Title	ゲーム理論の歩みと現代経済学
Sub Title	Advances in game theory and modern economics
Author	川又, 邦雄(Kawamata, Kunio)
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	2002
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.95, No.2 (2002. 7) ,p.191(1)- 204(14)
JaLC DOI	10.14991/001.20020701-0001
Abstract	本稿はゲーム理論の考え方を紹介するとともに、その現代経済学への影響について概観し、あわせて若干の私見を述べることを目的としている。ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書『ゲーム理論と経済行動』におけるゲーム理論の基礎の構築、そしてナッシュによる均衡概念と存在証明を中心に現代経済学がどのように変貌したかを概観する。具体例を中心に、ゲーム理論の現状とその簡潔で強靭な説明力を浮き彫りにできれば幸いである。 This study utilizes the concepts of game theory, outlines its influence on modern economics, and states my personal views on it. Moreover, it takes a general view of the evolution of modern economics with a central focus on the construction of game theory in the book "Theory of games and economic behaviors," written by Neumann–Morgenstern and the concept of equilibrium, whose existence was proven by Nash. I would be grateful if I could reveal the current state of game theory and its terse and strong explanatory power as we consider some concrete examples.
Notes	会長講演
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20020701-0001

ゲーム理論の歩みと現代経済学
Advances in Game Theory and Modern Economics

川又 邦雄(Kunio Kawamata)

本稿はゲーム理論の考え方を紹介するとともに、その現代経済学への影響について概観し、あわせて若干の私見を述べることを目的としている。ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書『ゲーム理論と経済行動』におけるゲーム理論の基礎の構築、そしてナッシュによる均衡概念と存在証明を中心に現代経済学がどのように変貌したかを概観する。具体例を中心に、ゲーム理論の現状とその簡潔で強靭な説明力を浮き彫りにできれば幸いである。

Abstract
This study utilizes the concepts of game theory, outlines its influence on modern economics, and states my personal views on it. Moreover, it takes a general view of the evolution of modern economics with a central focus on the construction of game theory in the book “Theory of games and economic behaviors,” written by Neumann–Morgenstern and the concept of equilibrium, whose existence was proven by Nash. I would be grateful if I could reveal the current state of game theory and its terse and strong explanatory power as we consider some concrete examples.

「三田学会雑誌」95巻2号（2002年7月）

会長講演

ゲーム理論の歩みと現代経済学

川　又　邦　雄

要　　旨

本稿はゲーム理論の考え方を紹介するとともに，その現代経済学への影響について概観し，あわせて若干の私見を述べることを目的としている。ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書『ゲーム理論と経済行動』におけるゲーム理論の基礎の構築，そしてナッシュによる均衡概念と存在証明を中心に現代経済学がどのように変貌したかを概観する。具体例を中心に，ゲーム理論の現状とその簡潔で強靭な説明力を浮き彫りにできれば幸いである。

キーワード

ミニマックス定理，ナッシュ均衡，コア，シャプレー値，公平性

1．序

この講演は慶應義塾大学経済学会の会員の皆様にゲーム理論の考え方を紹介するとともに，その現代経済学への影響について概観し，あわせて若干の私見を述べることを目的としている。ゲーム理論の現状とその簡潔で強靭な説明力を浮き彫りにできれば幸いである。最初の二つの節でゲーム理論の一般的説明を行った後，続く七つの節でゲーム理論が経済学に何をもたらしたかについて述べ，最後の節で議論を結ぶ。

2．ゲーム理論の誕生

ゲーム理論は，利害が対立したり交錯しあう主体の行動を分析する学問で，ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書『ゲーム理論と経済行動』（1944）によってその基礎が築かれた。チェス，碁，ジャンケン，ブリッジ等のゲームだけでなく，寡占の問題，労使交渉，国際政治，選挙における投票力，保険等に広くその考えは応用されている。まずゲーム理論についての基礎的概念と具体例を示し，以下の議論の出発点としたい。

ゲームはそれを規定する主体とルールの集合によって特色づけられる。ゲームに参加する人（ゲームの意思決定の主体）をプレイヤーといい，プレイヤーの数によってゲームは２人ゲーム，３人ゲーム，n 人ゲーム等と分類される。ゲームにおいて各プレイヤーのとりうる行動を戦略といい，すべてのプレイヤーの選ぶ戦略の関数として，各プレイヤーのうる利得（点数，金額・効用等の評価額等）が定まる。これを利得関数という。評価関数，効用関数等の用語も用いられる。

