

進化シミュレーション ～進化ゲーム理論

2006.5.31
M1 小宮あすか



発表概要

- 理論的背景
 - ゲーム理論(特に進化ゲーム)とは何か？
 - 佐伯・亀田(編)(2002)進化ゲームとその展開より
- 方法
 - 何が必要なのか？具体的には？
- 具体的研究例
 - 心理学におけるシミュレーションと、その意義
 - 上田・渡部・大谷(2005)第1シミュレーション



Game Theory.

特に進化ゲームについて



はじめに

- 石はいつも同じように落ちる
 - 重力の法則に従って
- 人はいつも同じように行動する
 - ???
- ゲーム理論(特に進化ゲームの理論)は、生物や人間の行動にも、一般的な法則(それも数理的に表現できる)があることを明らかにする
 - 水が低きに流れるがごとく



1、個人の行動を理解する



- Aさんは、通勤するのに駅まで(a)という最短経路を選んでいる(事実記述:19世紀「制度学派」「博物学」)
 - もちろん、Aさんは自由意志によってときどき遠回りをするかもしれない...石と同じように説明できない理由
 - しかし、体は次第に楽なほう、最短経路(a)にひきつけられていくだろうと予測できる

ある種の人間行動は機械的ではなくともある種の法則性がある

$$\max u(x)$$

…利得(効用) $u(x)$ を x について最大化する(最適化問題)

- では、どうやってAさんは $\max u(x)$ を解いたのか？

(1) 合理的推論

- 利得(効用)最大化の経路をとる
- Aさんは、あらかじめさまざまな通勤路の距離を抜け目なく計算して比較検討し、一番短いものを選んだ。
- たぶん、そんな面倒なことは普通はやらない。
 - 限定合理性の問題(Simon, 1947)
 - あるいは、効用の問題(Shimizu, 2005)
 - 効用では説明にならない？



(2) 淘汰 (生物進化・模倣・経済競争)

- Aさん宅をオスの居場所、駅をメスの居場所として考えてみる
 - メスの居場所まで早くたどりついたものだけが子孫を残せる
 - 遺伝子レベルで、最短距離をとる子孫が増えていく
- しかし、必ずしも生物自身が“ $\max u(x)$ ”を解いているわけではない
 - 植物さえもこの問題を「解く」
 - あたかも解いているように見えるだけ



(2) 淘汰 (生物進化・模倣・経済競争)

- 人間社会では模倣も働く
 - 誰かが(a)が有利なことに気づくと、皆が真似る
 - 遺伝子レベルではなく、後天的なレベルで広がる
- 経済競争も働く
 - ビザRのほうが早く届くのであれば、遅いビザHには注文が入らなくなり、やがて潰れる
- 共通するのは同じ問題に直面する個体・個人がたくさんいる状況で、なんらかの役に立つものが生き残るという考え方

(3) 学習

- 探索・実験を繰り返し、過去の経験のなかからよりよい方向に行動を修正していくという考え方
 - Aさんはさまざまなルートを試してみて、(a)ルートを発見した
 - バスのエンジンを交換するタイミング(Rust, 1987)
 - 確率的動的計画法でしか求められない最適解を、バスの運転手は「長年の勘」で解いた



ここまでのまとめ

- 生物・人間の行動の中には、数理的な法則性のあるものがある。
- 個人の行動には、最適化という法則が、進化・模倣・学習などのメカニズムを媒介してはたらいっている可能性がある。
 - 計算はしていないかもしれないが、そう見える。
 - いったん最適化された状態に到達しても、自由意志や様々な要因によって、そこからはずれることも十分あり得る。

2. 現代ゲーム理論の誕生

- このメカニズムを社会・集団に当てはめて、さまざまな事象を理解しようとする動きが現れた
 - 各個人が合理的に行動すれば社会全体の利益も最大化する(「合理的期待・シカゴ学派」1970年代)
 - 別の社会状態のほうがよければ、遅かれ早かれ全員一致でそちらに移るはず
 - 狼の争いの儀式化が狼に見られるのは、それが種の繁栄を最大化するから(「動物行動学」)
 - 実際に争う狼と適度に争わない狼がいれば、生き残るのは争わない狼のはず

2. 現代ゲーム理論の誕生

1. 最適化の法則が個人に働くように、社会・集団にも働くはずだ。
2. 現状は過渡期or最適解である。 ???

