

ゲーム理論の発展とゲームの解

鈴木 光男

1. ゲーム理論の発展段階

1.1 第1期

ゲーム理論は現在第3の発展段階に入ったといえる。

第1期は von Neumann/Morgenstern による偉大な書物が出版され、ゲーム理論というパラダイムが成立してから、1960年までの17年間である。この時期はゲーム理論の創成期で、その初期のころはミニ・マックス定理の別証明やその一般化について、おびたしい論文が発表され、この方面の研究は今では convex analysis として数学の一分野になっている。

ゲーム理論としては、Nash による非協力 n 人ゲームの理論と交渉問題の解を与えたことが大きな業績である。この時代の成果としては

Contributions to the Theory of Games ;
Luce/Raiffa ; Games and Decisions,

が代表的なものである。

当初のゲーム理論に対する期待があまりに大きかったために、その反動として、50年代の終りごろは、ゲーム理論は現実の問題に対してはまったく無力であるといった批判が大勢を占めるようになっていた。

すずき みつお

東京工業大学 理学部 情報科学科

このころのゲーム理論の悪口が、日本では今でも定着していて、多くの人々は、この当時のゲーム理論をゲーム理論のすべてであると思いこんでいて、いろいろと見当違いの批判がまかり通っている。

1.2 第2期

第2期は1961年から1977年までの17年間とみることができる。この第2期は60年代と70年代との2つに分けられ、前期は理論面で、後期は応用面で大きく発展した。

沈滞したかにみえたゲーム理論が60年代に入って再び息をふきかえしたきっかけになったのは、1961年10月のゲーム理論のコンファレンスである。このコンファレンスによってゲーム理論はルネッサンスを迎えたといつてよい。

このルネッサンスのもとになったものの1つは59年の Contributions の vol. 4 にのった Shubik の「エッジワース市場ゲーム」で、彼はエッジワース型の交換市場を協力ゲームとして定式化し、その安定集合とコアを求め、エッジワースの契約曲線がコアと一致することを示した。それを受けて、このコンファレンスで、Scarf が経済学でいう完全競争市場の均衡とコアとがプレイヤーの数が非常に大きくなったときに一致することを示した。

また Aumann/Peleg によって別払(サイド・

ペイメント、手付ともよばれる)のない特性関数形ゲームが定式化され、それによるコアや安定集合の理論の基礎が与えられた。この形のゲームは経済学者によって精力的に研究され、今では数理経済学者の共有財産になっている。

第3には、Aumann/Maschlerによる交渉集合の解の概念が提示された。この理論はその後、カーネル、仁などの解の概念を生み、ゲーム理論に新しい側面を加えることになった。

第4には、Thrall/Lucasによる分割関数形ゲームの報告があったことで、この形のゲームによって、協力ゲームのリアリティがいっそう増大した。この研究の中から、Lucasによる安定集合が存在しないゲームが発見されたことも、大きな意味をもち、ゲームの解とは何か、さらには人間社会における問題の解とは何か、ということにより深い考察を与えることになった。

また、このコンファレンスとは関係はないが、Issacsの微分ゲームが発表されたのもこの時期で、1965年のことである。それ以後、微分ゲームという特別な分野が発達して、制御工学などをはじめ工学系の人々を中心にして盛んに研究されるようになった。

このように60年代は50年代とは違った形でゲーム理論は大きく発展し、学問としてその存在を確立したといえる。鈴木編「ゲーム理論の展開」はこの60年代の特性関数形ゲームについて紹介したものである。

70年代に入ると、その特徴は理論が具体的な問題に積極的に用いられるようになったことである。それは、政治、経済、社会、心理、などの社会科学、人文科学の分野、計算機科学、通信工学、制御工学、その他の工学の分野、生物学などの自然科学などの、ほとんどあらゆる分野にわたっている。ゲーム理論に関連する論文をすべてみようとすると、あらゆる分野の雑誌に目を通さなければならぬが、それは不可能といってよく、ごく一部の雑誌だけで、あきらめなければならぬ

い状態である。

1.3 第3期

第2期は1977年で終りと考え、1978年から第3期に入ったと考えたい。この年、ウィーンとボンとアメリカのコネル大学との3カ所でゲーム理論のシンポジウムが相いついで開かれた。大きなシンポジウムが1年に3回も開かれるというのは珍しいことで、ゲーム理論が新しい発展段階に入ったことを示している。ウィーンでの発表論文は文献[1]に、ボンでの発表論文は文献[3]にまとめられている。

日本のOR学会でも80年にゲーム理論のシンポジウムが開かれ、今回この特集が企画されたのも、わが国においてもゲーム理論が広く認められるようになったことの反映であると喜んでいる。