３．ゲーム理論の誕生

ゲーム理論が，ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書『ゲーム理論と経済行動』によって構築されたとするのが現在の定説である。しかし誕生の時についてのこの見解は最初からすべての人々の支持を得たものではなかった。

ノイマン＝モルゲンシュテルン以前にも，いくつかの具体的ゲームについて興味深い分析例を見い出すことができる。例えばカードを用いた「殿方」というゲームがある。１人の親と子（ここでは単純化のため子も１人とする）がいて，カードを１枚ずつ引き，それぞれのカードによって定まる得点を争うポーカーを簡単にしたようなゲームである。エース，２，３，４，……，10，ジャック，クィーン，キングの順に得点が高く，最後に持っているカードの点の高い人が勝つ。子や親は７あるいは８を持ったときにカードを交換するか否かはある確率による（つまり混合戦略を用いる）ことが示される。またノイマン＝モルゲンシュテルン以前にも，ボレルやツエルメロ等によってもゲームの数学的分析は行われていた（これらの点およびゲーム理論の基礎的概念については，鈴木（1994）等を参照されたい）。

そのためもあって　ノイマン＝モルゲンシュテルンの著書に対するフレッシュの書評は必ずしも好意的なものではなかった。書評の論点はいくつかあるが，要するに，ゲーム理論には先駆者がいて，それに対してノイマン＝モルゲン・シュテルンの著作に何か新しいものがあるかという疑問があるということである。それに対するノイマンの反論がエコノメトリカ誌上（“Communication on the Borel Notes” *Econometrica* (1953)）に掲載されている。ノイマンは彼等の著書の主要な貢献がゼロ和ゲームにおけるミニ・マックス定理の確立にあると主張した。これについて次節で多少立ち入った説明を行なおう。

４．ミニマックス定理とその意義

ゼロ和ゲームとは，２人の利得の和が０になるゲームであって，下に示すような政党とその支持率のようなゲームである。表の読み方は例 a(1)では，例えばプレイヤーⅠが議案を支持し，プレイヤーⅡがそれに支持しなければプレイヤーⅠに対する国民の支持率は40％（したがってプレイヤ

ーIIに対する支持率は60%）であることを示している。例１ａではＩもIIも議案に反対することが「均衡」という名に値する。なぜならそこでは２人とも「相手がもっとも敵対的な行動をとるとして，自分の利得を最大にしているから」である。プレイヤーＩにとっては各行の列についての最小値を最大に（つまりmaxminを達成）し，プレイヤーIIにとっては（表の利得にマイナスを付したものがその利得となるから）各列の行についての最大値を最小に（つまりminimaxを達成）していることを意味している。

例１ａ　第１表　政党と支持率

I ＼ II	支持	反対	min
議案を支持	70%	40%	40%
議案に反対	55%	◎50%	50% maxmin
max	70%	50% minimax	

例１ｂのゲームについてはそのような均衡は存在しない。というのは表のようにプレイヤーＩがmaxminを達成する点とプレイヤーIIがminmaxを達成する点が異なるからである。

例１ｂ　第２表　政党と支持率２

I ＼ II	支持	反対	min
議案を支持	70%	40%	40%
議案に反対	45%	80%	45% maxmin
max	70% minimax	80%	

maxmin戦略（7/13，6/13）
minimax戦略（8/13，5/13）

ミニマックス定理は，このようなゲームにおいても，議案をある確率pで支持し，残りの確率$1-p$で反対するような戦略（混合戦略）をも考慮すれば，上の意味での「均衡」はつねに存在することを主張するものである。じっさい，プレイヤーＩが$p=7/13$の確率で議案を支持し，プレイヤーIIが$q=8/13$の確率で議案を支持する戦略は均衡になることが示される。

例１ｃは一般化されたじゃんけんのゲームを示し，石で勝った場合は３，紙で勝った場合は２，はさみで勝った場合は１の得点が与えられる。この場合の均衡戦略は，石，紙，はさみの確率が

(1/6, 1/2, 1/3) の場合である。

なお，上の均衡はゼロ和ゲームについて述べられたものであるが，「均衡」では「相手の戦略を所与とするとき自分の利得が最大になっている。」この意味での均衡概念は，ナッシュによって一般の非ゼロ和ゲームに拡張された。

