社会規範と均衡の選択

寺　地　伸　二

1．序論

本稿の目的は，社会規範の問題をゲーム理論における均衡の選択としてとらえることにより，ある一つの社会規範が進化的経路を辿りながら形成されることを示すことである。

通常，経済学において，人間は“homo economicus”としてモデル化され，複雑な計算を即座に，しかも費用をかけずに行うものとされてきた。そこにおいては，文化的，社会的，歴史的，制度的要因は重要ではなく，個人は独立に条件付きの最大化問題を解けばよいのであった。こうした考え方では，社会における人間の行動を十分には説明しきれないことは明らかであるが，そうした背景には，いわゆるプライス・テイカーの仮定があって，市場価格が与えられると，消費者や企業の「合理的」行動により，需要と供給が導き出されるという考え方が理論的な核となっていたのである。

一方，社会学における人間は，“homo sociologicus”といわれ，彼らあるいは彼女らは社会から逸脱しないように社会規範に従うように行動するとされているのであるが，その社会規範はいわば外から与えられたものであり，なぜその社会規範が生じたのかという内生的な規範の生成の問題は十分にはされていないといえよう。

ここでは，経済学と社会学でそれぞれ別の意味で使われている人間のモデルの間にある溝をできるだけ埋めるよう試みる。そのための手段として，

ゲーム理論における均衡の選択問題を「再構築」する必要がある。なぜ「再構築」する必要があるかといえば，当初，ゲーム理論は，新古典派の「合理性」の仮定を更に推し進める形で発展したため，後の例でみるように社会の本質を見過ごしてしまうからである。近年になって，ゲーム理論は，「限定合理性」，「学習」のモデルや，人々が最適化問題を間違えることなく解く能力を持っていることすら前提としないアプローチが盛んに研究され，今までとられられなかった問題を分析することが可能となった。人間は，現実世界においてある状況に直面したとき，社会の慣習や自身の経験に基づいて，どのような行動パターンをとるべきかを明確にしようとするだろう。本稿はそのような基礎の上に立って，社会における行動パターンが生じるメカニズムをモデルを使って解明する。

さて，問題の本質を理解するために，次のような簡単なゲームを考えてみよう。これは，パイ4をプレイヤー1とプレイヤー2の二人で分け合うというものである。図1は展開型ゲームを示していて，まず始点nodeでプレイヤー1がLかRかのどちらかの戦略をとることが出来て，戦略Lを選らべば，二人のプレイヤーが2つずつ公平に分けられ，ゲームはそこで終

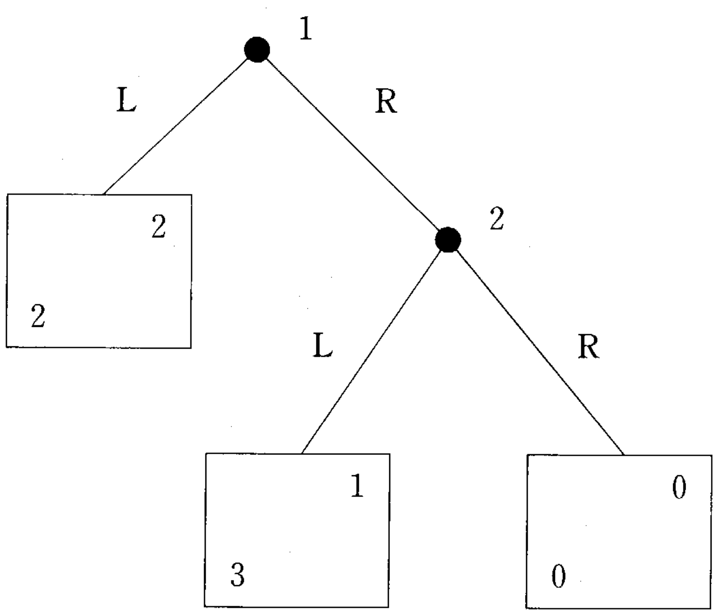

図1

		2	
		$(x_2=1)$ L	$(x_2=0)$ R
1	$(x_1=1)$ L	2 2	2 2
	$(x_1=0)$ R	1 3	0 0

図2

了する。一方，プレイヤー1が戦略Rを選べば，今度はプレイヤー2が戦略を選ぶ番となり，そこで戦略Lを選べば，プレイヤー1，プレイヤー2がそれぞれ3，1を受け取り，戦略Rを選べば，二人とも何も受け取らない。このことを戦略型ゲームで表したのが図2である。この場合のゲームにおけるNash均衡は，(L，R)(=(1，0))，(R，L)(=(0，1))である[1]。(混合戦略を考えれば(1，2／3)も含まれる。)