- 現実には、社会・集団が、全体の利益が損なわれている状態に陥っているようなケースは、たくさんある。
 - 最適化に落ち着く前の過渡期? 早晩解消される?
- さらに、「現状はすでに最適の状態であって、改革する必要はない。」という保守的・反動的な社会思想と結びつき、害悪をもたらす可能性がある。
 - この考え方は、捨てるべき?



2. 現代ゲーム理論の誕生

- どこが間違っていたのか？
- Aさんの通勤に「通勤の混雑」という視点をいれて考え直してみる。



2. 現代ゲーム理論の誕生

- Aさん宅は実は団地であって、大勢の住人が駅に向かう
- (a)ルートは確かに最短だが、みんながaを通ると混雑して前に進めず、かえって少し遠回りするほうが速く着く
- これに気づいた人々は(b)へ移動するが、今度は(a)を使う人々が減ると混雑が解消される
- 結局、(a)を通る人も(b)を通っても同じくらいの時間で駅に着くようになるから(b)への路線変更は終わる
 - (a)と(b)以外の第3の道が大幅に時間がかかってしまうとすれば、他に路線変更する人は現れず、通勤路の選択は安定状態に落ち着く

ナッシュ均衡



2. 現代ゲーム理論の誕生

- 数式は省きますが、誰か1人が均衡と違った行動をとった場合の彼の利得は、必ず均衡よりも大きくなるということがナッシュ均衡の式
 - 個人個人が最適化の式に従うと、行き着く先はナッシュ均衡である。
 - では、ナッシュ均衡は社会全体の利益を最大化しているか？



2. 現代ゲーム理論の誕生

- 均衡状態では30人の人がbを通っているとして、そのうちの1人が他の道を通ることを考える
 - 彼は5分だけ余計にかかるが、他の人は混雑が緩和され1分速く着く
 - 社会全体の通勤時間の緩和は、24分節約できる
- ナッシュ均衡は、必ずしも社会を最適化しない!
 - 過ちの原因は、各人の行動が他人に与える損害や利益について見落としていたことにある。



2. 現代ゲーム理論の誕生

1. 最適化の力は、集団そのものではなくそれを構成する個々人に対してはたらく。
2. したがって、「自分にとって得だが他人にとっては大損」な行動をしたり、「自分にとって損だが他人にとって得をする」行動をしなかったりする。
3. その結果、社会がひきつけられていく先は、社会全体の利益は必ずしも最大化されない。



ゲーム理論の基本問題

- 孤立した個人の最適化問題は、
$$\max u(x)$$
- 社会における個人の最適化問題は、
$$\max u_i(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$$
- 自分にとって何が最適かは、他人が何をやるかに依存しており、各人に最適化の圧力が加わるとき、行き着く先は自明ではない。

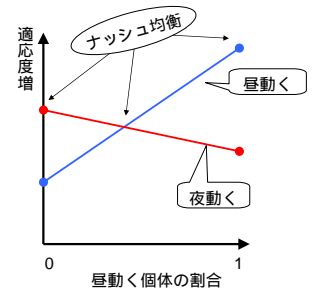
ゲーム理論の基本問題 byノイマン & シュテルン

ゲーム理論の中心教養

- ひとつの回答は、「全体の利益を最大化する点」
- 現代の回答は、「ナッシュ均衡に行き着く」
 - 行き着いた点があるとすれば、という前提がつく
 - どういった場合に均衡に行き着くのか、調整の過程で何が起るのか、均衡が多数ある場合にはどこに行き着くのか、調整過程としてどんなものが現実的に考えられるか、などといった研究課題が出てくるこれが進化ゲーム理論の基本的研究課題

ESS (Evolutionarily Stable Strategy)

- 例えば、ある動物の行動戦略として、昼間活動するか夜活動するかの2つがあり、遺伝で決まっているとすると
 - さらに、集団で身を守る必要があり、他と違った時間帯で活動するのが危険だと考える
- さて、この動物の戦略と適応度はどうなるだろうか？



ESS (Evolutionarily Stable Strategy)