例１ｃ　第３表　（一般化された）じゃんけん

I ＼ II	石	紙	はさみ
x_1 石	0	－2	3
x_2 紙	2	0	－1
x_3 はさみ	－3	1	0

最適戦略
$(x_1, x_2, x_3) = (1/6, 1/2, 1/3)$

ミニ・マックス定理は，ゲーム理論の美しい成果であると同時に，数学での応用範囲も広い。また想定された２人ゼロ和ゲームにおいては，均衡という名にふさわしいいくつかの性質を備えている。経済学上の応用としては，ミニ・マックス定理は線形計画の相対定理と理論的に密接な関係を持っている。線形計画法は計画経済における価格の意義を認識させたものとして，伝統的経済学に新たな光を投げかけることになった。これについては例えばDorfman, Samuelson and Solow (1958) 等を見よ。しかしミニマックス定理は２人ゼロ和ゲームについてのみ適用されるものであり，それ故に限定的なものである。

ノイマンがさきの反論でミニマックス定理をゲーム理論の中心に据えたことは，多少の誤解を生むことになった。たとえば我が国では，社会・経済活動の本質は，分業や交換によって各人が利益を得ることにあり，それ故にゲーム理論は，社会科学の問題解明には役立たないといった暴論がまかり通ってしまった。後のゲーム理論の進展が示すように，またノイマン＝モルゲンシュテルンの古典の大半のページがそれを示しているように，ゲーム理論の中心は非ゼロ和ゲームにある。ゲーム理論は同著が示すように展開型，戦略型（標準型），そして価値関数型（特性関数型）等のさまざまな仕方で記述される。そしてノイマン自身もそれぞれの型のゲームについて基礎的考察を行い，理論の骨格を構築している。しかし戦略型ゲームにおける一般的状況下の解の概念とその存在定理の確立は，ナッシュの出現によって初めて可能になった。この点は次項で新たな例を用いて説明しよう。

5．ナッシュ均衡と戦略的行動の分析

経済社会は人々の間の交流と相互依存のもとに成り立っている。古典派経済学の伝統をくむ自由競争のモデルでは，個人は「大海の一滴」であって，ある個人の行動が他の個人に与える影響はほとんど無視できるものである。より具体的には，各個人は価格を所与として行動し，個人の価格への影響も無視できるものとみなされる。市場価格は，個人の行動の総合的結果として，価格の関数としての需要と供給が一致する点に定まるのである。

後に厚生経済学の第一基本定理として定式化されたA. スミスの「見えざる手」の思想は，「すべての財に市場が存在し，競争が完全に行われるならば，市場均衡は（後述のパレートの意味で）最適になる」ことを主張するものである。しかし完全競争の仮定は，個人の行動の調整が価格というマクロのパラメターによってのみ間接的に行われるとの想定に立脚している。経済主体間に直接的（戦略的）相互依存が存在する場合には，この最適性は保証されない。それはケンブリッジ学派以来の経済学の伝統では外部経済・不経済の問題として扱われ，市場経済においては「例外的」な取引とみなされてきた。

戦略型ゲーム（標準型ゲーム）の分析では，個人の戦略（行動）の選択が全体として各人の利益を決定する。その依存関係を考慮した戦略の選択こそが分析の中心となる。これはクールノーの複占市場の分析においても取り扱われた問題であったが，ナッシュはその考え方と均衡の存在定理が多くの問題解明の本質にあることを見抜いていた。

戦略的ゲーム理論が，伝統的経済学と分析の力点のおきどころが異なり，それえに異なった結論を導くことを示すために2つのゲームの例を掲げておこう。第一の例ではプレーヤーの利己的な行動が次項で説明する意味で最適をもたらす。それに対して第二の例では社会的ジレンマが発生する。

例2ａ　第4表

企業2 ＼ 企業1	A	B
A	5，－2	10，10
B	3，3	－2，5

例2ｂ　第5表

囚人2 ＼ 囚人1	自白	黙秘
自白	－5，－5	－1，－10
黙秘	－10，－1	－2，－2

例２ａにおいて，２つの企業の選びうる行動は財Ａを生産する（戦略A）か財Ｂを生産する（戦略B）かのいずれかである。企業１は財Ａの生産において技術的に優れ，企業２は財２の生産において技術的に優位にある。２企業ともに財Ａあるいは財Ｂの生産を行うと競争によって両方の企業の利潤は低下する。各企業が利得の最大化を求めて行動する場合には，企業１は財Ａの生産を，企業２は財Ｂの生産を行うことになり，少なくとも１人の個人の利得を低下させることなしには，どの個人の利得をも増大できないという意味において最適（パレート最適）な配分を実現している。

競争市場のモデルは多数の企業と家計の間の生産と消費の選択にかかわるゲームと考えることができる。そこでは各人の行動をマクロ的に反映する価格をシグナルとして，各人の利己的な行動の結果，生産あるいは消費する財の種類と数量が決定される。しかもそのようにして定まる配分はパレート最適である。