この第3期がどのような発展をとげてゆくかは、これからの問題であるが、世界的にみて、ゲーム理論の研究者の数が急速に増加しつつあるので、多方面においてその理論的研究が促進され、具体的問題のゲーム理論への応用も、より広い分野で盛んになることと思われる。

1.4 ゲーム理論発展の背景

このように、ゲーム理論が広く認められるようになったのは、まず第1には、ゲーム理論の理論的研究が進んで、さまざまな問題をゲームとして定式化する表現力やそれを分析する分析力が強力になり、また状況に応じた解の概念が多数提示されて、ゲーム理論の内容が非常に豊かになったことがあげられる。ゲーム理論は現在では、決してある1つの理論というわけではなくて、確率論とか幾何学とかいうのと同じ意味で、数学的科学の1つの分野である。

第2には、現実の社会の状況の変化があげられる。高度成長の時代には、何事も力まかせに押し進めてゆくことが、ある程度は可能で、その中に潜む矛盾もなんとかごまかすこともできた。

しかし状況は大きく変化した。サローの「ゼロ・サム社会」という本が、アメリカや日本でベストセラーになっていることが示すように、単純な極大化の原理による行動は不可能になってきている。人々は好むと好まざるとにかかわらず、ゲーム理論が力をそそいで考察してきたような状況に直面せざるを得ない。それはゼロ・サムとまではいわないまでも、そこでは限られた資源や富や所得の分配について、人々の利害は複雑に錯綜し、問題解決のためには今までとは異なる洞察や分析力を必要としている。

このような状況を記述し、分析し、何らかの解決を見い出そうとすれば、ゲーム理論がこれまで開発してきた概念や分析方法などが大きな役割をになうようになるのは自然の成り行きである。

おそらく今後、ゲーム理論の研究の重要性が増すことはあっても、それが減少することはないであろう。

2. ゲームのタイプ

ゲームは大別すると、(1)協力ゲーム、(2)非協力ゲーム、(3)その中間、の3つのタイプに分けられる。最も強い意味の協力ゲームはすべてのプレイヤーの間で十分な話し合いが可能で、いかなる行動をとるかを共同でとりきめ、それにしたがって行動するゲームである。最も強い意味の非協力ゲームは、いかなるプレイヤーの間でも、その取るべき行動について共同でとりきめることのできないゲームである。

実際の社会の場合には、このような強い意味での協力ゲームまたは非協力ゲームである場合は少ないので、それぞれの状況に応じて、その意味が弱められ、中間のケースも考えられる。また、協力ゲームを非協力ゲームの基礎のうえで考えると、いったいタイプの問題も当然生じてくる。

協力、非協力という日本語のイメージから、その内容を速断して、状況はそんなものではないといった批判をする人がしばしばみられるが、こ

で協力といっても、みんなで仲良くというわけでもなく、非協力といっても別に冷たい仲というわけではない。それはまったくの技術的用語で、しかも、広いスペクトルをもっている。またときには協力的戦略とか非協力的戦略という言葉も用いるが、これは協力ゲーム、非協力ゲームとは別の概念で、一般的な定義があるわけではない。

また、ゲームの表現形式には、展開形、標準形、特性関数形の3つの基本的形式があることはよく知られているが、現在では、それぞれに変化形があって、単純にこの3つの形式に帰着させることはできない。この特集の各論文も、古典的な形式からは、かなり変化している。

3. ゲームの解

これらのゲームの解とは何か、ということがまず第1の問題である。多くの人々はゲームの解というのを、碁やマージャンの必勝法のようなものと思っているらしいが、ゲーム理論の解とはそのようなものを意味するわけではない。

ゲームというのは、ある状況を一組のルールによって表現したものであるから、そこでまず考えることは、「このような状況に直面したとき、理性的なプレイヤーならば、どう行動するであろうか」ということである。

この考察から、ある状況のもとでの合理的な行動基準というものが導かれる。そして、そのゲームに参加しているすべてのプレイヤーが、この合理的行動基準にしたがって行動すると考えたとき到達すると考えられる状態が、このゲームの解である。

ゼロ和2人ゲームならば、合理的行動基準から導かれる行動原理はミニマックス原理であり、そこから得られる解がミニマックス戦略である。ゼロ和2人ゲームのような特殊な場合(ゲーム理論全体からみれば、それは基本的ではあるが、きわめて特殊なゲームであるにすぎない)を除けば、合理的行動基準をどう考えるかは、それほど簡単

なことではない。

そこで状況に応じて、さまざまな合理的行動基準が考えられ、それに応じて解の概念が定義される。

ある場合には解があり、ある場合には解がない。解がないということは、そこで設定された合理的行動基準をすべてのプレイヤーが満たすように行動しようとしても、それが可能な状態が存在しないということである。このことは設定された合理的行動基準が不合理であるというわけではなく、それが現実だということである。