- 進化的に安定的な戦略
 - 要するに、「突然変異の侵入を跳ね返す局所的な安定性を持った、特別なナッシュ均衡」
- 実際の数式を解くと、ナッシュ均衡は様々な点に存在する
 - その中には不安定なものも安定なものも存在する
 - 不安定なものは、やがて安定的なナッシュ均衡へと収束する
 - 必ずしも、単一の戦略・割合に収束するわけではない
 - 社会の多様性を説明できる可能性がある

進化ゲーム理論のまとめ

- 生物・人間の行動の中には、数理的な法則性のあるものがある。
- 個人の行動には、最適化という法則が、進化・模倣・学習などのメカニズムを媒介としてはたらいっている可能性がある。
 - 最適化とは、何かに(生存に)役立つということである。
- その結果、安定的なナッシュ均衡に落ち着くことがある。
 - ESS (Evolutionarily Stable Strategy) に落ち着く。

Methods.

シミュレーションについて

シミュレーションとは？

- シミュレーション = 模擬実験
 - 実際に映画セットみたいなものを作って船が転覆しないかどうかを確かめるのも(実物を使った)シミュレーションと呼ぶ
- 実物ないしシンボリックなモデルを、条件(パラメータ)を決めて実験する by 高木先生
 - もちろん実物の進化シミュレーションなどできないので、ここでは数理的なモデルを考える

わかりやすいシミュレーション例



- シミュレーション・デモ
 - 注意:「進化」ではありません
- 高木先生のHPにて、「**何かのついでに最近作成したデモプログラム**」の**後者のほうをクリック**
保存、ダブルクリック
- http://homepage1.nifty.com/eiji_takagi/research/demos/index.html

わかりやすいシミュレーション例



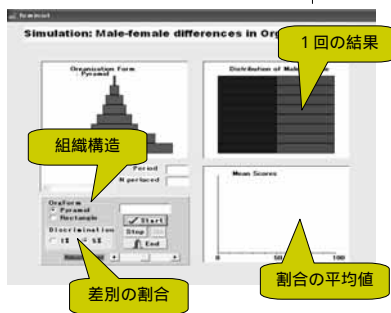
- 女性が働きにくいのはなぜか？
 - パフォーマンスには差がないのに？
 - 偏見も是正されてきているのに？
 - 2つの社会的要因
 - ピラミッド型の社会構造
 - パフォーマンスのよい人がトップに上り詰める
- やってみよう！

わかりやすいシミュレーション例



シミュレーションの中身

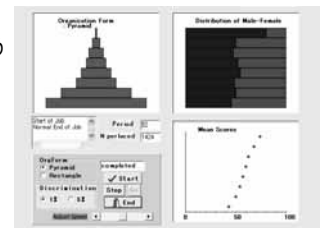
- 500人の組織で、高い得点を持っている人が上へ行く資格を持つ
- 上へ行く人は、資格を持っている人の中からランダムに選ばれる
- 男性も女性も得点は正規分布に従う
 - が、男性に評価を少し上乗せする



わかりやすいシミュレーション例



- 結果:ピラミッド型構造では、1%の偏見ですら、女性は下層部に多く、上層部に少なくなる
 - ピラミッド型でなければ、こうはならない
- 進化シミュレーションについては、次の具体例でもう少し詳細に説明します



進化シミュレーション 使用例



進化シミュレーション



- では、進化シミュレーションとは何か？
 - 先の進化ゲーム理論を応用し、どこに均衡(ESS)が存在するかをシミュレーションによって求める
- 具体的には、
 - エージェント(仮想世界における「個人」)間の相互作用によって利得が決定し、残るのが決定される
 - 利得の低いエージェントは「淘汰」され、
 - 利得の高いエージェントは自分と同種のエージェントを増やす
 - ある低い確率で突然変異体(新しい意思決定戦略を持ったエージェント)が発生する
- 学習・模倣・進化によって、有利なものが生き残る世界を、仮想空間内に模倣的に作り出す

進化シミュレーションを行うには？



- モデル&数式が必要
 - 戦略と確率と利得を数式化する必要がある
- PC&ソフト(あるいは根性)が必要
 - 基本的にはひたすら計算を行うだけなので、計算できるソフト(と技術と時間)さえあれば可能
 - 計算用ソフト(エクセル、Mathematica、MATLABなど)
 - シミュレーション専用ソフト(Stellaなど)
 - 汎用言語(要するにプログラミング、Java、C、など)

