



シグナリング・ゲーム実験における均衡と均衡化

末廣, 英生

(Citation)

国民経済雑誌, 196(6):45-65

(Issue Date)

2007-12

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00056196>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00056196>



シグナリング・ゲーム実験における均衡と均衡化

末 廣 英 生

シグナリング・ゲームにはしばしば複数の逐次均衡が存在する。そのいずれが起るかについて、1980年代に多くの理論家がシグナリング・ゲームにおける逐次均衡の精緻化を提唱したが、1990年代になってその精緻化の妥当性を実験によって検証する試みがなされるようになった。実験研究の結果は、通常の方法で被験者にシグナリング・ゲームをプレイさせると逐次均衡が起るということでは一致したが、どの逐次均衡がどのように起るかについては相互に食い違っている。本稿は、シグナリング・ゲームの実験研究をレビューし、その実験結果から我々がシグナリング・ゲームにおける逐次均衡の精緻化について何を学ぶことができるかを討論する。

キーワード シグナリング・ゲーム, ゲーム実験, Cho-Kreps 基準

1 序

ゲーム理論は、ナッシュ均衡に始まる均衡理論を作り上げ、その応用先を経済学、経営学をはじめとして多くの分野に見いだすことによって、利害が一致しない状況に置かれた複数の個人が取る行動を説明する理論として大きな成功を収めてきた。均衡理論の応用分野を見いだす上で特に大きな役割を果たしたのは、展開型ゲームが人の選択について持つ合理性の含意を定式化する作業であって、それがナッシュ均衡を精緻化した部分ゲーム完全均衡、逐次均衡の発見に至ったからである。

この成功にもかかわらず、なお、手持ちの均衡概念では複数の均衡が存在し、従って人がそのゲームでどのような行動を取るかについて十分に限定的な予測をなしえないようなゲームがいくつもある。そのようなゲームについては均衡という概念装置で言うことは尽きているように思われることから、近年、そのようなゲームで実際に何が起るかを実験によって確かめ、その事実から均衡理論を補完する理論を模索しようとする研究プログラムが試みられるようになっている。

逐次均衡によってさえ複数の均衡が残るゲームの重要なカテゴリーは、シグナリング・ゲームである。シグナリング・ゲームは次のルールで定義されるゲームである。

[1] 自然が、タイプ集合 T から、事前分布 $\rho \in \Delta(T)$ に従って1つの要素 t を選ぶ。

- [2] プレーヤーSが、¹⁾[1]で自然によって選ばれた t を見て、シグナル集合 S から、1つの要素 s を選ぶ。
- [3] プレーヤーRが、²⁾[2]でプレーヤーSによって選ばれた s を見て、しかし[1]で自然によって選ばれた t を見ることなく、行動集合 A から、1つの要素 a を選ぶ。
- [4] [1]で自然によって選ばれた t 、[2]でプレーヤーSによって選ばれた s 、[3]でプレーヤーRによって選ばれた a の組に応じて、プレーヤーSの利得 $U_s(t, s, a)$ とプレーヤーRの利得 $U_R(t, s, a)$ が定まる。

プレーヤーSの純粋戦略とは、あり得るタイプ t ごとに、そのタイプが起きたときに選ぶシグナル $s=s(t)$ を計画しておいた関数 $s: T \rightarrow S$ のことである。プレーヤーRの純粋戦略とは、起こりうるシグナル s ごとに、そのシグナルが選ばれた場合に取りうる行動 $a=a(s)$ を計画しておいた関数 $a: S \rightarrow A$ のことである。プレーヤーRの信念体系とは、起こりうるシグナル s ごとに、そのシグナルが選ばれたときに、そのシグナルを送ったプレーヤーSが[2]で見た t は何だったかの評価を、 T 上の確率分布 $\mu(\cdot|s) \in \Delta(T)$ で表したものである。 $((s, a), \mu)$ が逐次均衡であるとは、次が成り立つことである。

[条件1] どのタイプ t についても、 $s(t)$ は $\max_{s \in S} U_s(t, s, a(s))$ の解である。

[条件2] どのシグナル s についても、 $a(s)$ は $\max_{a \in A} \sum_{t \in T} \mu(t|s) U_R(t, s, a)$ の解である。

[条件3] シグナル s が、 $s=s(t')$ を満たす t' を少なくとも1つ持つなら、 $s=s(t)$ となる各 t について

$$\mu(t|s) = \frac{\rho(t)}{\sum_{s=s(t')} \rho(t')}$$

である。³⁾

多くのシグナリング・ゲームにおいて、ここに述べた逐次均衡が複数存在することが知られている。シグナリング・ゲームは、応用上非常に重要なゲームである。にもかかわらず、複数の逐次均衡のいずれが実際に起こるのかは、均衡理論によってはこれ以上言うことはできないから、それを実験によって確かめようというのは自然である。

さらに、シグナリング・ゲームになお複数の逐次均衡が残るという事実に対し、その実験研究に先立って、ゲーム理論家は、均衡理論によらずに逐次均衡をさらに精緻化することを試みた。その研究は、Cho-Kreps 基準ないし intuitive criterion (Cho and Kreps (1987)), divine equilibrium (Banks and Sobel (1987)), perfect sequential equilibrium (Grossman and Perry (1986)), undefeated equilibrium (Mailath, Okuno-Fujiwara, and Postlewaite (1993)) などの多くの精緻化基準を生み出した。これらの基準は、シグナリング・ゲームに残る複数の逐次均衡のあるものを淘汰し、場合によっては一意的な予測結果を与えた。しかし、これら

の基準は、それ自身は均衡概念ではないから、たとえそれが一意的な予測結果をもたらした場合でも、その理論的な妥当性を均衡ということによって主張することはできない。そこで、シグナリング・ゲームについては、単に複数の逐次均衡のいずれが実際に起こるのを見るということにとどまらず、実際に起こる結果が Cho-Kreps 基準をはじめとする逐次均衡の精緻化に関する理論家の予測と一致するかどうか問題となった。

この論文は、シグナリング・ゲームにおける均衡選択に関する実験研究の主な成果をレビューし、それがシグナリング・ゲームの理論に何を示唆しているかについて討論したい。

2 シグナリング・ゲーム実験の展望

シグナリング・ゲームにおける均衡選択に関する実験研究の主なものは、Bandts and Holt (1992), Bandts and Holt (1993), Banks, Camerer, and Porter (1994), Cooper, Garvin, and Kagel (1997a), Cooper, Garvin, and Kagel (1997b), Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) である。これらは、研究対象となるゲームに存在している均衡の種類と数によって、次の様に分類⁴⁾できる。

- [1] 複数の一括均衡：Bandts and Holt (1992), Bandts and Holt (1993), Banks, Camerer, and Porter (1994)
- [2] 複数の一括均衡と分離均衡：Cooper, Garvin, and Kagel (1997a)
- [3] 複数または一意的分離均衡：Cooper, Garvin, and Kagel (1997a), Cooper, Garvin, and Kagel (1997b), Potters, Sefton, and Vesterlund (2007)

これらの実験結果は、完全には一致していない。以下では、ここで分類した3つのクラスのゲームに関する主な実験結果をまとめ、それからそれらを相互に比較して、これらの研究から導かれる含意について検討しよう。

