

進化ゲーム論

秋山英三

システム情報工学研究科助教授

我々が住む社会には、二つの大きな特徴がある。一つは、各主体（我々）が他者との関係の中で生きているということ、もう一つは、各主体が自分が住む環境・社会に適応（学習・進化）しながら生きているということである。筑波大学社会工学類の「進化ゲーム理論」の講義では、主体（ミクロ）の適応が社会（マクロ）現象に及ぼす影響について様々な視点から検討する。この講義の核になるのは (1) 進化の理論 (2) ゲーム理論と進化ゲーム理論 (3) コンピュータシミュレーションである。

ゲーム理論

次のような状況を考えてみよう。

一ヶ月前、あなたは仲間と二人で重い罪を犯した。警察は、あなたと相棒を疑っていたが、証拠不十分のため逮捕できなかった。昨日、二人は軽い犯罪を理由に警察につかまった。あなたは相棒と別々の部屋に

留置され尋問を受けることになった。一ヶ月前の事件を自白させようとして、警察はあなたに次のように言った。

「このまま二人とも自白しなかったら、二人とも（軽い方の犯罪で）懲役2年だ。もし、あいつが自白せずにお前が自白したら、お前は釈放してやる。その時あいつは（自白しなかった罪も加えて）懲役7年だ。もし逆にあいつだけ自白したら あいつを釈放してお前は懲役7年だ。」

ところがこの警察の取引には続きがあって、実は、二人とも自白して重い方の罪を認めた場合、二人とも懲役5年になるのである。そして、相棒も警察から同じことを言われているということをあなたは知っている。さあ、あなたはどうするべきか？

以上は「囚人のジレンマゲーム」と呼ばれるゲームである。このゲームの利得を表にすると表1のようになる。

表1 囚人ジレンマゲームの利得表

		相棒の戦略	
		協力 (自白しない)	裏切り (自白する)
あなたの戦略	協力 (自白しない)	-2, -2	-7, 0
	裏切り (自白する)	0, -7	-5, -5

左：あなたの利得 右：相棒の利得

ある制約条件（環境）の下で目的関数を最大化（最小化）する解を探すことを「最適化」と言うが、我々が直面する問題の多くでは、表1のように、その目的関数自体が相手の意思決定によって変化してしまう。このような、「複数」の主体の意思決定の相互作用を取り扱うための言語・数学的枠組みのことを「ゲーム理論」という。人間社会や生物の集団では主体間の相互作用が本質であるため、ゲーム理論は経済学・心理学・社会生物学など幅広い分野で用いられている。

ゲームの解とプレイヤーの能力

ゲームの「解」が何であるか、その解が実現可能かは、プレイヤーの意思決定基準とプレイヤーの能力に依存する。表1の囚人ジレンマゲームの場合、相手の戦略にかかわらず自分は裏切った方が得である。この時、裏切りは「支配戦略」と呼ばれる。「支配戦略を選ぶという意思決定基準」を全プレイヤーが採用することを前提にした場合

に成立する解のことを「支配戦略均衡」という。一方、「他者の戦略に対する最適な反応を選択する」ということを全プレイヤーに対して要請した場合に実現する均衡状態のことを「ナッシュ均衡」という。いずれの場合もこのゲームの解は（裏切り、裏切り）となる。ただし、囚人ジレンマ以外のゲームも考慮すると、支配戦略均衡が存在しないゲームは数多くあるのに対し（表2はその一例である）、ナッシュ均衡は（確率戦略まで許容すると）全ての有限ゲームで必ず存在するという良い性質を持っている。ナッシュ均衡は、現在のゲーム理論で事実上のスタンダードとなっている解概念である。（なお、このゲームでは、各プレイヤーが合理性を追求すると裏切り合いという悲惨な結末を招くことになるが、この点が「ジレンマ」という名前の由来になっている。）

ここで注意したいのは、ナッシュ均衡を実現するためのプレイヤーの能力である。もちろん、囚人ジレンマ程度のゲームなら大した能力は要求されない。しかし、例えば将棋やチェスくらいの複雑さを持つゲームになると、ナッシュ均衡の「存在」は（こ

表2 支配戦略均衡がないゲームの例
ジュリエット

	サッカー	映画
サッカー	2, 1	0, 0
映画	0, 0	1, 2

左：あなたの利得 右：相棒の利得

の場合確率戦略まで許容しなくても) 証明可能だが、その解が具体的にどのような解であるかは現在のスーパーコンピュータを用いても我々が生きている間の時間で計算することはできない。つまり、存在は証明できても計算は不可能なのである。つまり、上記の「解」で議論されていることは、しばしば、理想的な推論能力を持ったプレーヤーが集まったときの「あるべき帰結」のことになる。