このように複数のNash均衡が存在する場合，当初ゲーム理論は，均衡の完全性あるいは精緻化の問題として，Nash均衡の条件に加えて，合理的であるとはいえない均衡を排除する何らかの条件を求めようとした。その最も基本的なものは，部分ゲーム完全均衡 (subgame perfect equilibrium) といわれるもので，それによれば，プレイヤー1が戦略Rを選んだときに生起するnodeからの部分ゲームを考えれば，プレイヤー2は戦略Rを取るはずはなく，従って(R，L)が唯一の均衡となる。この場合，(L，R)は合理的ではないとして排除されるのである。このような設定であれば，二

1）このようなゲームのexperimentalな分析については、Binmore and Samuelson (1994)，Gale，Binmore and Samuelson (1995) においてなされている。

人で公平に分け合おうとする行動ルールなど生じることなどあり得ない。しかしながら，後でみるように新しい枠組みの下では，たとえ個人が社会の中で利己的に行動したとしても，お互いに公平に分け合うような規範が，ある範囲において生成し得るのである。

非協力ゲームの分野において，Nash均衡は解概念として中心的な役割を果たしているが，その意味については様々な解釈がある。ここではその一つの解釈として，“evolutive”[2] あるいは “naive” といわれている考え方を採用する。それによれば，もしも一定の行動パターンが社会の中に定着し，しかもそれが繰り返し観察されるならば，そうした行動はNash均衡になっているということになる。そうした最近の研究としては，　プレイヤーの学習を論理化させたKalai and Lehrer (1993,1995)，Fudenberg and Kreps (1993,1995) などや，あるいは「進化論的ゲーム理論」のFoster and Young(1990)，Gilboa and Matsui(1991)やKandori,Mailath and Rob (1993)などがある。本稿において，社会規範の生成について分析する際に使う解概念として，Gilboa　and Matsui(1991)における社会的に安定的な集合という概念を用いる[3]。それによれば，多数のプレイヤーたちによるrandom-matchingのプロセスにおいて，複数の戦略の間にある関係を接近可能性 (accessibility)という考え方を使って分析することが出来るのである。本稿では，正確かつ体系的な方法で，ベスト・レスポンス・ダイナミクスを検討する。

本稿において考察するモデルの設定は，多数の人々から成る社会は，大きく二つの異なるタイプに分類されているものとする。そこで，各時点において，まず異なるタイプのプレイヤーがランダムに出会うことで，cheap-talkを伴うゲームを行い，次に同じタイプのプレイヤー同士がランダムに出会って，出会ったプレイヤーと同じ戦略ならば実際にその戦略を実行し，もし違えば実行せずに次のゲームに移る。こうして，人々は，過

2）この用語の詳しい説明については、Binmore(1990)を参照。
3）この概念は、Matsui(1991.1992)においても使われている。

去および現在の社会の状態がどうなっているのかということを基礎として，相手の戦略を学習し続けるという状況を取り扱う。様々な対立の内容は社会において異なるであろうが，異なる行動の相対的優位性は，過去における歴史あるいは将来にわたる期待によって決定されるであろう。社会の大部分の人々がある行動パターンを取るとき，その行動パターンはそこにおける社会規範と呼ばれるようになるが，我々が社会規範について論じるとき，それは一つの均衡である必要はなく，どの社会規範が時間を経て進化していくかをみるのであって，ベスト・レスポンス・ダイナミックスをここで適用するのである。この動学過程において，人々は行動を調整する機会があるときはいつでも認識を変えることが出来るとされる。こうした設定の下で，それぞれの人々が実行する長期的な戦略の分布を考察することにより，ある社会規範の生成を説明する。