例２ｂは，個人の利己的な行動がパレート最適をもたらさないことを示す典型的な事例である囚人のジレンマというゲームを表している。２人の囚人が別々の部屋で尋問をうけている。２人が大きな罪を黙秘すれば，２人の利得は－２（１年の懲役）となる。また２人が自白すれば，２人の利得は－５となる。しかし一方が自白し他方が黙秘した場合には，２人の利得はそれぞれ－１と－10となる。

このゲームでは，相手の行動いかんにかかわらず，各プレーヤーは，黙秘よりも自白を選ぶのが得策である。つまり自白することは支配戦略となる。したがって，２人とも自白を選び，それがナッシュ均衡の戦略になる。じっさいどちらの個人もそこから単独で逸脱することによって利得を増すことができない。しかしその均衡はパレート最適ではない。つまり個人が独立に利得を追求することは，ここでは社会的に劣った結果をもたらすことになるのである。

このような社会的ジレンマの例は多数ある。例えば「共有地の悲劇」や「木こりのジレンマ」と呼ばれるゲームもそれである。また必ずしも支配戦略をもつゲームではないが，クールノーの複占のゲームも数量を変数とする戦略型ゲームであり，そこでの均衡はパレート最適にはならない。

寡占の理論について述べれば，従来はベルトラン均衡と呼ばれていた解は，価格を戦略変数とするゲームのナッシュ均衡解とみなされる。また先導者と追従者をもつ数量調整モデルにおけるシュタッケルベルクの解はその部分ゲームと時間を考慮したある種のゲームのナッシュ均衡解とみなされるのである（例えばGibbons (1992) を参照)。

戦略的ゲーム理論の考え方は，消費者と政府間の相互依存を考慮したマクロ経済政策の理論，そして国際経済学における戦略的貿易政策理論等にも興味深い適用例を見い出すことができる。ただしここではそれについて立ち入らない。

6．結託型ゲームと分配の論理

交渉ゲームにおいては結託型ゲームの解は分配の理論に深いかかわりをもつものである。結託型ゲームは，プレーヤーの集合を $N=\{1, 2, \cdots, n\}$ として，各結託 $S\,(S\subset N)$ に成果を示す実数を対応させた関数（価値関数という）で示される。例えば v を価値関数とするとき，つぎの２つのゲームはそれを示している。

例３　投票ゲーム

(1)　３人投票ゲーム

$v(1)=v(2)=v(3)=0$

$v(1, 2)=v(2, 3)=v(1, 3)=v(1, 2, 3)=1$

(2)　拒否権を持つプレイヤーのいる３人投票ゲーム

$v(1)=v(2)=v(3)=0,\ v(2, 3)=0$

$v(1, 2)=v(1, 3)=v(1, 2, 3)=1$

上のゲーム(1)(2)を投票ゲームと解釈するとき，v の値が１は投票での勝利を，v の値が０は敗北を示すものである。(2)ではプレイヤー１が拒否権をもっている。また，例えば(2)を生産のゲームとして解釈するとき，プレイヤー２あるいは３（資産保有者）はプレイヤー１（企業家）と協力することによって１億円の仕事を成しうるが，どのプレイヤー１人でも，あるいは２と３だけでは仕事ができないことを示している。プレイヤー２，３を未熟練労働者，プレイヤー１を熟練労働者とみなしてゲームを解釈することも可能である。

上のようなゲームにおいて３人への配分はどうなるであろうか。あるいはどうすべきであろうか。その答を提供してくれるものがゲームの解である。ここではコアとシャプレー値という２つの解概念を導入する。

コアはプレイヤーが勝手に結託を組み，全員の結託の成果を競争的に分け合う結果を示すもので，どの個人もまたどのようなグループも他の個人の取り分を減らすことなしには自分の取り分を増すことができない状態をいう。上の３人ゲームで３人の分け前を (x_1, x_2, x_3) で示せば，コアは

$$x_i \geq v(i),\quad (i=1, 2, 3)$$

$$x_i+x_j \geq v(i,j),\quad (i, j=1, 2, 3,\ i\neq j)$$

$$x_1+x_2+x_3=v(1, 2, 3)$$

を満たすことになる。この解は(1)のゲームでは空集合，(2)のゲームでは $(1, 0, 0)$ となる。このこと

は直感的には，以下のように説明される。(1)のゲームでは，３人で１をどのように分け合っていても，分け前が最大である１人を除いた２人だけが結託してその成果１を分け合い，もとの配分を改善できる。また(2)のゲームでは，プレイヤー２か３のどちらかが正の分け前を得ていれば，プレイヤー１は他の１人と結託して，その配分を改善できることになる。