3 複数の一括均衡を持つゲームの実験

シグナリング・ゲームにおける逐次均衡の理論とその精緻化の妥当性に関する実験研究は、まず複数の一括均衡があるゲームに対する様々な精緻化の理論の妥当性を検証する研究として行われた。その代表的な結果は、Bandts and Holt (1992) の結果である。

Bandts and Holt (1992) は、Spence (1974) の labor market signaling model を実験した。論文では5つのゲームが実験されたが、そのうち彼らがその論文で game 1 による treatment 1 と game 3R による treatment 5 と呼んでいるケースが最も重要な結果である。そのルールは、序で述べたシグナリング・ゲームのルールで、次の通り⁵⁾。プレーヤー S は労働者、プレーヤー R は雇用者である。彼らが直面するタイプは労働者の能力で、それは t_L (低い能力) と t_H (高い能力) の2通りで、その事前確率は t_L が3分の1、 t_H が3分の2である。

労働者が取り得るシグナルは s_A (高等教育を受けない) か s_B (高等教育を受ける) のいずれかである。雇用者が取り得る行動は a_C (管理者業務を与える) か a_D (単純業務を与える) のいずれかである。プレイヤーの利得は, game 1 と game 3R のそれぞれで次の通りである。

game 1

t_L		
s	a	a_D
	a_C	
s_A	(140, 75)	(60, 125)
s_B	(100, 75)	(20, 125)

	t_H	
s	a	a_D
s_A	a_C	
	(120, 125)	(20, 75)
s_B		
	(140, 125)	(60, 75)

game 3R

t_L			
s	a	a_C	a_D
	s_A	(190, 75)	(10, 175)
	s_B	(160, 75)	(100, 175)

t_L		
a	a_C	a_D
s		
s_A	(160, 175)	(160, 175)
s_B	(190, 175)	(10, 75)

game 1 にも game 3R にも, 逐次均衡が2つある。それは次の通り。

	Sの戦略	Rの戦略	Rの信念体系
s_A 一括均衡	$s(t_L) = s(t_H) = s_A$	$a(s_A) = a_C, a(s_B) = a_D$	$\mu(t_H s_A) = \frac{2}{3}, \mu(t_H s_B) = 0$
s_B 一括均衡	$s(t_L) = s(t_H) = s_B$	$a(s_A) = a_D, a(s_B) = a_C$	$\mu(t_H s_A) = 0, \mu(t_H s_B) = \frac{2}{3}$

このうち s_B 一括均衡は Cho-Kreps 基準を満たすが, s_A 一括均衡は満たさない。従って, game 1 でも game 3R でも, 逐次均衡の理論が妥当すれば $s_A \rightarrow a_C$ の結果が安定的に起こるか, または $s_B \rightarrow a_C$ の結果が安定的に起こるかのいずれかであると予測され, さらに逐次均衡の精緻化が妥当すればさらに限定的に後者だけが安定的に起こると予測される。

Bandts and Holt (1992) は, game 1 について8人の被験者を用いてランダム・ペアリングで8ラウンド行う独立な実験を2つ, game 3R について12人の被験者を用いてランダム・ペアリングで12ラウンド行う独立な実験を2つ行った。その結果を, それぞれのゲームについて行った実験の前半と後半の集計値で示すと次の通りだった。各マス目には $\bigcirc + \times = \triangle$ の形式でその集計値が示されている。それは, そのマス目が示す結果が起きた総数が $\triangle$ で, そのうちタイプが t_H でその結果が起きた数は $\bigcirc$, タイプが t_L でその結果が起きた数は $\times$ であ

ることを示す。⁶⁾

game 1 の実験結果

		結果	
		a_c	a_D
ラウンド1から4	s_A	$0+5=5$	$0+14=14$
	s_B	$39+5=44$ (69%)	$1+0=1$
ラウンド5から8	s_A	$0+2=2$	$0+3=3$
	s_B	$44+14=58$ (91%)	$0+1=1$

game 3R の実験結果

		結果	
		a_c	a_D
ラウンド1から6	s_A	$26+9=35$ (49%)	$5+1=6$
	s_B	$12+2=14$	$8+9=17$
ラウンド7から12	s_A	$36+13=49$ (68%)	$5+2=7$
	s_B	$3+6=9$	$4+3=7$

この実験結果は4つのことを示している。第1に、game 1でも game 3Rでも、安定的なプレイ・パターンが現れた。これを、上記の表では、起こりうる4通りの結果のうち1つが3分の2以上の度数割合を占めている場合に対応する結果のマス目を網掛けで示した。それらは game 1では $s_B \rightarrow a_c$ 、game 3Rでは $s_A \rightarrow a_c$ である。そして、これらはいずれも逐次均衡の結果である。

第2に、game 3Rでは前半の6ラウンドの集計値では、 $s_A \rightarrow a_c$ は他の起こりうる結果よりも有意に頻度が高かったもののそれは約49%にとどまったが、game 1では $s_B \rightarrow a_c$ の結果は前半の4ラウンドですでに3分の2を超えていた。つまり、総じて、逐次均衡がかなり速やかに現れたと言える。

第3に、しかし、今述べたように、安定的に起こったプレイ・パターンは game 1と game 3Rでは違っていた。game 1では Cho-Kreps 基準を満たす s_B 一括均衡の結果が安定的に生じたが、game 3Rではそれを満たさない s_A 一括均衡の結果が現れた。

第4に、2つある一括均衡のいずれが現れたかということと実験の前半の被験者の行動と

の間には, game 1 と game 3R に共通した対応関係があり, 前半の被験者の行動は実験されているゲームの利得の均衡構造以外の性質によって解釈可能である。すなわち, 実験の最初には, プレーヤー S は分離行動をとり, プレーヤー R は分離されたタイプに正しく適合する行動を取った。具体的に言うと, game 1 では, プレーヤー S は最初は t_H なら s_B を, t_L なら s_A を取る傾向があり, プレーヤー R は s_B を見たら t_H の時に最適な a_C を, s_A を見たら t_L の時に最適な a_D を取る傾向があった。同様に, game 3R では, プレーヤー S は最初は t_H なら s_A を, t_L なら s_B を取る傾向があり, プレーヤー R は s_A を見たら t_H の時に最適な a_C を, s_B を見たら t_L の時に最適な a_D を取る傾向があった。正確に言うとな次の表の通りである。

	実験前半のプレーヤー S の行動	実験前半のプレーヤー R の行動
game 1	$\frac{s_B \text{ の回数}}{t_H \text{ の回数}} = \frac{40}{40} = 1$ $\frac{s_A \text{ の回数}}{t_H \text{ の回数}} = \frac{19}{24} = 0.79$	$\frac{a_C \text{ の回数}}{s_B \text{ の回数}} = \frac{44}{45} = 0.98$ $\frac{a_D \text{ の回数}}{s_A \text{ の回数}} = \frac{14}{19} = 0.74$
game 3R	$\frac{s_A \text{ の回数}}{t_H \text{ の回数}} = \frac{31}{51} = 0.61$ $\frac{s_B \text{ の回数}}{t_H \text{ の回数}} = \frac{11}{21} = 0.52$	$\frac{a_C \text{ の回数}}{s_A \text{ の回数}} = \frac{35}{41} = 0.85$ $\frac{a_D \text{ の回数}}{s_B \text{ の回数}} = \frac{17}{31} = 0.55$