本稿の残りの構成は次の通りである。第2節においては，様々な表記や定義を説明しながら，分析するモデルを提示する。第3節においては，均衡の安定に関する議論が行われ，続く第4節において，本稿における定理が与えられ，そこで公平にパイを分け合うような社会規範が成立することをみることになる。第5節において結論が述べられる。

2．モデル

ここで考察する多数の人々が存在している社会は，二つのタイプのプレイヤーたちから構成されている。それぞれをタイプ1のプレイヤー，タイプ2のプレイヤーと呼ぶ。各時点ごとに，それぞれのプレイヤーは，ランダムに出会って，ゲームを繰り返していくが，それぞれの時点は，次のように二段階のゲームに分けられているとする。まず各時点の第一段階において，タイプ1とタイプ2の異なるタイプのプレイヤーがランダムに出会い，どちらかの戦略（ここではLかR）を選ぶことを同時に告げる。次に各時点の第二段階において，同じタイプのプレイヤーたちが今度はランダ

ムに出会い，もしも出会ったプレイヤーの第一段階で告知した戦略が自分と同一であれば，実際にその戦略を実行し，ある利得を得るのだが，もしも自分と異なる戦略であれば，ゲームを行わず，従って利得はないものとする。さらにこれと同じことが次期以降繰り返される。このことにより，人々が社会から逸脱しないようにある行動をとるようになることが定式化されるのである。

ゲームGは次のように表される。

$$G = < \{N_1, N_2\},\ \{S_i\},\ \{u_i\} >,$$

ここで$\{N_1, N_2\}$は，それぞれのタイプのプレイヤーの集合であり，また$\{S_i\}$は，各タイプのプレイヤーの戦略集合であり，ここでは各タイプとも二つの戦略から成り，$S_i = \{L, R\}$　$(i = 1,2)$とする。$\{u_i\}$は各プレイヤーに対して第一段階において提示される利得であり，図3のように戦略によってその値は異なる。

社会における時点tでの戦略分布は，各タイプi $(i = 1, 2)$ごとに，

1 ＼ 2	L $(x_2 = 1)$	R $(x_2 = 0)$
L $(x_1 = 1)$	a, a	a, a
R $(x_1 = 0)$	b, c	0, 0

b ＞ a，a ＞ c
2 a ＝ b ＋ c

図3

$x_i(t)$ $[L]+(1-x_i(t))$ $[R]$ と表され，ここで $x_i(t)$ は、時点 t において戦略 L にコミットしているタイプ i のプレイヤーの割合を示している。$x_i(t)$ （$i=1,2$）を社会における行動パターンと呼ぶ。また，$x_i(0)$ （$i=1,2$）は外生的に、歴史によって与えられている。

第一段階において，異なるタイプのプレイヤー同士が告知したそれぞれの戦略によって得られるであろう（この段階では実際には得られないが）仮の期待利得（$\pi^i{}_L$，$\pi^i{}_R$）（$i=1,2$）は，次のように表される。

$$\pi^1{}_L(t)=x^2(t)a+(1-x^2(t))a=a,$$
$$\pi^1{}_R(t)=x^2(t)b,$$
$$\pi^2{}_L(t)=x^1(t)a+(1-x^1(t))c,$$
$$\pi^2{}_R(t)=x^1(t)a.$$

次の第二段階において，同じタイプのプレイヤー同士がランダムに出会って，お互いに同じ戦略を第一段階で告知していた際にのみ得られるであろう期待利得（$\Pi^i{}_L,\Pi^i{}_R$）（$i=1,2$）は，次のようになる。

$$\Pi^i{}_L(t)=x^1(t)\pi^1{}_L(t),$$
$$\Pi^i{}_R(t)=(1-x^1(t))\pi^i{}_R(t),$$
$$\Pi^2{}_L(t)=x^2(t)\pi^2{}_L(t),$$
$$\Pi^2{}_R(t)=(1-x^2(t))\pi^2{}_R(t).$$

