意思決定科学
ゲーム理論2
非協力非零和ゲーム

堀田敬介

2018/11/13,Tue. ～

Contents

2人非協力非零和ゲーム

- **Example**：
  - プレイヤーは**A**と**B**の**2**人
  - 各プレイヤーは，独立に自分の戦略を決定（非協力）
  - プレイヤーの利得の和は一定とは限らない（非零和）
  - 純粋戦略の数は有限

$N=\{A, B\}$

$S_i=\{s_{i1}, s_{i2}\}, (i=A,B)$

$S_A=\{s_{A1}, s_{A2}\}, S_B=\{s_{B1}, s_{B2}\},$

$f_i : S_A \times S_B \to R, (i=A,B)$

$f_A(s_{A1}, s_{B1}) = 2$ + $f_B(s_{A1}, s_{B1}) = 3$ $\neq 0$
$f_A(s_{A1}, s_{B2}) = -1$ + $f_B(s_{A1}, s_{B2}) = -2$ $\neq 0$
$f_A(s_{A2}, s_{B1}) = -2$ + $f_B(s_{A2}, s_{B1}) = -1$ $\neq 0$
$f_A(s_{A2}, s_{B2}) = 1$ + $f_B(s_{A2}, s_{B2}) = 1$ $\neq 0$

A，Bの利得表

A＼B	s_{B1}	s_{B2}
s_{A1}	(2, 3)	(-1,-2)
s_{A2}	(-2,-1)	(1,1)

2人非協力非零和ゲーム

- 双行列ゲーム
  - 利得関数

和が零（一定）という条件はない（非零和）

$$\forall i, j, \quad f_A(s_{A_i}, s_{B_j}) = a_{ij}, \quad f_B(s_{A_i}, s_{B_j}) = b_{ij}$$

  - 利得行列

$$\boldsymbol{A} = [a_{ij}], \ \boldsymbol{B} = [b_{ij}]$$

プレイヤーBの戦略（n個）の利得（右側）

プレイヤーAの戦略（m個）の利得（左側）

双行列

$$\begin{bmatrix} (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) & \cdots & (a_{1n}, b_{1n}) \\ (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) & \cdots & (a_{2n}, b_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{m1}, b_{m1}) & (a_{m2}, b_{m2}) & \cdots & (a_{mn}, b_{mn}) \end{bmatrix} =: (A, B)$$

2人非協力非零和ゲーム

性の戦い，男女の戦い，逢引きのジレンマ，…

- 例1：恋人達のジレンマ **battle of sexes**
  - あるー組のカップルがデートをしたいと思っている
  - 男性は野球観戦を希望し，女性は映画鑑賞がしたい
  - 各々が好きなものを見るより一緒にいることの方が大事

男＼女	野球	映画
野球	(2,1)	(-1,-1)
映画	(-1,-1)	(1,2)

$\max_i \min_j a_{ij} = -1$

$\max_i \min_j b_{ij} = -1$

互いに支配戦略は持たない
ミニマックス原理に従うと，互いにどちらの戦略でも良い？
（または各戦略のマックスが大きくなる方を選ぶ！？）

2人非協力非零和ゲーム

		q_1	q_2
	男＼女	野球	映画
p_1	野球	(2,1)	(-1,-1)
p_2	映画	(-1,-1)	(1,2)

- 例1：恋人達のジレンマ **battle of sexes**
  - 零和ゲームの時と同じ方法で，混合戦略で期待利得最大化すると…

$$\begin{cases} E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) = 2p_1q_1 - p_1q_2 - p_2q_1 + p_2q_2 \\ E_B(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) = p_1q_1 - p_1q_2 - p_2q_1 + 2p_2q_2 \end{cases}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} E_A(\boldsymbol{p},(1,0)) = 3p_1 - 1 \\ E_A(\boldsymbol{p},(0,1)) = -2p_1 + 1 \end{cases} \begin{cases} E_B((1,0),\boldsymbol{q}) = 2q_1 - 1 \\ E_B((0,1),\boldsymbol{q}) = -3q_1 + 2 \end{cases}$$

$$\longrightarrow (\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{q}}) = \left((\frac{2}{5},\frac{3}{5}),(\frac{3}{5},\frac{2}{5}) \right),\ E_A(\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{q}}) = \frac{1}{5},\ E_B(\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{q}}) = \frac{1}{5}$$

ところが…

$$E_A(\boldsymbol{p},\hat{\boldsymbol{q}}) = p_1 - \frac{1}{5} \qquad E_B(\hat{\boldsymbol{p}},\boldsymbol{q}) = -q_1 + \frac{4}{5}$$

Bが $\hat{\boldsymbol{q}}$ をとるなら**A**は $\hat{\boldsymbol{p}}$ ではなく(1,0)にする方が期待利得が高くなる！

Aが $\hat{\boldsymbol{p}}$ をとるなら**B**は $\hat{\boldsymbol{q}}$ ではなく(0,1)にする方が期待利得が高くなる！

均衡しない

※零和ゲームの場合は，「**A**の利得＝**B**の損失」のため，ミニマックス原理による戦略決定が上手くいったが，非零和ゲームでは，互いの利得に関連がないため，これでは上手くいかない

