

# 講義 7: 進化ゲーム

# 内容

1. 囚人のジレンマ
2. 戦略の均衡
3. 反復囚人のジレンマ
4. 協調関係の発現と進化

## 1. 囚人のジレンマ

| プレーヤ $P_1$ \ プレーヤ $P_2$ | 協調               | 裏切り              |
|-------------------------|------------------|------------------|
| 協調                      | $(R = 3, R = 3)$ | $(S = 0, T = 5)$ |
| 裏切り                     | $(T = 5, S = 0)$ | $(P = 1, P = 1)$ |

(プレーヤ  $P_1$  の利益が左側に記されている)

一般には  $T, R, P, S$  の値は  $T, R, P, S$  は  $T > R > P > S$  および  $R > (T + S)/2$  という2つの制約を満たせば何でもよい。

## 2. 戦略の均衡

各プレーヤが自己の利益を最大化しようとするとき、(裏切り, 裏切り) という両プレーヤの戦略の組で均衡することがゲーム理論的分析により分かっている。

⇒ ケース解析による行動決定 (相手の戦略にかかわらず, 自分の利益を高める選択)

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (1/11)

- 協調を回復するための方法: そのゲームを 1 回より多く行う  
もしも敵と再会することがわかっているならば, 裏切ることへの  
動機付けは消えそうになる
- 無限回繰り返す囚人のジレンマゲームでは, 協調は合理的選  
択となる

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (2/11)

- 後向き帰納推論 (backward induction)
  - 両エージェントがゲームを厳密に  $n$  回行うことを知っている  
と仮定する。  
 $n$  ラウンドでは、どちらもよりよい利得を得るために裏切る  
ことに動機を付けを持つ。  
しかし、これにより  $n - 1$  回目が本当の最後のラウンドと  
なり、ここでもまた裏切ることに動機を付けを持つ。  
これが後向き帰納推論の問題である。
  - 囚人のジレンマを、事前に決められた固定有限回数繰り返  
す場合で、それが双方に共通にわかっている場合、裏切り  
が最良の戦略となる。

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (3/11)

- 繰り返し囚人のジレンマをいろいろな敵と行うことを考える。自分の全体の利得を最大化するためには、どの戦略を選ぶべきか？
- Axelrod は、この問題を調べるためにプログラムで対戦するコンピュータトーナメントを開催した [Axelrod84]

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (4/11)

- 反復囚人のジレンマコンピュータ選手権 [Axelrod84]

| 順位 | 氏名                           | 専門        | プログラム<br>ステップ数 | プログラムの性質      | 平均<br>得点 |
|----|------------------------------|-----------|----------------|---------------|----------|
| 1  | An. Rapoport                 | 心理学       | 4              | 上品で手応えがあり心が広い | 504.5    |
| 2  | N. Tideman<br>& P. Chieruzzi | 経済学       | 41             | 上品で手応えがあり心が広い | 500.4    |
| 3  | R. Nydegger                  | 心理学       | 23             | 上品で手応えあり      | 485.5    |
| 4  | B. Grofman                   | 政治学       | 8              | 上品で手応えあり      | 481.9    |
| 5  | M. Shubik                    | 経済学       | 16             | 上品で手応えあり      | 480.7    |
| 6  | W. Stein<br>& Am. Rapoport   | 数学<br>心理学 | 50             | 上品で手応えあり      | 477.8    |
| 7  | J. Friedman                  | 経済学       | 13             | 上品だが怨み骨髓      | 473.4    |
| 8  | M. Davis                     | 数学        | 6              | 上品で手応えあり      | 471.8    |



### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (5/11)

- 反復囚人のジレンマコンピュータ選手権 [Axelrod84]

| 順位 | 氏名           | 専門                      | プログラム<br>ステップ数 | プログラムの性質              | 平均<br>得点 |
|----|--------------|-------------------------|----------------|-----------------------|----------|
| 9  | J. Graaskamp | 心理学<br>社会学<br>数学<br>経済学 | 63             | 収益最大化原理<br><br>卑劣な試し屋 | 400.7    |
| 10 | L. Downing   |                         | 33             |                       | 390.6    |
| 11 | S. Feld      |                         | 6              |                       | 327.6    |
| 12 | J. Joss      |                         | 5              |                       | 304.4    |
| 13 | G. Tullock   |                         | 18             |                       | 300.5    |
| 14 | Anonymous    |                         | 77             | でたらめ                  | 282.2    |
| 15 | Random       |                         | 5              |                       | 276.3    |

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (6/11)

| P1 \ P2 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 平均<br>得点 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|         | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |     |          |
| 1       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 595 | 600 | 600 | 504.5    |
|         | 597 | 597 | 280 | 225 | 279 | 359 | 441 |     |          |
| 2       | 600 | 596 | 600 | 601 | 600 | 596 | 600 | 600 | 500.4    |
|         | 310 | 601 | 271 | 213 | 291 | 455 | 573 |     |          |
| 3       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 595 | 600 | 600 | 485.5    |
|         | 433 | 158 | 354 | 374 | 347 | 368 | 464 |     |          |
| 4       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 594 | 600 | 600 | 481.9    |
|         | 376 | 309 | 280 | 236 | 305 | 426 | 507 |     |          |
| 5       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 595 | 600 | 600 | 480.7    |
|         | 348 | 271 | 274 | 272 | 265 | 448 | 543 |     |          |
| 6       | 600 | 596 | 600 | 602 | 600 | 596 | 600 | 600 | 477.8    |
|         | 319 | 200 | 252 | 249 | 280 | 480 | 592 |     |          |
| 7       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 595 | 600 | 600 | 473.4    |
|         | 307 | 207 | 235 | 213 | 263 | 489 | 598 |     |          |