シャプレー値は価値関数に基づいて「公平」な配分を規定するもので，３人ゲームの場合には，それは３人の配合を示すベクトル (x_1, x_2, x_3) によって示される。プレイヤーについて対称なゲーム(1)では，それは（1/3，1/3，1/3）となり，ゲーム(2)ではプレイヤー１は価値関数において高く評価されているために（2/3，1/6，1/6）となることが知られる。この結果を直感的に理解するには，例えば次のように考えればよい。３人のプレイヤーが現れる順番を順列で示せば，すべてで６通りある。そのうちプレイヤー１の出現で利得が増すケースが４通り，他の２人はそれぞれ１通りである。したがって，その比率で全員の結託の成果１を分け合えば（2/3，1/6，1/6）のようになる。

２人交渉ゲームは２人のプレーヤーが成果を分け合う問題を扱うのであるから，問題の本質は分配問題にある。ナッシュの交渉解に代表されるさまざまな解概念は，プレーヤーの交渉力を反映しているものであるだけでなく，公正な分配のあり方を示すものともみなすことができる。

同様のことは，一般の n 人（$n \geq 2$）結託型（提携型）ゲームについてもあてはまる。ゲームの解が分配問題を見事に解決していることを示す好例としてタルムートの破産問題（Aumann and Mashler (1985)）を考察してみよう。

例４　第６表　破産問題

	負債100	負債200	負債300
資産100	33 1/3	33 1/3	33 1/3
資産200	50	75	75
資産300	50	100	150

第６表には破産した企業に残された資産額と３人の債権者への負債額に応じて各人に返済すべき金額が示されている。資産が100である場合には負債額にかかわらず各人への返済額は33 1/3ずつである。資産が300の場合には各債権者への返済額は負担額に比例して50，100，150となる。しかし資産額が200である場合には，50，75，75，とすべきだというのがその解で，これはタルムート学者を悩ませた難題であった。しかしこの分配のルールは協力ゲームの解である仁（nucleolus）に等しくなることが解明されている。負債額が200であるか300であるかにかかわらず返済額が同一となる事情はつぎのように説明できる。すなわち資産額が200である場合には債権者２にだけ返済することと債権者３にだけ返済することはまったく同等である。また他の債権者を含めた場合にも彼

等２人の支払いは何等違いはない。その意味で債権者２と３は同じ立場にある（同じ特性関数をもつ）ことになり，仁は等しい。仁でなくとも特性関数に依存するゲームの解，例えばシャプレー値においても債権者２と３は区別されない。

破産問題と並んで，分配の公正の論理を明確に示す例に，オーマン＝クルツの最適課税問題の解がある（Aumann and Kurz (1977)）。課税率は結託ゲームのシャプレー値によって決定される。そのさい多数票を得たグループは，残りのグループに任意に課税できるが，少数グループは資産を破棄することができるとしてゲームが定式化される。

シャプレーの値を特色づける公理自身は自然なものであるが，ゲームの定式化において想定された２つのグループの行動とは異なる想定をすることも可能で，それによって別の課税ルールを導出することもできるであろう。

７．情報の経済学

情報の経済学についてはすでに多くの書物が公刊されており，それは現代経済学の共有財産となっている。そこでは情報を含む形での展開型ゲームにおけるナッシュ均衡が考察の対象となる。

経済主体間に情報の非対称性があると，完全競争市場のような意味での価格をシグナルとする市場が成立しなかったり，成立したとしても非効率になる。アカロフの分析した「レモンの市場」の逆淘汰（逆選択）という言葉がそれを表している。

また契約が結ばれてもその内容を十分に記すことができないと，情報をもつ主体（エイジェント）は努力水準を低下させ，情報をもたない主体（プリンシパル）に不利な結果をもたらすことになる。これがモラルハザード（道徳的危険）であって，保険加入者と保険会社や，使用人と雇い主，公企業と政府などの関係に典型的な例を見い出すことができる。

８．メカニズム・デザイン

公共財の「ただ乗り」もそれに似た問題を提供する。サミュエルソンがいうように，「ただ乗り」が可能なために公共財を供給しようとする私企業は存在しない。他方，コースの考えにしたがえば，経済主体の間で討議することによって，資源配分上のロスをなくすことができる。つまり公共財の生産と負担のルールはパレート最適をもたらす。