ここで，戦略分布の組 $x(t)=(x^1(t),x^2(t))$ の ε 近傍は，$U\varepsilon(x(t))$ と表され，それはユークリッド空間において $x(t)$ と ε 以下の距離に存在する戦略プロファイルの集合である。

均衡の選択における歴史のもつ役割を論ずるためには，動学的な分析が必要となるが，その前に，次の節では動学的な分析に使われる概念を提示する。

3．均衡の安定概念

この節では，動学的環境における均衡の安定性について定義を行うのであるが，一般に，ある与えられた初期条件，すなわち歴史から複数の均衡経路が存在するのであるから，安定性が何を意味しているかについて論じるためにはある特定化をしなければならない。そのために，まず，戦略分布ともう一方の戦略分布との動学的関係を分析する接近可能性(accessibility)について次のような定義を与えておく。つまり，戦略分布の組$x \in [0, 1] \times [0, 1]$がもう一方の組$y \in [0, 1] \times [0, 1]$から接近可能であるというのは，$y$から$x$に到達あるいは収束する均衡経路が存在することをいう。このことにより，戦略分布の組xがyから接近可能であるといえるのは，次のうち少なくとも一つが成りたてばよい。すなわち，x_nは，yから直接接近可能であるか，あるいはx_nがyから接近可能であるような，xに収束する系列$\{x_n\}_{n=1}^{\infty}$が存在するか，あるいはyから接近可能なあるx'からxが接近可能であるか、の三つである。この動学的環境において，接近可能性の概念によってベスト・レスポンス・ダイナミックスを表現することが出来るのである。

定義．ある$T>0$に対して，連続かつ右微分可能な関数$x: [0, T) \to [0, 1] \times [0, 1]$が存在して，次のようにdifferential inclusionを設定する。

$$Q(x(t)) = \{((d^+/dt)x(t)) \mid (d^+/dt)x(t) \in [(H^1(t), H^2(t)) - (x^1(t), x^2(t))]\},$$

ここで、$H^i(t)\,(i=1, 2)$は，

$$H^i(t) \begin{cases} = \{1\} & \text{if } \Pi^i_L(t) > \Pi^i_R(t), \\ \in [0, 1] & \text{if } \Pi^i_L(t) = \Pi^i_R(t), \\ = \{0\} & \text{if } \Pi^i_L(t) < \Pi^i_R(t).\}. \end{cases}$$

このことにより，ある初期条件の下で，均衡経路が少なくとも一つは存在することが示されることになる。ここでは，次のような均衡の安定性に関する定義を与える。

定義．［0，1］×［0，1］の中の部分集合が社会的に安定であるというのは，その部分集合に属さない戦略分布の組はどれもその部分集合に属している戦略分布の組から接近可能ではなく，かつ，その部分集合に属しているあらゆる戦略分布の組はその部分集合内の戦略分布の組からは接近可能である。

このことの解釈は次のようになる。つまり，それぞれの人々は長期にわたってよりよい戦略を選ぼうとするのであるが，十分な経験の後で，行動パターンがある集合内に入ると，その中を均衡に向かって移行するだけで，その集合の外に出ることはないということである。そこにおける戦略分布の時間プロファイルから接近可能な戦略分布は他にはないのである。次に動学的な分析に移ることにしよう。

4．社会規範の生成

この節では，これまでの節で提示した分析道具を使って，社会規範，とりわけ図3で示した利得によればお互いにaずつを公平に分け合うような行動パターンが成立することをみる。そのような行動パターンは，前の戦略分布の組で表せば，$(x^1, x^2) = (1, 0)$と表せる。以下の分析において，この$(1, 0)$が，歴史的な条件によってstrict Nash均衡となるプロセスが示されることになる。

ここで次のような，［0，1］×［0，1］における部分集合を定義する。

$$F = \{(x^1, x^2) \in [0, 1] \times [0, 1] \mid \Pi'_L(x^1(t), x^2(t)) > \Pi'_R(x^1(t), x^2(t))$$

かつ $\Pi^2{}_L(x^1(\mathrm{t}), x^2(\mathrm{t}))$
$< \Pi^2{}_R(x^1(\mathrm{t}), x^2(\mathrm{t}))\}$.