実験の最初に起こるこのパターンについて game 1 と game 3R の違いは, プレーヤー S の行動の分離のパターンが逆である点だけである。それがいずれのパターンであっても, プレーヤー S は t_L が起きたときに実験の前半で取っていた行動をそのまま続けてプレーヤー R による a_D に直面するよりは, もともと t_H の時にとっていた選択肢と同じ選択肢に選択を変えて, プレーヤー R から a_C を引き出すようその行動パターンを変更した。それが, 実験の前半で t_H が起きていたときに取っていた行動への一括均衡をもたらした。この調整パターンは, game 1 と game 3R にともに当てはまる。そして, game 1 と game 3R で唯一違っていたプレーヤー S の行動の分離パターンについても, game 1 では, プレーヤー S は最初は t_H なら s_B を, t_L なら s_A を取る傾向があったのは, プレーヤー S はプレーヤー R の行動について「シグナルによらず a_C も a_D も五分五分である」というナイーブな予想を持って最適行動を取るとすると説明でき, game 3R でのプレーヤー S は最初は t_H なら s_A を, t_L なら s_B を取るという逆転した傾向も全く同じ原理で説明できる。

4 複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームの実験

複数の一括均衡があるゲームの実験研究に続いて行われたのは, 複数の一括均衡と分離均

衡を持つゲームの実験研究である。それは Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) によって行われた。

Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) は Milgrom and Roberts (1982) の limit pricing model を研究した。論文では2つのゲームが実験されたが、そのうち彼らがその論文で treatment 1 と呼んでいるケースが、ここで問題にしている複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームである。そのルールは、序で述べたシグナリング・ゲームのルールで、次の通り。プレーヤー S は既存企業、プレーヤー R は潜在的参入企業である。彼らが直面するタイプは既存企業の生産費で、それは t_L (生産費が低い) と t_H (生産費が高い) の2通りで、その事前確率は t_L と t_H が等確率の2分の1ずつである。既存企業が取り得るシグナルは価格水準で、最も高い価格 s_1 から順に最も低い価格 s_7 まで7通りある。潜在的参入企業が取り得る行動は a_X (参入する) か a_Y (参入しない) のいずれかである。プレーヤーの利得は、次の通りである。

t_L			t_H		
s	a		s	a	
	a_X	a_Y		a_X	a_Y
s_1	(250, 74)	(542, 250)	s_1	(150, 300)	(426, 250)
s_2	(276, 74)	(568, 250)	s_2	(168, 300)	(444, 250)
s_3	(330, 74)	(606, 250)	s_3	(150, 300)	(426, 250)
s_4	(352, 74)	(628, 250)	s_4	(132, 300)	(408, 250)
s_5	(334, 74)	(610, 250)	s_5	(56, 300)	(182, 250)
s_6	(316, 74)	(592, 250)	s_6	(-188, 300)	(-38, 250)
s_7	(213, 74)	(486, 250)	s_7	(-292, 300)	(-126, 250)

このシグナリング・ゲームには逐次均衡が7つある。それは次ページの表の通り。このうち s_4 一括均衡、 s_5 一括均衡、 s_6/s_2 分離均衡の3つは Cho-Kreps 基準を満たすが、それ以外の4つは満たさない。従って、逐次均衡の理論が妥当すれば $s_1 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こる、 $s_2 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こる、 $s_3 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こる、 $s_4 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こる、 $s_5 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こるのいずれか、または $s_2 \rightarrow a_X$ と $s_6 \rightarrow a_Y$ ないしは $s_2 \rightarrow a_X$ と $s_7 \rightarrow a_Y$ が同程度に起こるかのいずれかであると予測され、さらに逐次

	Sの戦略	Rの戦略	Rの信念体系
s_1 一括均衡	$s(t_L)=s(t_H)=s_1$	$a(s_1)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 1)$	$\mu(t_L s_1)=\frac{1}{2}, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 1)$
s_2 一括均衡	$s(t_L)=s(t_H)=s_2$	$a(s_2)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 2)$	$\mu(t_L s_2)=\frac{1}{2}, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 2)$
s_3 一括均衡	$s(t_L)=s(t_H)=s_3$	$a(s_3)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 3)$	$\mu(t_L s_3)=\frac{1}{2}, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 3)$
s_4 一括均衡	$s(t_L)=s(t_H)=s_4$	$a(s_4)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 4)$	$\mu(t_L s_4)=\frac{1}{2}, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 4)$
s_5 一括均衡	$s(t_L)=s(t_H)=s_5$	$a(s_5)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 5)$	$\mu(t_L s_5)=\frac{1}{2}, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 5)$
s_6/s_2 分離均衡	$s(t_L)=s_6, s(t_H)=s_2$	$a(s_6)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 6)$	$\mu(t_L s_6)=1, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 6)$
s_7/s_2 分離均衡	$s(t_L)=s_7, s(t_H)=s_2$	$a(s_7)=a_Y, a(s_i)=a_X(i \neq 7)$	$\mu(t_L s_7)=1, \mu(t_L s_i)=0(i \neq 7)$

均衡の精緻化が妥当すればさらに限定的に、 $s_4 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こるか $s_5 \rightarrow a_Y$ の結果が安定的に起こるか、または $s_2 \rightarrow a_X$ と $s_6 \rightarrow a_Y$ が同程度に起こると予測される。

Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) は12人の被験者を用いてランダム・ペアリングで36ラウンド行う独立な実験を2つ行い、それらの実験の被験者の中から12名を集めてランダム・ペアリングで36ラウンド行う実験をさらに1回行った。最初の独立な2つの実験をセッション1、セッション2と呼び、追加して行った実験をセッション3と呼ぶ。それぞれの結果を、12ラウンドごとに集計してサイクル1（ラウンド1から12）の結果、サイクル2（ラウンド13から24）の結果、サイクル3（ラウンド25から36）の結果として示すと、次の通り。

セッション1の結果

サイクル	Sの選択肢	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
1	t_H の選択%	3	70	9	15	3	0	0
	t_L の選択%	0	0	9	74	11	3	3
	Rの a_X の%	100	73	38	8	0	0	0
2	t_H の選択%	5	39	12	44	0	0	0
	t_L の選択%	0	0	5	74	15	3	3
	Rの a_X の%	50	59	86	8	17	100	0
3	t_H の選択%	5	33	12	50	0	0	0
	t_L の選択%	0	0	4	82	10	4	4
	Rの a_X の%	0	53	17	15	25	0	0

セッション2の結果

サイクル	Sの選択肢	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
1	t_H の選択%	2	68	2	26	2	0	0
	t_L の選択%	2	0	2	80	0	8	8
	Rの a_X の%	0	42	0	20	0	50	0
2	t_H の選択%	2	61	9	26	2	0	0
	t_L の選択%	0	0	0	96	0	2	2
	Rの a_X の%	100	66	50	12	0	0	0
3	t_H の選択%	8	40	8	44	0	0	0
	t_L の選択%	0	0	0	100	0	0	0
	Rの a_X の%	50	74	50	3	—	—	—