2人非協力非零和ゲーム

2人零和ゲームでは，ミニマックス原理は最適応答原理に帰着

- **Definition** 最適応答と最適応答対応
  - 最適応答 **best response**
    - プレイヤーAの戦略 $\bar{s}_A \in S_A$ が，プレイヤーBの戦略 $s_B \in S_B$ に対する**最適応答**であるとは，以下が成り立つこと

$$f_A(\bar{s}_A, s_B) = \max_{s_A \in S_A} f_A(s_A, s_B) \longleftarrow \text{純粋戦略の場合}$$

$$E_A(\bar{\boldsymbol{p}},\boldsymbol{q}) = \max_{\boldsymbol{p}} E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \longleftarrow \text{混合戦略の場合}$$

  - 最適応答対応 **best response correspondence**
    - Bの戦略 $s_B \in S_B$ に対するAの最適応答の集合

$$R_A(s_B) = \left\{ \bar{s}_A \in S_A \middle| f_A(\bar{s}_A, s_B) = \max_{s_A \in S_A} f_A(s_A, s_B) \right\} \longleftarrow \text{純粋戦略の場合}$$

$$R_A(\boldsymbol{q}) = \left\{ \boldsymbol{p} \middle| E_A(\bar{\boldsymbol{p}},\boldsymbol{q}) = \max_{\boldsymbol{p}} E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \right\} \longleftarrow \text{混合戦略の場合}$$

を，**プレイヤーAの最適応答対応**とよび，

$$D_A = \left\{ (s_A, s_B) \middle| s_A \in R_A(s_B), s_B \in S_B \right\}$$

を，プレイヤーAの**最適応答集合**とよぶ

最適応答原理

2人非協力非零和ゲーム

- 最適応答と最適応答対応
  - プレイヤーA，Bが各々最適応答をとる場合，その組の集合は

$$D := D_A \cap D_B \longleftarrow \text{互いに最適応答なら均衡する（} D \neq \emptyset \text{なら均衡）}$$

となる

- 例：

A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}	s_{B_3}
s_{A_1}	(7,7)	(0,8)	(5,5)
s_{A_2}	(8,0)	(6,6)	(2,7)
s_{A_3}	(4,5)	(3,1)	(6,2)

プレイヤーBの（純戦略での）最適応答

$s_{A_1} \rightarrow \max\{7,8,5\} = 8$　$R_B(s_{A_1}) = \{s_{B_2}\}$
$s_{A_2} \rightarrow \max\{0,6,7\} = 7$　$R_B(s_{A_2}) = \{s_{B_3}\}$
$s_{A_3} \rightarrow \max\{5,1,2\} = 5$　$R_B(s_{A_3}) = \{s_{B_1}\}$

$$D_B = \left\{ (s_{A_2}, s_{B_3}), (s_{A_1}, s_{B_2}), (s_{A_3}, s_{B_1}) \right\}$$

プレイヤーAの（純戦略での）最適応答

$s_{B_1} \rightarrow \max\{7,8,4\} = 8$　$R_A(s_{B_1}) = \{s_{A_2}\}$
$s_{B_2} \rightarrow \max\{0,6,3\} = 6$　$R_A(s_{B_2}) = \{s_{A_2}\}$
$s_{B_3} \rightarrow \max\{5,2,6\} = 6$　$R_A(s_{B_3}) = \{s_{A_3}\}$

$$D_A = \left\{ (s_{A_2}, s_{B_1}), (s_{A_2}, s_{B_2}), (s_{A_3}, s_{B_3}) \right\}$$

$D = \emptyset$ より，純粋戦略のみでは均衡しない

2人非協力非零和ゲーム

Nash均衡点は，零和ゲームの均衡点（鞍点）を含む一般的な概念

- **Definition Nash均衡点 Nash equilibrium point**
  - （混合）戦略の組$(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*)$ が次の条件を満たすとき，$(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*)$をNash均衡点とよぶ

$$E_A(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*) \ge E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}^*) \quad \forall \boldsymbol{p} \leftarrow \text{Bがq*をとるならAはp*がベスト}$$
$$E_B(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*) \ge E_B(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}) \quad \forall \boldsymbol{q} \leftarrow \text{Aがp*をとるならBはq*がベスト}$$

- **Theorem 1**
  - （混合）戦略の組 $(\hat{\boldsymbol{p}},\hat{\boldsymbol{q}})$ が互いに最適応答であるならばNash均衡点であり，逆も成り立つ．即ち，Nash均衡点の集合をEとすると，$E = D_A \cap D_B$
- **Theorem 2**
  - （混合）戦略の組$(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*)$ がNash均衡点であるための必要十分条件は

$$E_A(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*) \ge E_A(s_{A_i},\boldsymbol{q}^*) \quad \forall i = 1,\cdots,m$$
$$E_B(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*) \ge E_B(\boldsymbol{p}^*,s_{B_j}) \quad \forall j = 1,\cdots,n$$

2人非協力非零和ゲーム

- **2人非協力非零和ゲームのNash均衡点**

$$\begin{array}{c|cc} & q & 1\text{-}q \\ p & (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) \\ 1\text{-}p & (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) \end{array} \qquad \begin{cases} 0 \le p \le 1 \\ 0 \le q \le 1 \end{cases}$$

