分を含めた周囲9人の多数決で戦略を決定していたが、今回は25人で意志決定をするような人物が現れるような構造にするのである。前節のノイズが「人々の危うさ」ということを表しているとするれば、今回は「企業家精神」を表していると考えてもよいだろう。それ以外は、前回までと同じで、各戦略の初期比率は50:50、Tremblingは無しとした。

Fig. 14における結果は、企業家が現れる確率が0.01のときのものである。戦略の変化を導入すると、約10%の割合で、incumbent de facto standardに到達する。企業家の発生確率を上げると、incumbent de facto standardに到達する。

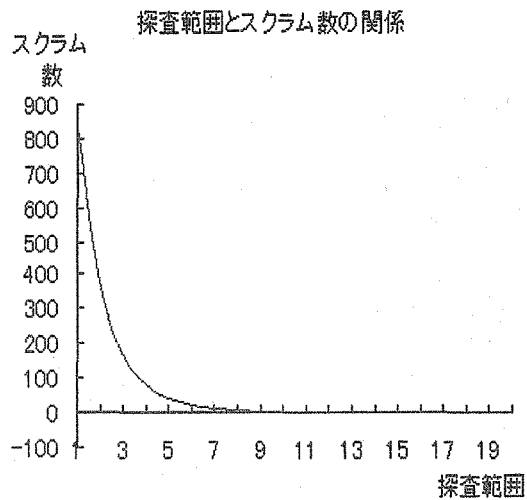


Fig. 15

場合は増えてくるが、0.1程度にしても、観察した範囲内(1000ターン)に到達しない場合が多く残った。ただし、到達するターン数は、明らかに早くなる(0.1の時で30~60ターン)。

一目して分かるこのグラフの動きの特徴は、各戦略の人数、全体の得点ともある一定水準に到達したあと平衡状態になり、しばらくそのままでも突然異なる水準に移り平衡状態になるということである。この動きは明らかに単純にノイズを加えたとき(Trembling)と異なる。

ここで観察範囲と、スクラムの発生を観察するために、一般性を失わずにゲームを単純化しよう。今度は10000人のプレイヤーを円環上に並べ、その両サイドを探索するようにゲームの構造を変更する。探索範囲は1~20で、各探索範囲について10000回づつ繰り返し、そこに平均的に現れるスクラムの数を調べた(Fig. 15)。その結果、発生するスクラム数の指数的減少関数になっていることが分かる。つまり、プレイヤーは全員についての完全な情報を持たなくても、周囲に対して、ある程度の観察力を持てば斉一的行動を採りうるということがわかる。

## 7 結論

本稿でとりあげたのは、基本的な日和見ゲームにいくつかの変更を加え、その動態の変化を観察したものである。結論として、次の点があげられるだろう。

- (1) localなネットワーク外部性が働く場合、スクラムの形成は一方的なスタンダードの形成を阻害する傾向がある。
- (2) 各戦略の初期比率の違いは、スクラムを形成されにくくするが、一度できてしまえばそれを崩壊させることはできない。
- (3) スクラムの頑健性は、各プレイヤーが判断の限局的な正確さや確信の程度に依存し、また近視眼性にも左右される。
- (4) 他のプレイヤーよりもやや観察力のあるプレイヤーが少数でも混じっていると、スクラムは維持できない。

これらの結論は次のことを示している。

- (5) localなネットワーク外部性が存在する場合、各プレイヤーがローカルに順応的な（合理的な）行動をとることは、グローバルに順応的な（合理的な）行動をとることにならない。この閉塞的な状況を打ち破るのは、通常とは異なった判断（非合理的判断：Tremblingや企業家精神）である。

なお、本稿において採用したモデルは、その戦略の進化に必然性のない「突然変異」的進化であったが、これに依存し過ぎた解釈が危険であることは注意しておかなければならない。

#### reference

- Cusumano, M., Y. Mylonadis, & R. S. Rosenbloom(1992)"Strategic Maneuvering and Mass-Market Dynamics:The Triumph of VHS over Beta",*Business History Review*, 66, pp. 51-94.
- David, P. A.(1984)"Clio and the Economics of QWERTY," *The American Economic Review*, papers and prodeeding, May, 1985, pp. 333-7.
- Farell,J. & G. Saloner(1985)"Standarization and Compatibility, and Innovation, *Rand Journal of Economics*, Spring, 16, pp. 70-83.
- Hargreaves Heap, S. P., Y. Varoufakis(1995)*Game Theory: A Critical Introduction*, Routledge.
- Hogarth, R. M. , M. W. Reder(1986)"Introduction: Perspectives from Economics and Psychology",  
*Rational Choice: The Contrast between Economics and Psychology*, pp. 1-24, The Univ. of Chicago Press.
- 依田高典・廣瀬弘毅・江頭進「ネットワーク外部性とシステム互換性 -産業組織論に対する新しいアプローチ-」『経済論叢』, 第156巻第5号, 1995年11月。
- Katz, M. L. & C. Shapiro(1985)"Network Externality, Competition and Compatibility," *American Economic Review*, vol. 75,no. 3, pp .424-40.
- Katz, M. L. & C. Shapiro(1986)"Technology Adoption in Presence of Network Externality," *Journal of Political Economy*, August, pp. 22-41.
- Lindsay, P. H., D. A. Norman(1977)*Human Information Processing: AnIntroduction to Psychology*, Academic Press.
- 小田宗兵衛(1996)「複雑系としての経済」,『計測と制御』,vol. 35, no. 7.
- Oda, S. ,K. Miura, K. Ueda & Y. Baba(1996)"The Application of Cellular Automaton to Network Externalities in Consumers' Theory: A Generalisation of Life Game".
- Selten, R. (1965)"Re-examination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games,"  
*International Journal of Game theory*, 4,pp. 25-33.