この現実を克服して、何らかの解を求めようとするれば、合理的行動基準として設定されたものの再吟味が求められることになる。そこで新しい行動基準が設定され、それにもとづいて新しい解が定義され、その存在が検討されることになる。

また、解が存在したとしても、それがただ1つの状態に到達することを示すものとは限らない。すべてのプレイヤーがその状況のもとで、合理的と考えた行動基準にしたがって行動したときに、到達しうる状態が多数ある場合もまたしばしばありうるからである。

そのときに、到達する範囲をできるだけせめて、できたらただ1つにしたいと考えるのも、また当然で、そこからまた新しい解の概念が生まれることになる。

このようにして、非協力ゲームのさまざまなタイプの均衡点や、協力ゲームのコア、安定集合、交渉集合、仁、などの解の概念が生まれてきたのである。これらの多様な解の意味については、鈴木近著 [5] にくわしい。

したがって、われわれは次のようにして問題に接近してゆくことになる。いま、ある現実の問題があるとする。まず、この問題を規定しているルールを考え、どのようなゲームに表現するのが適当であるかを検討する。その結果、たとえば、非協力ゲームとして表現したとし、次にいかなる解をもって、このゲームの解とするかを検討し、た

たとえば、Nash 均衡が適切であると考えれば、その存在を証明し(存在が証明されなければ、別の考え方で最初から検討しなおす)、必要があれば、その点を求める。もし均衡点が複数個あれば、それぞれの均衡点がどのような事情を反映しているかを吟味する。そしてさらに必要ならば、完全均衡とか安定均衡とかいうより強意の均衡概念によって、均衡点をより少ない数に絞ることになる。

このように、さまざまな解の概念をもっていることによって、われわれの現実の理解がいつそう深まり、また、そこから行動の指針をより具体的に導き出すことができるのである。

しばしば、ゲームの解が存在しないことや一意でないことを、ゲーム理論の限界と批判する人がいるが、それは理論の限界とか欠陥とかいうものではなくて、現実の問題の困難さであり、現実の多様性の反映である。むしろ、現実の問題の困難さの源を指摘し、多様性を明らかにする分析力をもつところに、ゲーム理論のすぐれた特性があるというべきであろう。さらに、その困難を克服する力をもち得るところに、ゲーム理論の可能性の大きさをみることができる。

4. ある企業家の話

ゲーム理論を実際に応用しようとするさいに、筆者がしばしば受ける質問は、「相手の戦略とか、それによってきまる各プレイヤーの利得とか、提携を結んだときに得られる提携の値とかをどうやって知るのですか」ということである。

狭義のゲーム理論にとっては、「それはそれを応用しようとする分野の問題であって、ゲーム理論それ自体の問題ではない」といえないわけでもないが、この問題はゲーム理論を具体的な問題に適用する場合には、避けることのできない問題であり、これらをどう評価するかによって結果も違ってくる。

最近では、このようにゲームのルールを構成する要素についての知識が不十分な場合についての研

究が盛んに進められており、それなりの成果もあがっている。

しかし、この質問に対する最も印象深いコメントは、ある企業のトップが述べた次のような発言である。「今日ここで承ったような話(ゲーム的状况における企業戦略の決定)は、企業としては常時おこっている問題で、毎日それに対応しているようなものです。相手の戦略や利得や提携したときの値などは、企業家ならば常に念頭にあることで、それを知らなくては何もできません。だから企業家は常にそれについて何らかの見積りをもって行動しています。

重大な意思決定の局面に立ったときに、相手の戦略は何かといろいろ考えますが、局面が重大であればあるほど、とりうる戦略というのは限られてきますし、それは相手にとっても同じことなので、お互いのとりうる戦略と、それをとったときの利得や提携値も自然とみえてくるものなのです。

それが正確な値かどうかは判らない、というのが本当かも知れませんが、企業家としては、自分の見積りに自信をもって、それに賭けるしかありません。企業家の行動というのは、どんな場合でも賭なのです。不確実なものに賭ける勇気が企業家精神というものでしょう。すぐれた企業家というのはこの賭に勝つ企業家です。

賭に勝った企業家というのは、相手の戦略や利得や提携値についても適切に判断していた企業家であるということが後になって判ってきます。適切な見積りももたず、もったとしても、それに賭ける勇気のないのは、そもそも企業家としては失格なのです。企業家として失格のような人間には、どんな立派な理論でも猫に小判のようなものでしょう。」

このコメントはゲーム理論の精神を実によく表わしているといえる。このコメントの中には、リスクのもとでの意思決定として定義されたフォン・ノイマン-モルゲンシュテルン効用の本質がよく

示されているし、また混合戦略のもつ意味が企業家の精神として示されている。企業のトップで活躍している人は、普通に考えられている以上に合理的で、経験によってゲーム理論のもつ意味をよく理解することができる精神をもっているようである。