プレイヤーA,Bが混合戦略をとったときのそれぞれの期待利得

$$\begin{aligned} E_A(p,q) &= a_{11}pq + a_{21}(1-p)q + a_{12}p(1-q) + a_{22}(1-p)(1-q) \\ &= \{(a_{11}-a_{21})+(a_{22}-a_{12})\}pq - (a_{22}-a_{12})p + (a_{21}-a_{22})q + a_{22} \\ &= (\bar{r}+\hat{r})pq - \hat{r}p + \tilde{r}q + a_{22} \\ &= \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}p + \tilde{r}q + a_{22} \end{aligned}$$

ただし $\begin{cases} \bar{r} = a_{11} - a_{21} \\ \hat{r} = a_{22} - a_{12} \\ \tilde{r} = a_{21} - a_{22} \end{cases}$

$$\begin{aligned} E_B(p,q) &= b_{11}pq + b_{21}(1-p)q + b_{12}p(1-q) + b_{22}(1-p)(1-q) \\ &= \{(b_{11}-b_{21})+(b_{22}-b_{12})\}pq - (b_{22}-b_{12})p + (b_{21}-b_{22})q + b_{22} \\ &= (\bar{c}+\hat{c})pq - \hat{c}p + \tilde{c}q + b_{22} \\ &= \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}q - \hat{c}p + b_{22} \end{aligned}$$

ただし $\begin{cases} \bar{c} = b_{11} - b_{21} \\ \hat{c} = b_{22} - b_{12} \\ \tilde{c} = b_{21} - b_{22} \end{cases}$

2人非協力非零和ゲーム

Theorem 2
(p,q)がNash均衡解 $\Leftrightarrow \begin{cases} E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_A((1,0),\boldsymbol{q}) \\ E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_A((0,1),\boldsymbol{q}) \\ E_B(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_B(\boldsymbol{p},(1,0)) \\ E_B(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_B(\boldsymbol{p},(0,1)) \end{cases}$

- **2人非協力非零和ゲームのNash均衡点**
  - プレイヤーAの最適応答 p はTheorem2より

$$\begin{cases} E_A(p,q) \ge E_A(1,q) \\ E_A(p,q) \ge E_A(0,q) \end{cases}$$
$$\leftrightarrow \begin{cases} \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}p + \tilde{r}q + a_{22} \ge \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}1 + \tilde{r}q + a_{22} \\ \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}p + \tilde{r}q + a_{22} \ge \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}0 + \tilde{r}q + a_{22} \end{cases}$$
$$\leftrightarrow \begin{cases} \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}(1-p) \le 0 \\ \{(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r}\}p \ge 0 \end{cases}$$

  - 故に，Bの戦略 q に対するAの最適応答 p は

$(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r} > 0$となる q に対しては $\begin{cases} 1-p \le 0 \\ p \ge 0 \end{cases} \to p = 1$

$(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r} = 0$となる q に対しては $\begin{cases} 1-p: 任意 \\ p: 任意 \end{cases} \to p: 任意$

$(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r} < 0$となる q に対しては $\begin{cases} 1-p \ge 0 \\ p \le 0 \end{cases} \to p = 0$

2人非協力非零和ゲーム

Theorem 2
(p,q)がNash均衡解 $\Leftrightarrow \begin{cases} E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_A((1,0),\boldsymbol{q}) \\ E_A(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_A((0,1),\boldsymbol{q}) \\ E_B(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_B(\boldsymbol{p},(1,0)) \\ E_B(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) \ge E_B(\boldsymbol{p},(0,1)) \end{cases}$

- **2人非協力非零和ゲームのNash均衡点**
  - プレイヤーBの最適応答 q はTheorem2より

$$\begin{cases} E_B(p,q) \ge E_B(p,1) \\ E_B(p,q) \ge E_B(p,0) \end{cases}$$
$$\leftrightarrow \begin{cases} \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}q - \hat{c}p + b_{22} \ge \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}1 - \hat{c}p + b_{22} \\ \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}q - \hat{c}p + b_{22} \ge \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}0 - \hat{c}p + b_{22} \end{cases}$$
$$\leftrightarrow \begin{cases} \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}(1-q) \le 0 \\ \{(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c}\}q \ge 0 \end{cases}$$

  - 故に，Aの戦略 p に対するBの最適応答 q は

$(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c} > 0$となる p に対しては $\begin{cases} 1-q \le 0 \\ q \ge 0 \end{cases} \to q = 1$

$(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c} = 0$となる p に対しては $\begin{cases} 1-q: 任意 \\ q: 任意 \end{cases} \to q: 任意$

$(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c} < 0$となる p に対しては $\begin{cases} 1-q \ge 0 \\ q \le 0 \end{cases} \to q = 0$

2人非協力非零和ゲーム

- **2**人非協力非零和ゲームの**Nash**均衡点
  - 例：

		q	$1-q$
	A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}
p	s_{A_1}	(6,5)	(2,7)
$1-p$	s_{A_2}	(3,4)	(6,1)

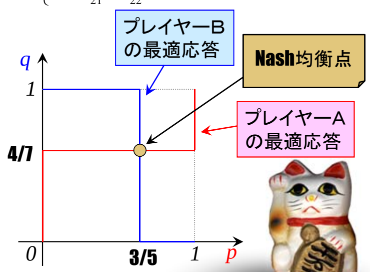
$$\begin{cases} \bar{r} = a_{11} - a_{21} = 6-3 = 3 \\ \hat{r} = a_{22} - a_{12} = 6-2 = 4 \\ \tilde{r} = a_{21} - a_{22} = 3-6 = -3 \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{c} = b_{11} - b_{21} = 5-4 = 1 \\ \hat{c} = b_{22} - b_{12} = 1-7 = -6 \\ \tilde{c} = b_{21} - b_{22} = 4-1 = 3 \end{cases}$$