現代経済学では，この問題をうそをつくことをも含めて，個人が自分の望ましい公共財の量を提示し，それに応じて支払いを行うゲームとして分析される。その一例としてグローヴスの考えたメカニズムをあげることができる。

効用関数が準線型であるならば，それによってパレート最適な配分が達成される。一般にはパレ

ート最適は達成されないものの，何らかの望ましい性質をもつメカニズムを考案して，正の量の公共財が供給され費用負担が行われるようにすることが可能である。しかしキッバード＝サタスウェイトの定理が教えるように，あまりに多くの要求を探すと，そのようなメカニズムは存在しないことになる。どの範囲のことが可能かそうでないかについても多くの研究がなされている。それは新しい経済学の成果である。

メカニズム・デザインのきわめて興味深い応用例にオークションと入札の問題がある。ヴィックリーらによって先鞭をつけられたこの分野の研究は，美術品や骨董品のオークションや公共入札だけでなく，土地や住宅そして電波の周波数帯の売買にも実際に応用されてきた。古代の奴隷の売買やローマ帝国の国土のオークションにはじまる経済問題がこれまで十分な分析を与えられなかったのは不思議なことである。

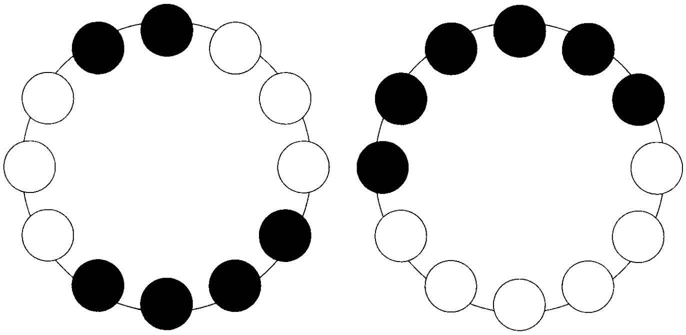
9．進化ゲームと組織の経済分析

ゲームは繰り返し行われることがある。そうすることでもとの一回限りのゲーム（段階ゲーム）のナッシュ均衡とは異なるナッシュ均衡が生じることになる。また段階ゲームが複数の均衡を持つ場合，プレイヤーがわずかな確率で誤った戦略を選ぶことがあるとすると，いくつかの均衡は，劣ったものとして排除されることがある。

そのようなゲームの例として，あるグループ内でのパソコン・ソフトの選択の問題を考えよう。全員が同じソフトを使用すれば便利であるが，そうでないと，互換性等の問題が生ずる。均衡はどのソフトを選ぶかでその数だけあるが，あるソフトは性能が劣ったものである。しかし誤って他のソフトを使用したときの利益が大きいと，劣った均衡から抜け出す可能性が生ずる。そして選択対象が少なく，過去の記憶が大きく影響をもつような場合には，パレート優位な均衡が実現することになる。ただし，例えばタイプライターの標準的なキーの配列（QWERTY）のように，多くのプレイヤーが慣れ親しんでいると，より効率的な配置があっても，それに移ることは難しくなる。

しかし場合によっては，初期条件が均衡の決定に大きな影響を及ぼすこともある。一例として，車の通行を左右いずれにするかという問題を考えてみよう。個人は左右いずれかを選ぶことができるが，他人の通行方向と異なると不都合が生ずる。その場合，より多くの出会う相手の行動に戦略を調整することが「進化」のルールである。このゲームでは，すべての個人が同一方向を選ぶことがナッシュ均衡である。いま各国が右側あるいは左側通行のルールを採択していたとする。国境で出会いが生ずると不便が生じ，どちらかの国のルールが採択される。ヨーロッパでは，ナポレオン戦争を期にフランスが現在の右側通行のルールをその占領地に広めていった。そしてそのルールは今世紀に入って東西各国に浸透していったのである。

他の例として，円形の道路に沿って並ぶ住宅が12軒あるとし，その屋根の色を選ぶゲームを考え



第 1 図

てみよう。ここでは自分の家の屋根と異なる色の２軒の家に挟まれた個人は不効用を感じ別の相手を見つけ引っ越しをするものとする。このゲームの均衡は沢山あるが，第１図にはそのような例の２つを図示してある。どちらが選ばれるかは歴史的偶然による（Young（2001）等を参照)。

現在の経済組織は，歴史的変遷の結果形成されたものである。そのどの部分が自然淘汰の結果としての進化によるものかは興味深い。経済制度の比較はそのような視点からも研究されている。