セッション3の結果

サイクル	Sの選択肢	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
1	t_H の選択%	1	43	1	55	0	0	0
	t_L の選択%	0	0	9	100	0	0	0
	Rの a_X の%	100	59	100	3	—	—	—
2	t_H の選択%	2	28	2	68	0	0	0
	t_L の選択%	0	0	2	98	0	0	0
	Rの a_X の%	0	91	50	6	—	—	—
3	t_H の選択%	2	24	4	70	0	0	0
	t_L の選択%	0	2	0	98	0	0	0
	Rの a_X の%	100	70	50	6	—	—	—

この実験結果は3つのことを示している。第1に、最終的に1つの安定的なプレイ・パターンが現れた。それは s_4 一括均衡である。3つ行われたセッションの3つのサイクルそれぞれで、プレイヤーSの起こりうる7通りの結果のうち1つが3分の2以上の度数割合を占めている場合に対応する結果のマスを濃い網掛けで、それが最多頻度を占めているが3分の2未満の場合に対応する結果のマスを薄い網掛けで示した。それによると、セッション1ではそのサイクル2以降、セッション2ではサイクル3になって不明確ながら現れた「 s_4 が起こるパターン」が、それらのセッションの経験者によるセッション3で更に安定的に現れたと言える。

第2に、しかし、 s_4 一括均衡が現れるのに要したプレイの回数は非常に多く、パターンの成立が速やかとは言えない。すなわち、セッション1でもセッション2でもタイプが t_H の場合に s_4 を選択した割合は、その全プレイ回数36回の最後の12回をとってみても50%ないし44%に過ぎない。それが3分の2以上となるのはセッション3のサイクル2からであるか

ら、セッション3をセッション1ないしセッション2からの通算で見ることができるとすると、「タイプによらず s_4 が起こるパターン」が現れるのに要したプレイの回数は4サイクル分の48プレイとすることができる。

第3に、最終的に現れた安定的なプレイ・パターンである s_4 一括均衡が成立するプロセスは、Bandts and Holt (1992) の結果に見られたプロセスと同じである。すなわち、プレイヤーSがプレイヤーRの行動について「シグナルによらず a_X も a_Y も五分五分である」というナイーブな予想を持って最適行動を取るとすると t_H なら s_2 , t_L なら s_4 を選択すると予測される。セッション1でもセッション2でも、そのサイクル1の結果はまさにそれが起きたことを示している。その時、プレイヤーRがプレイヤーSにとって好ましくない選択肢 a_X を選択する割合は、 s_2 の時はそれぞれ73%と42%と高く、 s_4 の時は8%と20%と低い。その結果プレイヤーSは t_H の時の行動を s_2 から s_4 に変更した、そして「タイプによらず s_4 が起こるパターン」が成立するに至った、と見ることができる。

5 複数ないし一意的な分離均衡を持つゲームの実験

複数ないし一意的な分離均衡を持つゲームの実験研究は、複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームを研究した Cooper, Garvin, Kagel の3人の研究者によってそれと並行して行われ、その後しばらくして別の目的で Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) によって行われた。

Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) は、4節で要約した彼らの複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームとルールがまったく同じでプレイヤーRの利得だけを変更し、その結果 s_6/s_2 と s_7/s_2 の分離均衡だけが存在するゲームを実験した。ルールとプレイヤーSの利得は同じなのだから、プレイの最初はプレイヤーSがプレイヤーRの行動について「シグナルによらず a_X も a_Y も五分五分である」というナイーブな予想を持って行動し、それが分離行動である結果プレイヤーRが対応する正しい行動をとるということは同じになる、と予想される。そして、実験結果はその通りであった。そして、プレイヤーSは、 t_H の時にRがそれに対して a_X を高い確率でとる s_2 からそうでない s_4 に行動を変更する点も同じ傾向が見られた。しかし、プレイヤーRの利得は「タイプによらず s_4 が起こるパターン」が起きたときに一括均衡を成立させる a_Y ではなく、プレイヤーSにとって好ましくない選択肢 a_X を選択することが最適となるよう変更されているから、プレイヤーSの行動変更とともに s_4 でも高い確率で a_X をとるようになる。プレイヤーRの行動パターンのこの変更の結果、プレイヤーSの行動は更に一歩進んで、 t_L の時にはプレイヤーRが高い確率で a_Y をとってくれる s_6 に、 t_H の時には同様に高い確率で a_X に直面するのであればそれを覚悟の上で最適である s_2 に、それぞれ再調整された。こうして最終的に現れた安定的パターンは s_6/s_2 分離均衡であ

る。この全体のプロセスは非常にゆっくりと進行し、36ラウンドのプレイによっては途中の s_1 への一括までしか起こらず、そのセッションの経験者を集めて行われた実験によっても s_0/s_2 分離均衡の成立は不完全であった。つまり、通算72ラウンドのプレイの最後の12ラウンドをとってみても、 t_L の時には81%の頻度で s_0 を選択していたが、 t_H の時に s_2 を選択していた頻度は50%にとどまった。この結果は、第1に逐次均衡が起きた、第2に複数ある分離均衡のうち起こったのは Cho-Kreps 基準を満たす均衡だった、第3にしかしその成立には非常に長いプレイの経験が必要だった、そして第4にその成立プロセスは複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームについてと同じ原理で説明できるものだった、ということである。

他方、分離均衡が1つしかないゲームを研究した Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) では、これとは異なる結果が得られた。彼らは、公共財供給の voluntary contribution game を実験した。相互に比較可能な4通りのルールを研究したが、そのうちの1つがシグナリング・ゲームである。そのルールは、序で述べたシグナリング・ゲームのルールで、次の通り。プレーヤーSとプレーヤーRは公共財のために私的財の一部を提供できる個人である。彼らが直面するタイプは公共財の価値で、それは t_L (価値が低い)、 t_M (価値が中程度)、 t_H (価値が高い) の3通りで、その事前確率は t_L と t_M と t_H が等確率の3分の1ずつである。プレーヤーSが取り得るシグナルは s_0 (彼の私的財を提供しない) か s_1 (彼の私的財を提供する) のいずれかである。プレーヤーRが取り得る行動も a_0 (彼の私的財を提供しない) か a_1 (彼の私的財を提供する) のいずれかである。プレーヤーの利得は、次の通りである。

t_L			t_M			t_H		
a	a_0	a_1	a	a_0	a_1	a	a_0	a_1
s			s			s		
s_0	(40, 40)	(40, 0)	s_0	(40, 40)	(70, 30)	s_0	(40, 40)	(100, 60)
s_1	(0, 40)	(0, 0)	s_1	(30, 70)	(60, 60)	s_1	(60, 100)	(120, 120)

このゲームにはただ1つの逐次均衡がある。それは、プレーヤーSの戦略が、 $s(t_L) = s_0$, $s(t_M) = s(t_H) = s_1$, プレーヤーRの戦略が、 $a(s_0) = a_0$, $a(s_1) = a_1$ で、プレーヤーRの信念体系が $\mu(t_L|s_0) = 1$, $\mu(t_M|s_1) = \mu(t_H|s_1) = \frac{1}{2}$ というものである。従って、逐次均衡の理論が妥当すれば $s_0 \rightarrow a_0$ と $s_1 \rightarrow a_1$ が1対2の割合で安定的に起こると予測される。

Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) は12人の被験者を用いてランダム・ペアリングで18ラウンド行う独立な実験を4回行った。彼らによれば、18ラウンドのデータを前半の9ラウンドと後半の9ラウンドに分割したそれぞれと、18ラウンドの全体をとっても結果に大きな

違いはなかった。そこで、全データを集計した結果を示すと次の通りだった。⁸⁾

プレーヤーSの行動			プレーヤーRの行動	
t_L の時	t_M の時	t_H の時	s_0 に対して	s_1 に対して
$\frac{s_1 \text{の回数}}{t_L \text{の回数}} = 0.01$	$\frac{s_1 \text{の回数}}{t_M \text{の回数}} = 0.75$	$\frac{s_1 \text{の回数}}{t_H \text{の回数}} = 0.95$	$\frac{a_1 \text{の回数}}{s_0 \text{の回数}} = 0.08$	$\frac{a_1 \text{の回数}}{s_1 \text{の回数}} = 0.81$

この実験結果は3つのことを示している。第1に、安定的な行動パターンが現れた。それは一意的な逐次均衡である。第2に、逐次均衡のパターンは、徐々に形成されたのではなく最初からすぐに現れた。著者達によれば、18ラウンド中の最初の第1ラウンドだけのデータを集計すると、 t_M の時のプレーヤーSの行動はすでに

$$\frac{s_1 \text{の回数}}{t_M \text{の回数}} = 0.75$$

であり、 s_1 に対するプレーヤーRの行動もすでに

$$\frac{a_1 \text{の回数}}{s_1 \text{の回数}} = 0.69$$

であった。第3に、複数の分離均衡を持つゲームに関する Bandts and Holt (1992) の結果、複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームに関する Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の結果、複数の分離均衡を持つゲームに関する Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の結果のどれもに見られたプレイの最初の行動、つまり「シグナルによらずプレーヤーRの行動はどの選択肢の可能性も同程度である」というナイーブな予想を持ったとした時のプレーヤーSの最適行動は、この実験では見られなかった。Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) のゲームでは、このナイーブな予想に基づくプレーヤーSの最適行動は t_M の時には s_0 を選択することだからである。プレイの1ラウンド目から、シグナリング機能を持つ分離均衡にしたがった行動がいきなりとられた。

6 シグナリング・ゲーム実験の結果の比較

以上でレビューしたシグナリング・ゲームにおける均衡に関する実験結果を相互に比較し、その異同をハッキリさせよう。

吟味した、Bandts and Holt (1992), Cooper, Garvin, and Kagel (1997a), Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が行った延べ5種類のゲームの実験について、共通して確認された事実がある。それは、どのゲームの実験でも、同じプレーヤーのランダム・ペアリングの下で繰り返しプレイすれば、安定的な行動パターンが現れるということ、そしてそのパターンは逐次均衡であるということである。

しかし、それ以上の事柄については、実験結果の間に違いがある。第1は、安定的な行動パターンが現れる早さである。Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が実験した一意的な分離均衡が存在するゲームでは、プレイの最初から即座に逐次均衡に従ったプレイ・パターンが現れた。Bandts and Holt (1992) が実験した、複数の一括均衡を持つ2つのゲームでは、プレイの最初から即座にではないが、4ラウンドないし6ラウンドといった比較的少ない繰り返し後の後に、速やかに逐次均衡が現れた。これに対して、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) が実験した、複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームでは安定的なパターンがハッキリと現れるのに48ラウンドという長い繰り返しが必要であり、複数の分離均衡を持つゲームでは更に長く72ラウンドを費やしても十分ハッキリとパターンが現れるまでには至らなかった。

第2は、複数の逐次均衡がある場合に、そのどれが安定的な行動パターンとして実際に現れるかである。Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) が実験した複数の分離均衡を持つゲームでは、Cho-Kreps 基準を満たす分離均衡が現れ、それを満たさない逐次均衡が現れることはなかった。また、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) が実験した複数の一括均衡と分離均衡を持つゲームでは、Cho-Kreps 基準を満たす一括均衡の1つが現れ、もう1つあった Cho-Kreps 基準を満たす一括均衡、Cho-Kreps 基準を満たす分離均衡、あるいは Cho-Kreps 基準を満たさない逐次均衡は現れなかった。これに対し、Bandts and Holt (1992) が実験した、複数の一括均衡を持つ2つのゲームでは、一方のゲームでは Cho-Kreps 基準を満たす一括均衡が現れ、Cho-Kreps 基準を満たさない一括均衡は現れなかったのに対し、他方のゲームでは逆に Cho-Kreps 基準を満たさない一括均衡が現れ、Cho-Kreps 基準を満たす一括均衡は現れなかった。

第3は、安定的に成立する行動パターンと、プレイの最初にとられる行動の関係である。Cho-Kreps 基準を満たす逐次均衡が起こるか否かに関する Bandts and Holt (1992) の2つのゲームの実験結果の不一致も、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の2つの実験結果も、全て、プレイの最初にとられる行動とその後の適応的行動調整によって説明可能である。すなわち、これらの4つのゲームの実験では、そのどれも、プレイの最初にとられる行動は、逐次均衡に対応した行動ではなく、「シグナルによらずプレーヤーRの行動はどの選択肢の可能性も同程度である」というナイーブな予想を持ったとした時のプレーヤーSの最適行動と、それに対するプレーヤーRの最適行動の組み合わせに対応している。これに対して、Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が行った実験では、逆に、逐次均衡に対応する行動が最初からいきなり現れ、そのようなアドホックな仮説に対応するプレーヤーSの行動も見られなければ、その均衡行動への適応プロセスも観察されなかった。

7 実験結果の含意

細部において様々に異なるこれらの実験研究の結果から、我々は何を学ぶことができるだろうか。特に、逐次均衡の妥当性を実験検証する時の、実験の設計に焦点を当てて、それを検討したい。シグナリング・ゲームにおける均衡の検証実験では、どれも、プレイを繰り返したとき同じ個人と繰り返して何度もプレイするということがないような規模の被験者グループを募集しておいて、その固定されたグループの中でランダム・ペアリングによって繰り返し、しかし自由にプレイをさせるという、標準的な方法で実験している。この方法で得られたデータは、逐次均衡の妥当性について何を教えてくれるだろうか。

4つの事柄が問題となる。第1に、被験者は何らかの予想の下での最適行動をとり、その予想の妥当性の確保のされ方に違いがあるためにその速度は異なるものの、その予想は固定化され、その結果として均衡が成立するということが見られる。つまり、他の様々なゲームの実験におけると同様、固定されたグループでの繰り返しプレイは、現に均衡を成立させる。この意味では、シグナリング・ゲームに複数ある逐次均衡のいずれが実際に行われるかを、この実験方法によって調べることに意味がある。どの逐次均衡も起こらないということがないからである。