まず，定理の証明の為に，以下のような補助定理から始めることにする。

補助定理.　部分集合Fにおけるあらゆる戦略分布の組$f \in F$に対して，一つの戦略分布(1，0)はfから接近可能である。

証明.　$f \in F$とεが与えられたもとで，次のように戦略分布の経路を分析する。前節において提示した$H^i(\mathrm{t})$($i=1, 2$)は上部半連続(upper-hemicontinuous)で凸値であることから，それゆえ各$\varepsilon > 0$に対して，$f \in U\varepsilon$(1，0)となるような接近可能な経路fが少なくとも一つは存在する。そこで，(ε)は0に，(f'_n)はU　(1，0)の内部にそれぞれ収束するような系列を$\{\varepsilon_n\}^{\infty}_{n=1}$, $\{f'_n\}^{\infty}_{n=1}$とする。そのとき各f'_nにたいして，f'_{nk}がf'_nの1／k近傍にあるような収束する部分系列(f'_{nk})が存在する。(1，0)は(f'_{nk})の極限であるとすると、そのとき戦略分布(1，0)は$f \in F$から接近可能である。

以下において，お互いに利得をaずつ公平に分け合う行動パターンが社会的に安定的であるかを証明するのだが，その前に次のような集合を提示しておく。すなわち，前の$Q(x(\mathrm{t}))$の部分集合Fの条件を満たしているものだけをとり，それらの戦略分布の経路を考える。そのとき，$f \in F$から接近可能な経路上にある$g \in F$を分析する為に，その集合を$R(f)$と定義し、次のように表す。

$R(f) = \{g \in F \mid g$はfから接近可能である。$\}$.

$R(f)$は、すべての$f \in F$に対して非空であり，閉である。最後に，次の

定理を証明する。

定理.　戦略分布の部分集合Fの内部において，戦略分布(1, 0)は社会的に安定である。

証明.　R(1, 0)はすべてのRのうえで最小の要素をもつ。補助定理よ

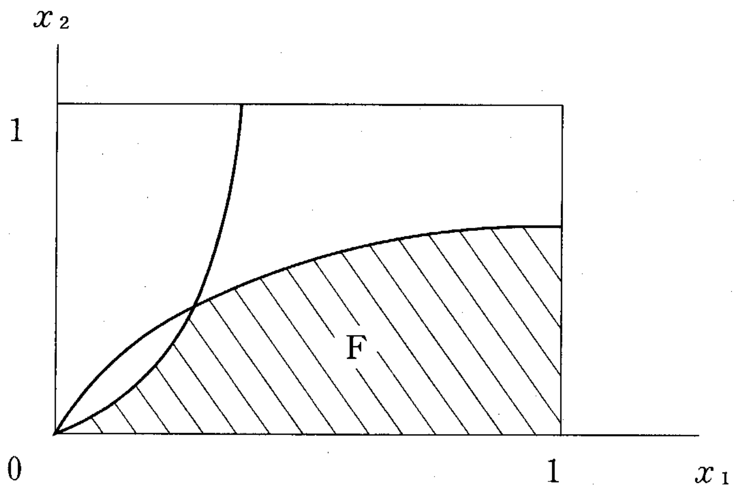

図4(a)

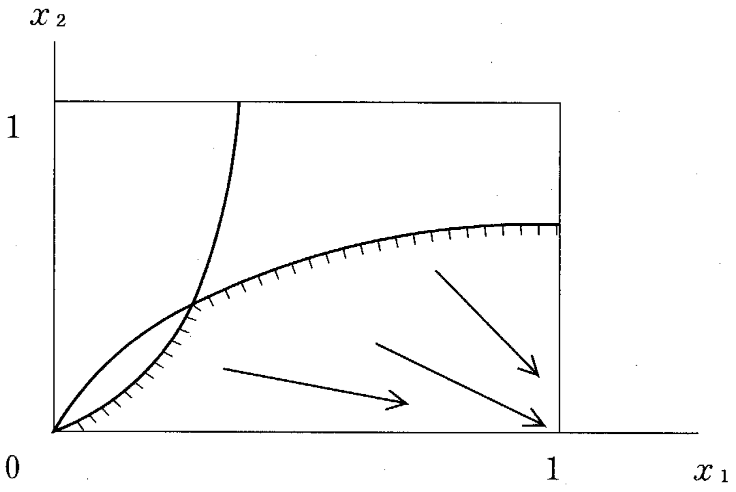

図4(b)