10. 完全競争市場の基礎について

ゲーム理論は完全競争市場の前提，とりわけそこで各個人が所与として行動する価格についていくつかの新しい視点を与えることができる。その代表的なものは次の３つである。

(a) コアの競争均衡への収束

異なる個人間効用の移転を前提としない n 人ゲームを考え，$N=\{1,2,\cdots n\}$ とおく。消費者 $i(i\in N)$ には初期保有 ω^i（l 次元のベクトル）を持ち，任意に結託 S（S は N の部分集合）を形成し互いに財を交換する。

いまある配分 $x=(x^1,\cdots,x^n)$ があって，S 内ですべての個人が満足する財の再配分が可能なとき，すなわち

$$\sum_{i\in S} x_i=\sum_{i\in S}\omega^i$$

となる x は達成可能であるという。達成可能であって，しかも $\tilde{x}^i>x^i(all\ i\ \mathrm{in\ S})$ となるような配分 $\tilde{x}=(\tilde{x}^1,\tilde{x}^2,\cdots\tilde{x}^n)$ があるとき，$\tilde{x}$ は S を通して x を改善するという（支配する，ブロックするともいう)。どのような結託によっても改善されない配分をコアという。この定義はさきのコアの概念を個人間の効用比較を許さない場合に拡張したものである。

エッジワースのボックス図で二つのタイプの人数が同数ずつ増えていくと，コアがワルラス均衡に収束するという命題はエッジワースの収束定理として知られる。この分析では，個人は任意に結託を組み，その間で自己の利益を求めて保有する財を交換する。そのさい共通の価格は最初は存在しないものの，収束先では均衡取引量の点での限界代替率としてその姿を現すことになる。

同様な結果が多数財・有限人の経済で一般に成立することはドブリュー＝スカーフ（Debreu and Scarf (1963)）によって確立された。またオーマン（Aumann 1964）は連続体の個人空間を仮定して，各タイプの人数が同数ずつ増加するという仮定を除いてエッジワースの収束定理を証明した。最近の文献については，Mas-Colell 他（1995）等を参照されたい。

なお財が分割可能でないと，コアは極限においても競争市場の結果を予想させないことがある。例えば 1 の成果を得るのに，各雇用者がただ 1 人の労働者のみを必要とし，n 人の雇用者と（$n+1$）人の労働者がいるケース（エッジワースの例）を想定しよう。この場合も各 n について 3 人投票ゲームの例のように，コア配分として各雇用者はすべての成果 1 を獲得できることになる。

(b) シャプレー値配分の収束定理

経済主体間の協力の成果が価値関数で評価されているとき，転移可能な効用について定義されていたシャプレー値は，個人間の効用比較を許さない場合にも拡張できることが知られている。そのとき，ある配分における各個人の効用がシャプレー値に等しくなるとき，それをシャプレー値配分と呼ぼう。オーマン＝シャプレーは効用関数の微分可能性とその他の自然な仮定の下に経済のワルラス均衡とシャプレー値配分が一致することを証明した。これも価格を別の仕方で導出したものとして興味深い。なおこの配分はウイクステイッドの完全分配の問題と関わりをもつものである。この点に関しては Makowski（1980）および Kawamata（1999）等も参照されたい。

シャプレー値はオーマン＝クルツによって過半数を得た集団が残りの集団の資産を獲得できるとして最適課税の問題の解明にも適用されることになった。そこでは少数派は資産を処分することが可能であるとしているためもあって，限界税率が 2 分の 1 以上というやや現実性を欠くものになっている。この点の定式化を変えれば，別の最適課税のルールも確立できよう。

(c) クールノー均衡のワルラス均衡への収束

n 個の企業が存在する寡占市場において，逆需要関数が例えば $p=a-bx$（p は価格，x は市場の需要量 a，b は正の定数），企業 i の費用関数が $C(x_i)=cx_i$（x_i は生産，c は正の定数）のように与えられているとする。このときのクールノー＝ナッシュ解に対応する産業の総生産量は $n(a-c)/(n+1)$ となる。また競争均衡（ワルラス均衡）は価格と限界費用が等しいとおくと，$(a-c)/b$ と求まる。この例では，n が十分大きいと，クールノー＝ナッシュ解はワルラス均衡に近づく。この結果は，さまざまな方向に一般化されうる。

各企業がそれぞれの価格を戦略変数として競争を行った結果であるベルトラン均衡は，企業の限界費用が共通で上のように与えられる場合，企業数が小さい場合でも競争価格を均衡に持つ。これはベルトラン・パラドックスといわれる現象であって，ナッシュ均衡はこの意味でも競争価格を出現させるのである。