$(\bar{r}+\hat{r})q - \hat{r} = 7q - 4$

$$\rightarrow \begin{cases} q > 4/7 \rightarrow p := 1 \\ q = 4/7 \rightarrow p : 任意 \\ q < 4/7 \rightarrow p := 0 \end{cases}$$

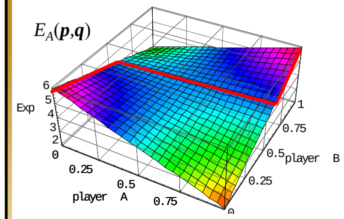
$(\bar{c}+\hat{c})p + \tilde{c} = -5p + 3$

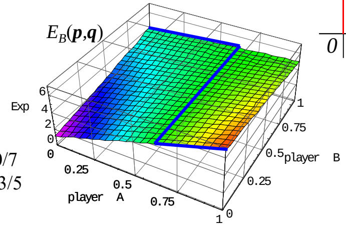
$$\rightarrow \begin{cases} p < 3/5 \rightarrow q := 1 \\ p = 3/5 \rightarrow q : 任意 \\ p > 3/5 \rightarrow q := 0 \end{cases}$$

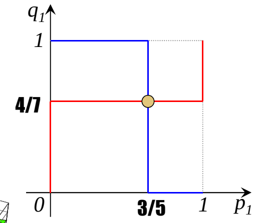


2人非協力非零和ゲーム

A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}
s_{A_1}	(6,5)	(2,7)
s_{A_2}	(3,4)	(6,1)







$E_A(\boldsymbol{p},(4/7,3/7))=30/7$
$E_B((3/5,2/5),\boldsymbol{q})=23/5$

2人非協力非零和ゲーム

- **Theorem 3**
  - （混合戦略まで拡大すると，）双行列ゲームには，少なくとも**1**つ**Nash**均衡点が存在する

- **Theorem 4**（**cf. Theorem 2**）
  - （混合）戦略の組（p^*, q^*）が**Nash**均衡点であるための必要十分条件は，(p^*, q^*) が写像 $R_A(\boldsymbol{q}) \times R_B(\boldsymbol{p})$ の不動点であること．即ち，
$$\boldsymbol{p}^* \times \boldsymbol{q}^* \in R_A(\boldsymbol{q}^*) \times R_B(\boldsymbol{p}^*)$$

戦略の組が均衡点であるための必要十分性（**Theorem 2, 4**など）の証明は，「**Brouwer**の不動点定理」「角谷の不動点定理」などから

演習1：

- 次の双行列ゲームの**Nash**均衡点を求めよ

A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}
s_{A_1}	(-2 , 1)	(4 , 6)
s_{A_2}	(6 , -8)	(-2 , 2)

Coffee Brake!

- **John F. Nash (1928-)**
  - 紹介サイトの情報
    - **Non-Cooperative Games Nash [pdf]**
  - **A Beautiful Mind**

いずれも**2004**年**11**月**9**日（火）取得の情報

補足：2人非協力零和ゲーム

零和ゲームの場合は
➢最適応答戦略
➢ミニマックス戦略
いずれの考え方でも均衡解を求められるよ

- **2**人非協力零和ゲームの**Nash**均衡点
  - 例：プレイヤー**A**の利得表

		q_1	q_2
	A＼B	S_{B_1}	S_{B_2}
p_1	S_{A_1}	3	-2
p_2	S_{A_2}	-1	4

$$\begin{cases}\bar r = a_{11} - a_{21} = 3-(-1) = 4\\ \hat r = a_{22} - a_{12} = 4-(-2) = 6\\ \tilde r = a_{21} - a_{22} = (-1)-4 = -5\end{cases}$$

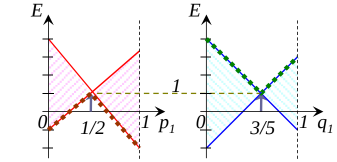
$$(\bar r + \hat r)q_1 - \hat r = 10q_1 - 6 \rightarrow \begin{cases} q_1 > 3/5 \to p_1 := 1\\ q_1 = 3/5 \to p_1 : 任意\\ q_1 < 3/5 \to p_1 := 0\end{cases}$$

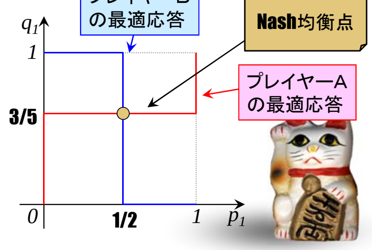
$$\begin{cases}\bar c = b_{11} - b_{21} = (-3)-1 = -4\\ \hat c = b_{22} - b_{12} = (-4)-2 = -6\\ \tilde c = b_{21} - b_{22} = 1-(-4) = 5\end{cases}$$

$$(\bar c + \hat c)p_1 + \tilde c = -10p_1 + 5 \rightarrow \begin{cases} p_1 < 1/2 \to q_1 := 1\\ p_1 = 1/2 \to q_1 : 任意\\ p_1 > 1/2 \to q_1 := 0\end{cases}$$

$$E(\boldsymbol{p},\boldsymbol{q}) = 10p_1q_1 - 6p_1 - 5q_1 + 4$$

$$\begin{cases}E(\boldsymbol{p},(1,0)) = 4p_1 - 1\\ E(\boldsymbol{p},(0,1)) = -6p_1 + 4\end{cases} \quad \begin{cases}E((1,0),\boldsymbol{q}) = 5q_1 - 2\\ E((0,1),\boldsymbol{q}) = -5p_1 + 4\end{cases}$$