りFの内部にあるあらゆる戦略分布の組は(1，0)に接近可能であるから，R(1，0)にある戦略分布の組をfとし，R（f）にある戦略分布の組をgとすると，これより，gはfから接近可能であり，fは(1，0)から接近可能であるから，gは(1，0)から接近可能である。こうして，$R(g) \in R(1, 0)$が成立するが，R(1，0)は最小だから，$R(g) = R(1, 0)$が成立する。こうして，Fの内部にあれば，戦略分布の組（1，0）は社会的に安定である。

こうして，部分集合Fの内部に存在するあらゆる戦略分布の初期条件から到達可能な社会的に安定な状態は，(1，0)ということが示されたことになる。このことを図であらわしたのが図4である。図4（a）の斜線部分は戦略分布の部分集合Fを表しており，図4（b）は，その内部において一つの社会規範である（1，0）が生成してくることが示されている。ここで注意すべきことは，すべての領域ではなく，ある限られた範囲の中に歴史的な条件によって二つのタイプの戦略分布の組が与えられれば，利得を平等に分け合うような社会規範が成立するということである。

5．結　　語

本稿は，プレイヤーたちがランダムに出会い，ゲームを繰り返すという設定の下で，お互いに利得を公平に分け合うような社会規範が，ある限定された範囲に戦略分布の組が歴史によって与えられれば，内生的に生じ得ることを示した。分析の過程において，戦略分布のもつ動学的性質を体系的に明らかにし，均衡の安定性に関する概念を厳密に構築した。様々な社会規範が生成する可能性は存在するのであるが，本稿においては，その一つの社会規範が生じ得る進化的ダイナミクスを考察したことになる。

参考文献

BINMORE,K.(1990). *Essays on the Foundations of Game Theory*, Cambridge, MA:Basil Blackwell.

BINMORE,K.,AND SAMUELSON,L.(1994). "An Economist's Perspective on the Evolution of Norms," *J.Institutional Theoretical Economics* 150,45-63.

FOSTER,D.,AND YOUNG,P.(1990). "Stochastic Evolutionary Game Dynamics," *Theoret. Population Biol*.38,219-232.

FRANK,R.(1988). *Passions Within Reason*, Norton:New York.

FUDENBERG,D,AND KREPS,D.(1993). "Learning Mixed Equilibria," *Games Econ. Behav.5,320-367*.

FUDENBERG,D.,AND KREPS,D.(1995)."Learning in Extensive-Form Games I. Self-Confirming Equilibria," *Games Econ.Behav*.8,20-55.

GALE,J.,BINMORE,K.,AND SAMUELSON,L.(1995)."Learning to Be Imperfect:The Ultimatum Game," *Games Econ.Behav*.8,56-90.

GILBOA,I.,AND MATSUI,A.(1991)."Social Stability and Equilibria," *Econometrica*,59,859-867.

KALAI,E.,AND LEHRER,E.(1993). "Rational Learning Leads to Nash Equilibrium," *Econometrica*.61,1019-1045.

KALAI,E.,AND LEHRER,E.(1995)."Subjective Games and Equilibria," *Games Econ.Behav*.8,123-163.

KANDORI,M.,MAILATH,G.,AND ROB,R.(1993)."Learning,Mutation,and Long Run Equilibria in Games," *Econometrica*,61,29-56.

MATSUI,A.(1991)."Cheap-Talk and Cooperation in a Society," *J.Econ. Theory*, 54,245-258.

MATSUI,A.(1992). "Best Response Dynamics and Socially Stable Strategies," *J. Econ.Theory*,57,343-362.

SELTEN,R.(1975)."Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive-games," *Int.J.Game Theory* 4.25-55.

VAN DAMME,E.(1987). *Stability and Perfection of Nash Equilibria*. Berlin: Springer-Verlag.