第2に、しかし、被験者がとる行動がどのようなプロセスを通じて均衡の成立に結びつくかは、被験者が抱く予想の妥当性の確保の仕方に強く依存する。そして、それが、実験されているゲームの複雑さに左右されることが示唆される。Bandts and Holt (1992), Cooper, Garvin, and Kagel (1997a), Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が実験した延べ5種類のゲームのうち、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の2つのゲームは、他の3つのゲームに較べて2つの意味で格段に複雑である。第1に、他の3つのゲームでは全てのプレイヤーに選択肢が2つしかないのに対し、問題の2つのゲームではプレイヤーSの選択肢が7つある。したがって、プレイヤーS自身が行動する上で、それぞれの選択肢の望ましさを吟味することは、選択肢が2つの場合に較べて格段に難しい。また、プレイヤーRは自分自身の選択肢は2つに過ぎないものの、その2つの選択肢の望ましさを吟味するためには、シグナリング・ゲームではプレイヤーSがどのタイプを見てその行動をとったかを推測する必要があるために、プレイヤーSに選択肢が7つあってその行動をとったということの含意を推測しなければならない、ある意味でプレイヤーS自身以上にプレイヤーRの選択は難しい選択となる。

もう1つの難しさは、単に選択肢の数だけでなく、そのゲームに存在する均衡の数が非常に多いということである。他の3つのゲームでは逐次均衡は1つないし2つであるのに対し、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) で複数の一括均衡と分離均衡があるゲームには全部で7つの逐次均衡がある。それは、自分の行動を相手の行動の予想と整合させようとする場合に

も、つまり自分自身が主観的に均衡を模索しようとするときにも、いったいどの均衡が起こりそうかを言うことが非常に難しいということである。

難しい選択を行う結果、その選択の妥当性を自らに確保することが困難であれば、人は選択の妥当性の要請をゆるめて、試行錯誤することを自らに許すであろう。つまり、デタラメではないが妥当性が必ずしも徹底して確保されているわけではない行動から始めて、適応行動で行動するということが起こっても不思議はない。Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の2つの実験で、逐次均衡が現れはしたが、それには他の3つの実験と較べて極端に多い繰り返しプレイを必要としたことには、このような事情があると思われる。

ゲームの複雑さには、今述べた意味で2種類あるから、たとえ選択肢が2つしかない意味で単純なゲームである Bandts and Holt (1992) の2つの実験でも、均衡が2つあって、そのいずれが起こりそうかについて判断すべき先験的な理由がなければ、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の2つの実験と同様に、被験者が適応行動で行動するということが起こりうる。

実際、Bandts and Holt (1992) とそのフォローアップ研究である Bandts and Holt (1993), Banks, Camerer, and Porter (1994) や、Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) とそのフォローアップ研究である Cooper, Garvin, and Kagel (1997b) は、実験結果が被験者の適応行動によって上手く説明できることを詳しく検証している。

これに対して、Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が実験したゲームは2重の意味で単純なゲームである。第1に、それはどのプレーヤーも選択肢が2つしかない。そして、プレーヤーSの利得は、タイプが t_L と t_H の時にはプレーヤーSに s_0 と s_1 の分離した支配戦略を与えるように作られているので、プレーヤーSにとってもプレーヤーRにとっても、タイプが t_M の時にプレーヤーSが s_0 と s_1 のいずれを選択するかだけが焦点として残っている。被験者は、この問題に注意を集中すれば良く、その結果としてゲームはプレーヤーSとプレーヤーRの双方にとって単純なものとなる。そのことが、Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) の実験では逐次均衡が最初からいきなり現れたことに大きく預かっていると思われる。

第3に、今議論したようにゲームの複雑さが被験者の行動の原理を左右するとすると、実験によって観察された均衡選択が、逐次均衡の理論、あるいはその精緻化の理論にとって持つ意味を解釈するときに注意を必要とすることになる。Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) の実験で観察されたように、被験者の行動が、被験者が行う戦略的推論の直接の結果として出てきたことがハッキリする場合には、その実験結果は逐次均衡の理論を支持する結果ということになるであろう。他方、それ以外の4つの実験結果では、被験者はその戦略的推論の妥当性を被験者自身が棚上げにして、適応行動で行動し、その結果が生み出された

ことが強く示唆される。その結果は、固定されたグループでのランダム・ペアリングによる繰り返しの自由なプレイという特定の実験手続きがもたらす、均衡化の特定のプロセスを見出していることになる。従って、それら4つのゲームで特定の均衡が起きたということは、複数ある均衡のどれが実際に起きるかという問題を、そのそれぞれの均衡化の特定のプロセスの妥当性の問題に置き換えたに過ぎない。そして、Bandts and Holt (1992) が最初に見出したように、実験室ではプレーヤーSとなった被験者は「シグナルによらずプレーヤーRの行動はどの選択枝の可能性も同程度である」というナイーブな予想を持ったとした時の最適行動から手始めに行動する、ということがその均衡化プロセスの結末を左右するとすると、それはさらに、この最初のナイーブな行動パターンの妥当性と適応行動それ自体の妥当性の2つの妥当性の問題に分解されることになる。

均衡理論は、逐次均衡を含めて、それが見出す均衡が実際にどのように実現されるかを述べてはいない。したがって、均衡理論の妥当性は、さしあたり均衡化とは独立の問題である。つまり、均衡化の特定のプロセスが特定の均衡を選ぶ傾向があったとして、それは均衡理論を補完するものであって、否定するものではない。Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) 以外の4つの実験の結果は、この意味で、特定の実験手続きで行うと、逐次均衡の理論が示す均衡のうちの多くが実際には実現されず、特定の逐次均衡が実現されるのであって、それは最初のナイーブな行動パターンと適応行動の2つを組み合わせで予測できるということを意味していると理解すべきであろう。

第4に、Bandts and Holt (1992) と Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の4つの実験結果が、逐次均衡の精緻化の理論にとって持つ意味を考える上で、この理解は特に重要である。Bandts and Holt (1992) は、どの逐次均衡が実際に現れるかは最初のナイーブな行動パターンと適応行動の2つの組み合わせで決まり、従ってその均衡が Cho-Kreps 基準を満たすかどうかによらないので、シグナリング・ゲームにおける逐次均衡の精緻化の理論として提唱された様々な基準は、実際の人間行動を予測する上で妥当性が疑問であると主張している。彼ら自身の論文結語の言葉によると、次の通りである。

Our experimental results indicate that equilibrium dominance and stronger refinements must be modified if they are to be useful in this context. The main implication of these results is that a positive theory of equilibrium selection in games should be based on properties of the adjustment process. (Bandts and Holt (1992) p. 1365)

ここに this context とあるのは、問題にしているゲームについて事前に経験のない被験者が、異なるプレーヤーと次々にプレイ経験を積む環境のことを指している。

事実、Bandts and Holt (1992) が研究した2つのゲームの一方では、Cho-Kreps 基準を満たさない方の s_A 一括均衡が安定的に現れたのであるから、そのゲームで何が起こるかを予

測し損なったという意味では、Cho-Kreps 基準は確かに問題がある。そして、その失敗が、複雑なゲームにおいては、実験室におかれた被験者は適応行動によって自らの行動を調整し、その結果特定の逐次均衡が達せられるという事実適切に基づいていないことに由来すると推測されることも確かである。