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (7/11)

| P1 \ P2 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 平均<br>得点 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|         | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |     |          |
| 8       | 600 | 595 | 600 | 600 | 600 | 595 | 600 | 600 | 471.8    |
|         | 307 | 194 | 238 | 247 | 253 | 450 | 598 |     |          |
| 9       | 597 | 305 | 462 | 375 | 348 | 314 | 302 | 302 | 400.7    |
|         | 588 | 625 | 268 | 238 | 274 | 466 | 548 |     |          |
| 10      | 597 | 591 | 398 | 289 | 261 | 215 | 202 | 239 | 390.6    |
|         | 555 | 202 | 436 | 540 | 243 | 487 | 604 |     |          |
| 11      | 285 | 272 | 426 | 286 | 297 | 255 | 235 | 239 | 327.6    |
|         | 274 | 704 | 246 | 236 | 272 | 420 | 467 |     |          |
| 12      | 230 | 214 | 409 | 237 | 286 | 254 | 213 | 252 | 304.4    |
|         | 244 | 634 | 236 | 224 | 273 | 390 | 469 |     |          |
| 13      | 284 | 287 | 415 | 293 | 318 | 271 | 243 | 229 | 300.5    |
|         | 278 | 193 | 271 | 260 | 273 | 416 | 478 |     |          |

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (8/11)

| P1 \ P2 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 平均<br>得点 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|         | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |     |          |
| 14      | 362 | 231 | 397 | 273 | 230 | 149 | 133 | 173 | 282.2    |
|         | 187 | 133 | 317 | 366 | 345 | 413 | 526 |     |          |
| 15      | 442 | 142 | 407 | 313 | 219 | 141 | 108 | 137 | 276.3    |
|         | 189 | 102 | 360 | 416 | 419 | 300 | 450 |     |          |

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (9/11)

- 最強戦略「しっぺ返し」(TIT-FOR-TAT)

初回は協調し，次からは相手が前回とった行為を選択するという戦略

1. ラウンド  $u = 0$  では協調
2. ラウンド  $u > 0$  では  $u - 1$  ラウンドの敵の戦略を真似る

- しっぺ返しの特徴

**上品である**：相手が裏切らない限り自分から裏切ることはない

**手応えがある**：相手が一度裏切ると，その次の回に必ず報復する

**心が広い**：相手が裏切った後でも改心して協調にもどれば，それ以降は自分も再び協調する

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (10/11)

- 諸戦略の性質，対戦特性

**上品さ**：高得点と低得点の分かれ道．成績上位の8つのプログラムはどれも上品

**収益最大化原理**：キングメーカー．相手に報復の気配が見えないときには，徹底して裏切って食い逃げを決め込み，逆に報復の気配が見えるときは，こちらも協調するもの．泥試合になる可能性がある

**心の広さ**：泥試合の回避．収益最大化原理に基づく戦略と対戦した場合に泥試合になることを避ける

**相手を試す卑劣さ**：ときおり裏切って食い逃げしようと策動する卑劣な戦略．しっぺ返しと対戦すると裏切りの応酬を呼び起こすことがある

### 3. 反復囚人のジレンマゲーム (11/11)

- 反復囚人のジレンマゲームにおける教訓
  - 相手から搾取する可能性を放棄
  - 相手に対して分かりやすい行動をとる
  - 互いに泥試合に陥る事態を極力避ける

## 4. 協調関係の発現と進化 (1/4)

- 仮想的な生態学的実験からの考察 [Axelrod85]
- 協調関係が発現する必要条件

囚人のジレンマにおいて協調関係が発現する必要条件は

1. ゲームが繰り返し行なわれしかもその回数が双方に分からない
2. 未来係数 (次回の利得が前回に比べて値引かれる度合) が十分に大きい

しかしながらこれは十分条件とはならない。



## 4. 協調関係の発現と進化 (2/4)

- 囚人のジレンマコンピュータ選手権に参加してきた戦略による仮想的な生態学的模擬実験
- 1回の総当たり戦を終えた後に、各戦略の得点に比例して次回(生態学的には次世代と考えてよい)の総当たり戦における各戦略の参加者の比率を変える。これを何世代も繰り返して行ない、戦略の勢力図がどのように変化するかをみる

⇒ ESS(Evolutionarily Stable Strategy)[Maynard-Smith74]

## 4. 協調関係の発現と進化 (3/4)

- 生態学的模擬実験の結果と解析

### グラフ参照

- 「上品で手応えがあり心が広い」戦略は 1000 世代目にはほぼすべてを占めた
- 1 回の総当たり戦における下位 1/3 の戦略は 50 世代でほぼ消滅した
- 「弱いもののいじめ」戦略は、世代が進むにつれて自分が成功するのに必要な弱者を滅ぼしてしまい、結果的には自滅の道歩んだ

## 4. 協調関係の発現と進化 (4/4)

- 協調関係が進化する段階

協調関係が繁栄するためには，その集団にいる最初は少数の協調戦略者たちが，しばらくの間，一丸となって内輪つき合いを行わなければならない

第1段階: 最初は，まわりが無条件に裏切りを繰り返すただ中で，協調関係を始める (内輪つき合い)

第2段階: やがて，互惠主義に基づく戦略は，他の多くの戦略に競り勝って栄える

第3段階: 互惠主義にもとづく協調関係がひとたび足場を築いてしまうと，協調的でない戦略の侵入を阻止できる (ESS への到達)

## 参考文献

[Axelrod84 ] Axelrod, R. (1984) *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York.  
(邦訳: 松田裕之訳, 「つきあい方の科学」, HBJ 出版局)

[Maynard-Smith74 ] Maynard Smith, J. (1974) “The Theory of Games and the Evolution of Animal Conflict”, *Journal of Theoretical Biology* 47:209–21.