上田・渡部・大谷(2005)



- ここからは、どのように進化シミュレーションが使われているのかを具体的に検討する
 - シミュレーションの利点
 - シミュレーション使用上の注意
- 配布資料は、去年の社心で実際に使われたポスター

上田・渡部・大谷(2005)



- 例えば、教室の掃除に協力しないA君に、ノートを貸してと頼まれました。あなたはノートを貸しますか？
- ゲーム連結: あるゲームでプレイヤーが行動を決定する際に、異なるドメインでプレイされる別種のゲームでの相手の行動を参照すること
 - 水路を作るのに協力しなかったら、村八分にあう
- ゲーム連結は、本当に社会を共栄状態に導くか？
 - 経済学者・青木(2001)のアイデア

上田・渡部・大谷(2005)



- Agentは800人で、SD NPDを20回繰り返し、1世代とする
 - 各戦略の得た得点比率に応じて、次世代の戦略割合を決定する(「淘汰」の考え方)
 - それを800世代繰り返す
 - 世代交代時に、2.5%が突然変異としてランダムに戦略決定をする(ESSの安定性)
- パラメータ(用語説明)・・・各エージェントに割り当てられた数値と数式
 - NPD・・・Network型 囚人のジレンマ(4戦略)
 - SD・・・社会的ジレンマ(4戦略)
 - Goodness・・・あらかじめ持っている固定的数値
 - 高い人(0.8-1.0)と低い人(0.0-0.2)が存在

上田・渡部・大谷(2005)



- 大雑把な結果としては、NPD得点比率が高いときには、無条件非協力者が排除され、共栄状態が導かれる
 - NPD得点比率が低いときには、非協力者が暗躍する混沌に陥り、共貧状態になる
 - NPDで、ゲーム連結者は無条件協力者と協力し、無条件非協力者とは協力しない
- 個人的サンクションが有効な条件で、連結ゲームは社会を共栄状態に導くことができる
 - テスト前にノートを貸さないということがわかっていれば、A君は掃除をする・・・かもしれない
 - その場合、ゲーム連結戦略は適応的

上田・渡部・大谷(2005)



- シミュレーションの利点
 - ミクロ-マクロの相互作用という、現実では確かめにくいことを検証できる
 - 青木(2001)のアイデアは、個人の行動戦略というミクロな現象が、社会の共栄というマクロな現象を導くということ

上田・渡部・大谷（2005）



- シミュレーションの使用上の注意
 - シミュレーションは思考実験であるということ
 - 例えば、Nowak(2005)では、UCを「**自分の評判を気にして相手が悪いことした人でも協力する社会にとって悪い人**」と捉え、上田・渡部・大谷(2005)では、UCを「**無条件に相手に協力し、共栄状態を導くいいひと**」と捉える
 - 恣意的なパラメータに依存するときもある
 - 数字が意味しているものが何なのかは、より具体的に実証研究が必要だったりもする(特に心理学者などは)

全体的な使用上の注意



- 直角三角形の斜辺を求めるためには、二辺の長さ、ピタゴラスの定理が必要。
計測なき理論の暴走とならないように
 - なんでもかんでもゲーム理論で説明するのではなく、データありきの上で論理を組み立てていくべき
厳密な思考実験でなくては意味がない
 - 論理的必然性を含まなくては、研究の意味がない
- 正しい用法を守って、理論を使いましょう。

引用文献等



- 青木昌彦(2001) 比較制度分析に向けて. NTT出版
- 神取道宏(2002) 第1章 ゲーム理論と進化ゲームがひらく新地平.
佐伯胖・亀田達也(編)進化ゲームとその展開. 共立出版.
- Martell, R.F., Lane, D.M. Emrich, C. (1996) Male-female difference: A computer simulation. *American Psychologist*, 157-158.
- 大園博記(2005) 進化シミュレーション. データ解析演習レジュメ
- 高木英至 http://homepage1.nifty.com/eiji_takaqi/esp/index.html
- 上田祥行・渡部幹・大谷めぐみ(2005) ジレンマにおけるゲーム連結. 日本社会心理学会第46回大会ポスター発表