しかし、このことが、Cho-Kreps 基準の妥当性を根底から覆すことになる主張することには問題がある。第3の論点で述べたように、Bandts and Holt (1992) と Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の4つの実験結果が見出した事実とは、複雑なゲームを特定のやり方で被験者にプレイさせると、被験者は最初に特定の行動パターンを示し、それに引き続いて適応行動をとるということである。そして、安定的な行動パターンが成立するが、そのパターンは被験者が最初にとる行動とそれに引き続く適応行動に左右されるということである。そうして実験によって成立した逐次均衡を $((s, a), \mu)$ とせよ。この時、プレーヤーRの信念体系 μ を直接調べて見るとそれはどうなっているだろうか。均衡経路上では、すなわち $s=s(t')$ となるタイプ t' が少なくとも1つあるようなシグナル s を観察した時の信念は、逐次均衡の「条件3」に言う

$$\mu(t|s) = \frac{\rho(t)}{\sum_{s=s(t')} \rho(t')}$$

を満たすであろう。これは、つまり、その均衡が成立するプロセスが何であろうとそれとは独立に、成立している逐次均衡を定めている戦略 $s: T \rightarrow S$ だけでその信念が規定されているということである。

これに対して、均衡経路外では、つまり $s=s(t')$ となるタイプ t' が1つもないようなシグナル s を観察した時の信念はどうだろうか。Bandts and Holt (1992) と Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) が行った標準的な手続きによる実験では、そしてこれらの実験でそう推測されるように被験者達が適応行動を通じてそれぞれの逐次均衡に到達したのであれば、それは、その適応プロセスでその被験者が自ら経験した事柄、あるいは他の被験者について学習した事柄⁹⁾を反映すると推測される。例えば、Bandts and Holt (1992) の game 3R では、その最初の1から6ラウンドで、Cho-Kreps 基準を満たさない方の s_A 一括均衡の均衡経路外行動 s_B は全部で31回とられ、そのうち11回はタイプ t_L の時にとられた。つまり、実験の後半が始まる7ラウンド目の時点で、プレーヤーRの被験者は、平均して、 s_B を観察したとき $\frac{11}{31}$ ¹⁰⁾ $=0.35$ の割合でそれはタイプ t_L だったと知っているのである。この時、7ラウンド目にプレーヤーRとなる被験者が均衡経路外行動 s_B に対して抱く信念がこの知識に左右されると推測することは自然であろう。つまり、ちょうど $\mu(t_L|s_B)=0.35$ となるとは言えないまでも、少なくとも $\mu(t_L|s_B)=0$ ではなく $\mu(t_L|s_B)>0$ となると推測して良からう。

ここで、Bandts and Holt (1992) の game 3R では、 s_A 一括均衡の典型的な信念体系は、

$$\mu(t_H|s_A) = \frac{2}{3}, \mu(t_H|s_B) = 0 \quad (\text{つまり } \mu(t_L|s_B) = 1)$$

である。正確に言うと、 $\mu(t_L|s_B) \geq 0.5$ ならば s_B に対するプレーヤー R の最適反応は a_D であり、この均衡が支持される。そして、逐次均衡のパターンがハッキリ現れた後半の 7 ラウンドから 12 ラウンドでは、プレーヤー S が t_H の時にとる行動を s_B から引き上げていく傾向の結果、 s_B がとられた回数は前半の 31 回から 16 回に減り、そのうちの 56% に当たる 9 回が t_L の時にとられているので、プレーヤー R が抱く均衡経路外での信念は後半の 7 ラウンドから 12 ラウンドにかけて $\mu(t_L|s_B) = 1$ の方向へさらに強化される傾向があったと推測される。

問題は、均衡が成立したと推測される後半の 7 ラウンドから 12 ラウンドで被験者に抱かれている信念が、前半に抱いていた信念、例えば $\mu(t_L|s_B) = 0.35$ の影響を受けている可能性があるということである。つまり、均衡において被験者が $\mu(t_L|s_B) = 1$ という信念を抱いていたとして、それが均衡化の過程で起こった「31 回の s_B は、そのうち 11 回が t_L の時だった」という事実に関する学習に左右される信念であるということである。言い換えると、均衡で持たれている信念ではなく、均衡が成立する前に起きた出来事に左右されて抱かれた信念である。そして、もしかすると、単に左右されているだけでなく、均衡が成立する前に起きた出来事に基づいて抱かれた信念かもしれない。

すでに述べたように、逐次均衡の理論を含め、均衡理論は、それが問題にしている均衡がどのようにして成立するかを明示していない。逐次均衡の理論は均衡として成立しうる $((s, a), \mu)$ の組を示しているだけである。Bandts and Holt (1992) の game 3R で s_A 一括均衡が逐次均衡であるのは、プレーヤー R が $\mu(t_H|s_A) = \frac{2}{3}, \mu(t_H|s_B) = 0$ という信念を抱き、各プレーヤーの行動が

$$s(t_L) = s(t_H) = s_A, a(s_A) = a_C, a(s_B) = a_D$$

と計画されている状況がプレーヤー間で相互に認識されている時には、その認識の内容が安定的に実行に移されるであろうということである。そのような認識の内容をなすプレーヤー R の信念 $\mu(t_H|s_A) = \frac{2}{3}, \mu(t_H|s_B) = 0$ が特定の均衡化によって成立するということは、まったくその主張の枠の外側にあるのである。

さらに、プレーヤー R が $\mu(t_H|s_A) = \frac{2}{3}, \mu(t_H|s_B) = 0$ という信念を抱いているとき、それは均衡で抱かれているのであるから、たとえその均衡が実行に移され、その結果プレイが経験されたとしても均衡経路外の行動 s_B は実際にはプレーヤーに観察されることはなく、従って $\mu(t_H|s_B) = 0$ はプレーヤー R の主観的判断であって、経験に基づくものではない。言い

換えれば、プレーヤーRが実際の何かの事実や、証拠に基づいて「 s_B が起きたらそれは t_H の可能性はなく、 t_L だ」と考えるのではない、ということである。Bandts and Holt (1992) の game 3R の実験で s_A 一括均衡が現れた後半のラウンド7からラウンド12のプレイにおいて、プレーヤーRの信念が「前半のラウンド1からラウンド6では31回の s_B は、そのうち11回が t_L の時だった」という事実に基づいて抱かれていたのであれば、それは逐次均衡の理論が問題にしている均衡とは異なる状況である、ということになる。

さらに、逐次均衡の精緻化の理論は、そのようなものとしての均衡理論に基づいて主張されている。すなわち、Cho-Kreps 基準は、game 3R でそれを満たさない s_A 一括均衡は、プレーヤーRが $\mu(t_H|s_A) = \frac{2}{3}$, $\mu(t_H|s_B) = 0$ という信念を抱き、各プレーヤーの行動が

$$s(t_L) = s(t_H) = s_A, a(s_A) = a_C, a(s_B) = a_D$$

と計画されている状況がプレーヤー間で相互に認識されている時でも、その状況は不安定であると主張しているのである。Cho-Kreps 基準は、この状況で抱かれるプレーヤーRの主観的判断としての均衡経路外信念 $\mu(t_H|s_B) = 0$ は、やがてプレーヤーSが特定のやり方で均衡から逸脱する行動、すなわち t_H の時に s_B をとるという行動によって崩されるだろう、と主張しているのである。

s_B 一括均衡についても同様である。逐次均衡の理論は、Bandts and Holt (1992) の game 3R がどのような手続きでプレイされようとも s_B 一括均衡が現れる可能性があるとして主張しているのではなく、プレーヤーRが $\mu(t_H|s_A) = 0$, $\mu(t_H|s_B) = \frac{2}{3}$ という信念を抱き、各プレーヤーの行動が

$$s(t_L) = s(t_H) = s_B, a(s_A) = a_D, a(s_B) = a_C$$

と計画されている状況がプレーヤー間で相互に認識されている時には、その認識の内容が安定的に実行に移されるであろう、と主張しているに過ぎない。そして、Cho-Kreps 基準は、この状況はプレーヤーによる均衡外行動への逸脱によって崩されることはない、と主張しているに過ぎないのである。