2人非協力非零和ゲーム

- 例2：囚人のジレンマ **prisoner's dilemma**
  - 2人の凶悪犯が別個に取り調べを受けている
  - 現状では証拠不十分で軽い罪でしか起訴できないため，2人とも**3**年
  - 各囚人は司法取引を持ちかけられ，応じた方は**1**年，応じない方は**10**年，ただし，2人ともが応じた場合は2人とも**8**年

A＼B	黙秘	自白
黙秘	(3,3)	(10,1)
自白	(1,10)	(8,8)

注意：値が小さい方が嬉しい！

※司法取引：被告が自分の罪を認める代わりに罪を軽くしてもらうこと

2人非協力非零和ゲーム

- 例2：囚人のジレンマ **prisoner's dilemma**

		q_1	q_2
	A＼B	黙秘	自白
p_1	黙秘	(3,3)	(10,1)
p_2	自白	(1,10)	(8,8)

注意：値が小さい方が嬉しい！

明らかにもっと良い解がある
Pareto最適でない！

各プレイヤーとも，「自白」が支配戦略！　結果として，（自白，自白）が**Nash**均衡点であり，ゲームは支配可解

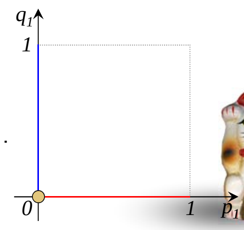
最適応答原理に従って考えても…,

$$D_A = \{((0,1),\boldsymbol{q}) \mid \boldsymbol{0} \le \boldsymbol{q} \le \boldsymbol{1}\}$$
$$D_B = \{(\boldsymbol{p},(0,1)) \mid \boldsymbol{0} \le \boldsymbol{p} \le \boldsymbol{1}\}$$
$$\longrightarrow D := D_A \cap D_B = \{((0,1),(0,1))\}$$

最適応答原理に従ってまじめに計算しても…

$$\begin{cases}(\bar r + \hat r)q_1 - \hat r = 0q_1 - 2 < 0\\ (\bar c + \hat c)p_1 + \tilde c = 0p_1 - 2 < 0\end{cases} \rightarrow \begin{cases}p_1 = 0\\ q_1 = 0\end{cases}$$

注意：±逆で計算



2人非協力非零和ゲーム

- **Nash**均衡点が最適戦略か？
  - **2**人零和ゲーム
    - ミニマックス戦略が最適戦略！ ← 行動の指針を与えてくれる
  - **2**人非零和ゲーム
    - **Nash**均衡点が最適戦略を与えるわけではない！
    - ゲームの値が異なる複数の均衡点が存在する場合がある！
    - **Nash**均衡点は，必ずしも**Pareto**最適ではない！

→ 最適応答原理は不十分かも…！？
（しかし他に適切なものがあるか？）

Nash均衡点の精緻化
協力ゲームへの転換

非協力ゲーム
•得られる解の状態を示すことで，何らかの均衡戦略をとるべきことを教える
•均衡状態が複数あることを示すことで，戦略決定判断が困難であることも教える

戦略形ゲーム

- 演習：
  - 身近な所，あるいは社会において，囚人のジレンマと同じ状況となっていると思われる例を**1**つあげ，戦略形の形で表現せよ

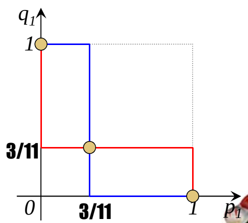
A＼B	C（協調）	D（裏切り）
C（協調）	（　,　）	（　,　）
D（裏切り）	（　,　）	（　,　）

2人非協力非零和ゲーム

- 例3：面会ゲーム
  - 遠く離れている2人が至急会う必要がある
  - 今居る場所は互いにわかっており，会いに行くか，相手が来るのを待つかの選択が出来る．（途中で会うことはない）

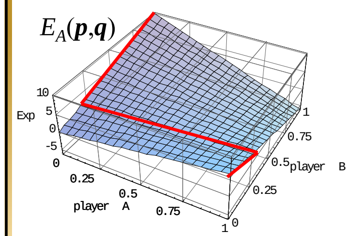
A＼B	行く	待つ
行く	(-6,-6)	(6,10)
待つ	(10,6)	(0,0)

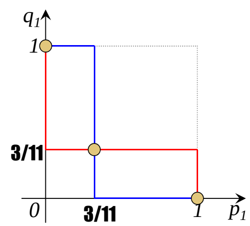
$$
\begin{cases}
(\bar{r}+\hat{r})q_1-\hat{r}=-22q_1+6\begin{cases}>0\rightarrow p_1=1\\=0\rightarrow p_1\in[0,1]\\<0\rightarrow p_1=0\end{cases}\\
(\bar{c}+\hat{c})p_1+\tilde{c}=-22p_1+6\begin{cases}>0\rightarrow q_1=1\\=0\rightarrow q_1\in[0,1]\\<0\rightarrow q_1=0\end{cases}
\end{cases}
$$