11. 結び

ナッシュ均衡は，２人ゼロ和ゲームのミニマックス均衡を多数の個人間の非ゼロ和ゲームに拡張したもので，きわめて自然でしばしばきわめて強力な要請を課すものである。例えば２人ゼロ和ゲームではナッシュ均衡とミニマックス均衡は一致する。またきわめて広範なゲームにおいてナッシュ均衡が存在することが論証されている。しかしゲームによってはナッシュ均衡は多数存在することがあるし，そのうちのあるものは，めったに起こりそうもない状況を記述するものである。そのためナッシュ均衡の精緻化がおこなわれ，多くの均衡概念が考案された。その代表はゼルテンの部分ゲーム完全均衡やハルサニイ他に負う完全ベイジアン均衡である。

このような探索は今後も続けられるであろう。そして経済現象の本質を浮き彫りにした特色ある経済モデルの均衡も考案されねばならない。例えば労働市場のシグナリングモデルや保険の加入モデル等はその好例であろう。

ナッシュ均衡に依拠する分析の難点は，プレイヤーの数の多いゲームでは均衡を求めることが難しく，ときとして多くの無意味な均衡が含まれるということである。実験経済学はある意味でこのギャップを補うものである。また多数のプレイヤーのゲームでは各人が何を考えどのような推論を行うかは，きわめて複雑になりうる。この点を含めた基礎研究とナッシュ均衡を補足する概念の探求が望まれる。なお本稿で十分論じ得なかった問題のいくつかは以下の文献で補ってほしい。

（経済学部教授）

参 考 文 献

Aumann, R.J. (1964), "Markets with a Continuum of Traders", *Econometrica*, 32, 39-50.

Aumann, R.J. (1961), "The Core of Cooperative Games without Side Payments", *Transactions of American Mathematical Society*, 98, 539-552.

Aumann, R.J. (1975), "Values of Markets with a Continuum of Traders", *Econometrica*, 43, 611-647.

Aumann, R.J. and Hart, S (eds.) (1992, 1994, 2002), *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, Vols. I, II, and III, North-Holland, Amsterdam.

Aumann, R.J. and Kurz, M (1977), Power and Taxes *Econometrica*, 45, 1137-61.

Aumann, R.J. and Maschler, M. (1985), "Game Theoretic Analysis of a Bankruptcy Problem from the

Talmud", *Journal of Economic Theory*, 36, 195-213.
Aumann, R.J. and L. Shapley (1971), *Values of Non-Atomic Games*, Princeton, NJ, Princeton University Press.
Binmore, K. (1992), "*Fun and Games*", D.C. Heath, Lexington.
Debreu, G. and H. Scarf (1963), "A Limit Theorem on the Core of an Economy", *International Economic Review*, 235-46.
Dorfman, R., P.A. Samuelson and R. Solow (1958), *Linear Programming and Economic Analysis*, New York, MaGrawhill.
Gibbons, R. (1992), *Game Theory for Applied Economists*, Princeton University Press, Princeton
Kunio Kawamata (1999), "Optimal Entry and the Marginal Contribution of a Player", in Ahmet Alkan Charalambos D. Aliprantis and Nicholas C. Yannelis (eds), *Current Trends in Economics*, Springer, 233-254.
Makowski, L. (1980), "Perfect Competition, the Profit Criterion, and the Organization of Economic Activity", *Journal of Economic Theory*, 22, 222-242.
Mas-Colell, A., M.D. Whinston and J.R. Green (1995), *Microeconomic Theory*, Oxford University Press.
Nash, J.F. (1951), "Non-cooperative Games", *Annals of Mathematics*, 54, 289-295.
Osborne, M.J. and A.Rubinstein, A (1994), *A Course in Game Theory*, MIT Press, Princeton
Selten, R. (1975), "Reexamination of Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games," *International Journal of Game Theory*, 4, 25-55.
Selten, R. (1978), "Chain Store Paradox", *Theory and Decision*, 9, 127-159.
Shapley, L.S. (1953), "A Value for n-Person Games", in *Contribution to the Theory of Games Vol. II*, ed. by H.W. Kuhn and A.W. Tucker, Princeton, NJ Princeton University Press.
Shapley, L.S. (1971), Cores of Convex Games, *International Journal of Game Theory*. 1, 11-26.
Young, H.P (2001) *Individual Strategy and Social Structure*, Princeton University Press
鈴木光男 (1994),『新ゲーム理論』, 勁草書房