このように、Cho-Kreps 基準は、それを満たさない均衡は、均衡で抱かれる信念が不安定であることを主張しているのに対し、Bandts and Holt (1992) の game 3R の実験は、均衡が成立する前に抱かれた信念が、均衡が成立したあとも引き続いて抱かれ続けることを示している、ということが言える。両者は、異なる事柄を主張しているのであるから、Bandts and Holt (1992) の game 3R の実験結果が、Cho-Kreps 基準の妥当性を一般的に葬り去ると考えることは早急に過ぎると言える。Cho-Kreps 基準の妥当性をゲーム実験で検証するには、均衡経路外での信念がプレーヤーの主観的判断として抱かれる均衡状態を人工的に作り出し、

その判断が安定的かどうかを見なければならない。

注

- 1) S は、シグナルの送り手である Sender の頭文字をとった。
- 2) R は、シグナルの受け手である Receiver の頭文字を取った。
- 3) この条件は、 μ は Kreps and Wilson (1982) の意味で s と斉合的な信念である、ということに同じである。
- 4) ここに挙げた 6 つの研究のうち、最初の 5 つは、シグナリング・ゲームにおける逐次均衡の理論の有効性、その精緻化基準の妥当性を直接確かめることを目的とする研究である。これに対し、最後の Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) は、手番と情報構造の異なる比較可能なゲームを用いて、シグナリング・ゲームにおいて逐次均衡による説明と互惠行動 (reciprocal behavior) による説明のいずれが妥当するかを検証した研究である。ただし、Potters, Sefton, and Vesterlund (2007) が実験した複数の比較可能なゲームのうち、そのシグナリング・ゲームは、一意的分離均衡をもつゲームであって、我々はここでそれを [3] に分類した。また、ここには掲げていないシグナリング・ゲームの実験研究が多数ある。そのうち、Potters and Winden (1996) は、シグナリング・ゲームにおいて逐次均衡による説明とナイーブな意志決定モデルによる説明のいずれが妥当するかを比較静学によって実験検証した研究である。ただし、研究したゲームの逐次均衡は混合戦略による均衡であるので、その結論に影響を与える要素として混合戦略の問題を同時に検討する必要があるため、ここでは考察の対象から除いた。シグナリング・ゲームにおける逐次均衡の理論の妥当性を検証する実験研究以外に、繰り返し状況でのシグナリング問題をゲーム理論でどの程度説明できるかの実験研究も多数ある。それらを含めたシグナリング・ゲーム実験の簡単な包括的な展望は、Camerer (2003) によって与えられている。
- 5) 以下この論文で述べる実験研究の紹介において、その実験が研究したゲームのルールの説明は、序で述べたシグナリング・ゲームの一般的な記述に従って述べる。以下で検討している個々の実験研究では、その著者の好みによって論文中の記述はそれぞれ異なっている。ただし、実験の実施に当たっては、どの実験も、被験者に用語を通じて実験の意図や誤解された意図が伝わらないよう、中立的な記述でルール説明がなされていることは言うまでもない。
- 6) 原論文の Table 3 と Table 4 から筆者が作成した。
- 7) 原論文の Figure 1, Figure 2 から筆者が作成した。プレーヤー S の選択に関する数値は、原論文のグラフから筆者が概数値を算出した。
- 8) 原論文の Figure 1 と記述から筆者が作成した。プレーヤー S の選択に関する数値は、原論文のグラフから筆者が概数値を算出した。
- 9) Cooper, Garvin, and Kagel (1997a) の実験では、各被験者は、各ラウンドのプレイ終了時に、自分のペアについてそのラウンドで起こった t と s と a の真実の値を知らされるだけでなく、それがどのペアのものかは特定できないが、残りの全てのペアについて、そのラウンドで起こった t と s と a の真実の値を全て知らされる。つまり、その被験者が相互にランダム・ペアリングすることになるその被験者グループ全体で、そのラウンドで何が起こったかを全て学ぶことができる。

- 10) Bandts and Holt (1992) の実験では、被験者は各ラウンドのプレイ終了時に自分のペアで起こったととの真実の値だけを知らされ、他のペアの結果については知らされない。

参 考 文 献

- Bandts, J. and C.A. Holt (1992), "An Experimental Test of Equilibrium Dominance in Signaling Games," *American Economic Review*, 82, 5, pp. 1350-1365.
- Bandts, J. and C.A. Holt (1993), "Adjustment Patterns and Equilibrium Selection in Experimental Signaling Games," *International Journal of Game Theory*, 22, pp. 279-302.
- Banks, J., C. Camerer, and D. Porter (1994), "An experimental analysis of Nash refinements in signaling games," *Games and Economic Behavior*, 6, pp. 1-31.
- Banks, J.S. and J. Sobel (1987), "Equilibrium Selection in Signaling Games," *Econometrica*, 55, pp. 647-661.
- Camerer, C. (2003), *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*, Princeton University Press.
- Cho, I.K. and D.M. Kreps (1987), "Signaling Games and Stable Equilibria," *Quarterly Journal of Economics*, 102, pp. 179-221.
- Cooper, D.J., S. Garvin, and J.H. Kagel (1997a), "Signalling and adaptive learning in an entry limit pricing game," *Rand Journal of Economics*, 28, pp. 662-683.
- Cooper, D.J., S. Garvin, and J.H. Kagel (1997b), "Adaptive Learning vs Equilibrium Refinements in an Entry Limit Pricing Game," *The Economic Journal*, 107, pp. 553-575.
- Grossman, S.J. and M. Perry (1986), "Perfect Sequential Equilibrium," *Journal of Economic Theory*, 39, pp. 97-119.
- Kreps, D.M. and R. Wilson (1982), "Sequential Equilibrium," *Econometrica*, 50, pp. 863-894.
- Mailath, J., M. Okuno-Fujiwara, and A. Postlewaite (1993), "Belief-Based Refinements in Signaling Games," *Journal of Economic Theory*, 60, pp. 241-276.
- Milgrom, P. and J. Roberts (1982), "Limit Pricing and Entry under Incomplete Information: an Equilibrium Analysis," *Econometrica*, 50, pp. 443-459.
- Potters, J. and F. van Winden (1996), "Comparative Statics of a Signaling Game: An Experimental Study," *International Journal of Game Theory*, 25, pp. 329-353.
- Potters, J., M. Sefton, and L. Vesterlund (2007), "Leading-by-example and signaling in voluntary contribution games: an experimental study," *Economic Theory*, 33, pp. 169-182.
- Spence, M. (1974), *Market Signaling*, Harvard University Press.