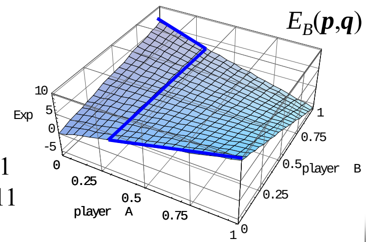


Nash均衡点
（(**0,1**),(**1,0**)),
（(**3/11,8/11**),(**3/11,8/11**)),
（(**1,0**),(**0,1**))

2人非協力非零和ゲーム







$E_A(\boldsymbol{p},(3/11,8/11))=30/11$
$E_B((3/11,8/11),\boldsymbol{q})=30/11$

2人非協力非零和ゲーム

- 例4：弱虫ゲーム **chicken game**
  - 2人の人間が2台の車をそれぞれ運転する
  - 2人は，お互いに向かって車を走らせる
  - 2台ともそのまま走り続ければ，やがてぶつかり死ぬため，直前で回避してよい．
  - しかし，相手より先によけた(進路を変えた)プレイヤーは「チキン」と罵られ，臆病者のレッテルを貼られる

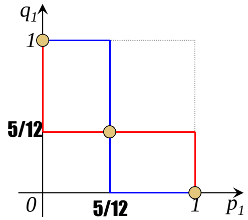
⇩

A＼B	避ける	避けない
避ける	(2,2)	(0,9)
避けない	(9,0)	(-5,-5)

2人非協力非零和ゲーム

- 例4：弱虫ゲーム **chicken game**

A＼B	避ける	避けない
避ける	(2,2)	(0,9)
避けない	(9,0)	(-5,-5)



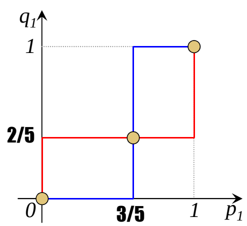
$$\begin{cases} (\bar{r}+\hat{r})q_1-\hat{r}=-12q_1+5\begin{cases} >0\rightarrow p_1=1 \\ =0\rightarrow p_1\in[0,1] \\ <0\rightarrow p_1=0 \end{cases} \\ (\bar{c}+\hat{c})p_1+\tilde{c}=-12p_1+5\begin{cases} >0\rightarrow q_1=1 \\ =0\rightarrow q_1\in[0,1] \\ <0\rightarrow q_1=0 \end{cases} \end{cases}$$

Nash均衡点
（(**0,1**),(**1,0**)），→ (9,0)
（(**5/12,7/12**),(**5/12,7/12**)），→ $E_A(\boldsymbol{p},(5/12,7/12))=10/12$，$E_B((5/12,7/12),\boldsymbol{q})=10/12$
（(**1,0**),(**0,1**)） → (0,9)

2人非協力非零和ゲーム

- 例1：恋人達のジレンマ **battle of sexes**

男＼女	野球	映画
野球	(2,1)	(-1,-1)
映画	(-1,-1)	(1,2)



$$\begin{cases} (\bar{r}+\hat{r})q_1-\hat{r}=5q_1-2\begin{cases} >0\rightarrow p_1=1 \\ =0\rightarrow p_1\in[0,1] \\ <0\rightarrow p_1=0 \end{cases} \\ (\bar{c}+\hat{c})p_1+\tilde{c}=5p_1-3\begin{cases} >0\rightarrow q_1=1 \\ =0\rightarrow q_1\in[0,1] \\ <0\rightarrow q_1=0 \end{cases} \end{cases}$$

Nash均衡点
（(**1,0**),(**1,0**)），→ (2,1)
（(**3/5,2/5**),(**2/5,3/5**)），→ $E_A(\boldsymbol{p},(5/12,7/12))=1/5$，$E_B((5/12,7/12),\boldsymbol{q})=1/5$
（(**0,1**),(**0,1**)） → (1,2)

2人非協力非零和ゲーム

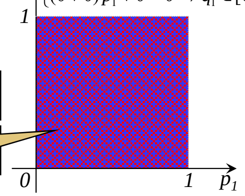
- 例5：病的な例

$$\begin{cases} E_A(p,q)=8p_1q_1+8p_2q_1+4p_1q_2+4p_2q_2=8q_1+4q_2 \\ E_B(p,q)=8p_1q_1+4p_2q_1+8p_1q_2+4p_2q_2=8p_1+4p_2 \end{cases}$$

↑自分の期待利得を自分の戦略で決められないことによる

A＼B	S_{B_1}	S_{B_2}
S_{A_1}	(8,8)	(4,8)
S_{A_2}	(8,4)	(4,4)

$$\begin{cases} (0+0)q_1-0=0\rightarrow p_1\in[0,1] \\ (0+0)p_1+0=0\rightarrow q_1\in[0,1] \end{cases}$$