5. 日本におけるゲーム理論的研究

企業のトップにかぎらず、官庁などの幹部の考え方なども、きわめてゲーム論的である場合が少なくない。

林亜夫氏(筑波大学社会学系)が地方自治体の間における共同事業(消防、上下水道、ゴミ処理など)の費用負担の例を調査したところ、担当者の考え方や交渉の進め方など、きわめてゲーム論的で、その結果はゲーム理論のいくつかの解に対応していることが知られる。林氏は交渉過程でゲーム理論からの示唆があれば、それは非常に有効で、それによって、よりよい結論に、より速かに到達するに違いないと述べている。林[2]。

ゲーム理論は日本的でないという意見が時にみられるが、それはまったくの偏見であることは、先の企業家の話や林氏の調査の例からも明らかである。誤解や偏見は、ゲーム理論のもつ外観からきたのではないと思われる。

今回の特集に当っては、できるだけ具体的な、しかも、できるだけ日本の例を紹介したかったが残念ながらそれができなかった。林氏のは未完であり、そのほか、土木学会で応用例が発表されたことがあるときいたが、論文を拝見することができなかった。(このほかにも、筆者未見の例があるかと思うので、お知らせいただければ幸いである。日本におけるゲーム理論の事例集のようなものを編さんしたいと思っている。)

現在のところ、ゲーム理論の研究とその応用について、日本はいちじるしく後進的で、ほんの少数の努力によって、その理論的水準が保たれているにすぎない。(数少ない理論家の1人、中村健

二郎氏を失ったことは、日本の学会にとって大きな損失である。彼の遺稿集が[4]として出版されたが、この遺稿集は日本のゲーム理論の理論的研究が高い水準にあることを示している。）

ゲーム理論が新しい発展段階に入った今、日本でも、さまざまな分野でゲーム理論を専門に研究するところが多数生まれ、幅広い研究が進展することを切に願っている。このことは、単にゲーム理論それ自体の発展にとって願わしいというだけでなく、それと関連する分野にとっても、きわめて有意義なことであるに違いない。

参 考 文 献

- [1] Brams, S., Schotter, A. and G. Schwödiauer, (eds): Applied Game Theory. Physica-Verlag, 1979
- [2] 林亜夫；地方自治体の共同事業における意思決定—事務組合における費用負担分析，研究資料，1981
- [3] Moeschlin, O. and Pallaschke, D.(eds); Game Theory and Related Topics, North-Holland, 1979
- [4] 鈴木光男編；Game Theory and Social Choice—Selected Papers of Kenjiro Nakamura,；勁草書房，1981
- [5] 鈴木光男；ゲーム理論入門：共立全書，共立出版，1981年10月



●デジジョン・サポート・システム●

オープン会員制をとったところ約30名の参加を得て、4月に準備会、5月26日に第1回の部会を開催した。その際、全員参加の計画方式(SR手法を利用)をとって、2年間の目標の設定、実行計画案を練った。第2回目は6月27日に開催(於:地方自治情報センター)。8月は下旬にMITでDSSの研究を行なっている Meador 氏の来日の機会をとらえて会合を開いた。詳細は学会事務局あるいは、主査:松崎功保, 03(585)1195, 幹事:星孝雄, 0422(51)5181 ex. 599まで。オープン会員もあと数名募集中。

●環境システム●

- ・第4回 日時: 6月17日(水)18:00~20:00 場所: 日科技連 参加者: 3名 テーマ: 1)バイオ・リアクターについて(有水 疆) 2)生産計画におけるターンパイク定理について(小田中敏男)
- ・第5回 日時: 7月15日(水)18:00~21:00 場所:

日科技連 出席者: 4名

- (1) 林業における間伐について: 小田中敏男
ポントリヤギンの最大化原理を用いて、林業における間伐をバンバン制御としてとらえることを試みた。
- (2) バイオ・リアクター(II); 有水 疆
メタンガス発生機構を制御と同定として解決する方式を検討した。

●混雑現象と待ち行列●

- ・第1回 日時: 4月18日(土)14:00~17:00 場所: 東京工大(大岡山キャンパス)本館3階会議室 出席者: 23名 (1) 電話網における異常ふくそう現象
橋田 温(武蔵野通研)
災害等の要因による電話網の異常ふくそうの具体例とその対策法を論じた。
- (2) Q-GERT について 森村英典(東京工大)
ネットワーク構造をもつ確率システムの解析手法の1つである GERT とそれを模して作られたシミュレーション言語 Q-GERT を紹介した。
- ・第2回 日時: 5月23日(土)14:00~17:00 場所: 東京工大(大岡山キャンパス)南棟5階555号室 出席者: 18名 テーマ: 混雑現象に関する自由討論
混雑現象に対する従来の待ち行列モデルの正当性について、電話網や交通の具体的事例を中心に討議した。