適応的プレーヤーと進化

一方、我々が日々直面する問題の中には将棋などより遙かに複雑な問題も多いし、我々が思考に使うことができる時間も有限である。そもそも、問題の全体像をいつも完全に把握できるわけでもない。では、現実のプレーヤー、つまり、我々自身のように情報取得能力にも計算能力にも限界があるプレーヤーは、限られた時間の中で、日々どのように意思決定をしているだろうか？

この問題に関しては、チェスに関する心理学の研究が参考になる。それによると、人間は、複雑な問題に遭遇するとそこにパターンを探し、そして外部環境のモデルを自分の中に作る。そして、そのモデルをベースとして推論・意思決定を行い、その結果をフィードバックしてモデルを日々アップデートする。つまり人間は、基本的には「帰

納的推論」を行い、それをベースとして「局所的な演繹的推論」を行う。例えば、将棋には「振り飛車戦法」「矢倉戦法」といったメジャーな戦法が数多くあるが、将棋をする人の多くはこれらの戦法のうちのいくつかをベースの戦法として局所的な推論をしながら将棋を指す。もちろん、上記の戦法は、将棋というゲームを完全に計算しつくして求めた「解」ではない。(過去に優れた戦法と思われていたものが現在は廃れてしまったという例も少なくない。)

人間がこのような思考形式を持つのは、一つには、有限の時間で複雑な問題に対処するのが演繹的推論のみでは不可能だからである。一方で、帰納的推論の場合、完璧は無理でも「ある程度」妥当な選択を有限の時間で行うことが可能である。

生物遺伝子の進化が帰納法の様式をしている理由もこのことと共通する。つまり、生物の進化にとって大事なものは、地球上の全環境の情報を漏れなく記述した問題を解くことではなく、身の回りの激動する環境の中で生き残ることである。遺伝子は、生物が生きるための戦略・アルゴリズムを記述しているが、ダーウィンが示したのは、「変異と遺伝と淘汰」という帰納的な戦略探索機構があれば戦略・アルゴリズムの進化(環境への適応)が可能であるということである。このことは、(DNA という物質

を離れて) 情報処理一般に関して成立する。例えば、会社の戦略や社会の文化なども、(1) 多様なアイデアの創出、それらの (2) 伝達・模倣、(3) 選択・淘汰のための機構が存在すれば進化しうる。人間が用いる文字や言葉は、特に、(2) の過程で重要な役割を果たす。(生物進化における DNA に対応する。) また、いわゆる「学習」も、人間の頭の中における情報処理モジュールの革新・淘汰の過程である。

本講義で扱うトピック

ここまで、「ゲーム」と「適応」について述べてきた。では、(理想的プレイヤーでなく) 適応的プレイヤーの集団がゲーム的状况に置かれたとき、どのような現象が起きるだろうか? 本講義のテーマはこのような「ゲーム的状况で適応的プレイヤーよってもたらされる帰結」である。

本講義では、以上のような問題意識の下で、次のようなトピックを扱う。

- (1) まず、進化論の概念を紹介し、進化論が社会科学・人々の思想にどのような影響を与えてきたのかをレビューする。
- (2) 次に、「ゲーム理論」、続けて「進化ゲーム理論」の概念と手法を紹介する。「進化ゲーム理論」はメイナード・スミスが生物の進化にゲーム理論を適用して生まれた理論であり、本講義の中心ト

ピックである。近年では経済学の方に逆輸入されるなど様々な分野で用いられるようになっていく。進化ゲーム理論のプレイヤーは演繹的推論を行わず「適応」する。

- (3) さらに、ゲーム論と進化ゲーム理論の比較を通じて「適応によって何が出来るのか」を数理的に分析する。例えば、前述の「支配戦略均衡」は適応によって実現するということが証明可能である。一方、「ナッシュ均衡」は、適応によって実現可能な場合とそうでない場合がある。
- (4) 適応の結果、均衡が実現されない場合に何が起こるのかについて、微分・差分方程式や、エージェントシミュレーションによる分析を紹介する。ここでは、協力の進化、群衆行動、マイクロレベルの揺らぎから生まれるマクロレベルの相転移などを取り扱う。

本講義では、以上のトピックを、具体例を通じて解説する。

この講義は社会工学類・社会経済システム専攻の専門科目として開講されているが、この講義で紹介する考え方・手法は社会経済現象のみに関係するものではないので、興味のある人は自分の所属にかかわらず授業を覗いてみて欲しい。

(あきやま えいぞう/進化ゲーム論)