全ての純粋戦略の組が**Nash**均衡点！

全ての混合戦略の組が**Nash**均衡点！

Nash均衡点の精緻化

友情ルール：自分の利得が同じなら，相手の利得が大きくなる戦略を選ぶ → (S_{A_1},S_{B_1})が均衡点

嫌がらせルール：自分の利得が同じなら，相手の利得が小さくなる戦略を選ぶ → (S_{A_2},S_{B_2})が均衡点

Aが友情 **&** **B**が嫌がらせルールに従う → (S_{A_1},S_{B_2})，
Aが嫌がらせ **&** **B**が友情ルールに従う → (S_{A_2},S_{B_1})

2人非協力非零和ゲーム

- 例6：共有地の悲劇（囚人のジレンマのn人拡張版）
  - 数軒の酪農家が共有の牧草地を所有している．各酪農家が先を争って牛を放牧し，自分の利益最大をはかる限り，牛の数を増やし続けると，待っているのは共有地の荒廃という悲劇である．
  - 単純なモデルでの考察
    - 酪農家は4軒 $(i=1,2,3,4)$
    - 酪農家iが放牧する牛の数 q_i
    - 各酪農家は3頭まで牛を購入でき，購入価格は全て等しく2
    - 酪農家iの収益をx_iとし，$x_i = q_i\{16-(q_1+q_2+q_3+q_4)\}-2\,q_i$

たくさん放牧すると収益が減る！

i＼others	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
2	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6
3	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6

弱支配

Nash均衡点

Nash均衡点と線形相補性問題

- **Definition** 戦略的同等性
  - ゲームGのNash均衡点がG'のそれであり，かつその逆も成立するとき，2つのゲームは**戦略的に同等**であるという
- **Theorem 5**
  - 2つの双行列ゲームG, G'において，任意の要素について，

$$\exists\alpha_1>0,\alpha_2>0,\exists\beta_1,\beta_2,\quad \begin{cases} a'_{ij}=\alpha_1 a_{ij}+\beta_1 \\ b'_{ij}=\alpha_2 b_{ij}+\beta_2 \end{cases}$$

という関係があるとき，GとG'は戦略的に同等である

- 例：

G

A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}
s_{A_1}	(3,-1)	(0,2)
s_{A_2}	(-2,4)	(5,-2)

戦略的同等

G'

A＼B	s_{B_1}	s_{B_2}
s_{A_1}	(5,-1)	(-1,8)
s_{A_2}	(-5,14)	(9,-4)

$$\alpha_1=2,\beta_1=-1,\alpha_2=3,\beta_2=2$$

Nash均衡点と線形相補性問題

- **Nash均衡点を求める**

(p^*,q^*) Nash均衡点 $\overset{\text{Th.2}}{\Leftrightarrow}$
$$\begin{cases} v_1 := E_A(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*)\ge E_A(s_{A_i},\boldsymbol{q}^*) & \forall i=1,\cdots,m \\ v_2 := E_B(\boldsymbol{p}^*,\boldsymbol{q}^*)\ge E_B(\boldsymbol{p}^*,s_{B_j}) & \forall j=1,\cdots,n \end{cases}$$

$\Leftrightarrow$
$$\begin{cases} v_1 \ge \sum_{j=1}^n a_{ij}q_j^* & \forall i=1,\cdots,m \\ v_2 \ge \sum_{i=1}^m b_{ij}p_j^* & \forall j=1,\cdots,n \end{cases}$$

$\overset{\text{Th.5}}{\Leftrightarrow}$
$$\begin{cases} v_1 \ge \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}q_j^* & \forall i=1,\cdots,m \\ v_2 \ge \sum_{i=1}^m \tilde{b}_{ij}p_j^* & \forall j=1,\cdots,n \end{cases}$$
ただし，$(\forall i,j,\ \tilde{a}_{ij},\tilde{b}_{ij}>0)$ → $v_1,v_2>0$

$\Leftrightarrow$
$$\begin{cases} 1 \ge \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}\tilde{q}_j & \forall i=1,\cdots,m \\ 1 \ge \sum_{i=1}^m \tilde{b}_{ij}\tilde{p}_i & \forall j=1,\cdots,n \end{cases}$$
ただし，$\begin{cases} \tilde{q}_j := q_j^*/v_1 \\ \tilde{p}_i := p_i^*/v_2 \end{cases}$

→ $\begin{cases} u_i := 1-\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}\tilde{q}_j(\ge 0) & (i=1,\cdots,m) \\ w_j := 1-\sum_{i=1}^m \tilde{b}_{ij}\tilde{p}_i(\ge 0) & (j=1,\cdots,n) \end{cases}$ とおく

Nash均衡点と線形相補性問題

- **Proposition 1** 相補性 **complementarity**

$$\begin{cases} u_i := 1-\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}\tilde{q}_j \\ w_j := 1-\sum_{i=1}^m \tilde{b}_{ij}\tilde{p}_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m u_i\tilde{p}_i = 0 & (j=1,\cdots,n) \\ \sum_{j=1}^n w_j\tilde{q}_j = 0 & (i=1,\cdots,m) \end{cases}$$ が成立

まとめると…

Nash均衡点が存在する $\Leftrightarrow$
$$\begin{cases} u_i := 1-\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}q_j & (i=1,\cdots,m) \\ w_j := 1-\sum_{i=1}^m \tilde{b}_{ij}p_i & (j=1,\cdots,n) \\ \sum_{i=1}^m u_ip_i = 0 \\ \sum_{j=1}^n w_jq_j = 0 \\ u_i,p_i \ge 0 & (i=1,\cdots,m) \\ w_j,q_j \ge 0 & (j=1,\cdots,n) \end{cases}$$

を満たす $\begin{matrix} u_i,p_i(i=1,\cdots,m) \\ w_j,q_j(j=1,\cdots,n) \end{matrix}$ が存在

Nash均衡点と線形相補性問題

- **LCP, Linear Complementarity Problem**

$$\begin{cases} u_i := 1-\sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij} q_j \quad (i=1,\cdots,m) \\ w_j := 1-\sum_{i=1}^{m} \tilde{b}_{ij} p_i \quad (j=1,\cdots,n) \\ \sum_{i=1}^{m} u_i p_i = 0 \\ \sum_{j=1}^{n} w_j q_j = 0 \\ u_i, p_i \geq 0 \quad (i=1,\cdots,m) \\ w_j, q_j \geq 0 \quad (j=1,\cdots,n) \end{cases}$$

を満たす解 $\begin{cases} u_i, p_i (i=1,\cdots,m) \\ w_j, q_j (j=1,\cdots,n) \end{cases}$

$$\begin{cases} p_i^* := p_i \Big/ \sum_i p_i \\ q_j^* := q_j \Big/ \sum_j q_j \end{cases}$$ **がNash均衡点**

$$\begin{cases} \boldsymbol{y} = \boldsymbol{M}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{z}, \\ \boldsymbol{y}^T \boldsymbol{x} = 0, \\ (\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \geq \boldsymbol{0} \end{cases}$$

ただし，

$$\boldsymbol{x} := \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_m \\ q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix}, \boldsymbol{y} := \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \\ w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}, \boldsymbol{z} := \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \boldsymbol{M} := \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & -\boldsymbol{A} \\ -\boldsymbol{B}^T & \boldsymbol{0} \end{bmatrix}$$

B=-AだとLP ⇔ 零和ゲーム

Lemke法（**M≧0**）
内点法（**M：PSD,P₀,…**）

戦略形ゲームの応用 （岡田章『ゲーム理論』p.49-59等）

- 応用例1：クールノー複占市場
  - 2企業（i=1,2）が同質な財を生産し，同一市場に供給している
  - 企業iの供給量q_i（≧0） → 財の価格 p=max{a－b(q_1+q_2), 0}, (a,b>0)
  - 企業iの費用関数 $C_i(q_i)= c_i q_i$, ($0<c_i<a$) 限界費用
  - 企業iの利潤関数$\pi_i(q_1, q_2)=pq_i - c_i q_i$

各企業は**利潤最大化**したい！

クールノー・ナッシュ均衡 Cournot-Nash equilibrium

$$(q_1^*, q_2^*) : C.N.eq. \Leftrightarrow \begin{cases} \pi_1(q_1^*, q_2^*) = \max_{q_1 \geq 0} \pi_1(q_1, q_2^*) \\ \pi_2(q_1^*, q_2^*) = \max_{q_2 \geq 0} \pi_2(q_1^*, q_2) \end{cases}$$

  - 企業i（=1,2）の企業j（≠i）に対する最適応答対応

$$\pi_i(q_1, q_2) = \begin{cases} (a-c_i-b(q_1+q_2))q_i & \text{if } 0 \leq q_i < a/b - q_j \\ -c_i q_i & \text{if } a/b - q_j \leq q_i \end{cases}$$

p>0
p=0

$$\Rightarrow q_i^* = \begin{cases} \dfrac{a-c_i}{2b} - \dfrac{q_j}{2} & \text{if } 0 \leq q_i \leq \dfrac{a-c_i}{b} \\ 0 & \text{if } \dfrac{a-c_i}{b} < q_i \end{cases} \quad \left[\because) \frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = 0, \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial q_i^2} < 0 \quad (i=1,2) \right]$$

戦略形ゲームの応用

- 応用例1：クールノー複占市場

$$\begin{cases} \dfrac{a-c_i}{2b} - \dfrac{q_j}{2} & \text{if } 0 \leq q_i \leq \dfrac{a-c_i}{b} \\ 0 & \text{if } \dfrac{a-c_i}{b} < q_i \end{cases}$$

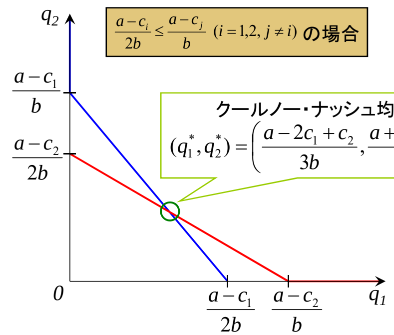
$\dfrac{a-c_i}{2b} \leq \dfrac{a-c_j}{b}$ $(i=1,2, j \neq i)$ の場合

財の価格

$$p^* = \frac{a+c_1+c_2}{3}$$

各企業の利潤

$$\begin{cases} \pi_1(q_1^*, q_1^*) = \dfrac{(a-2c_1+c_2)^2}{9b} \\ \pi_2(q_1^*, q_1^*) = \dfrac{(a+c_1-2c_2)^2}{9b} \end{cases}$$



クールノー・ナッシュ均衡点

$$(q_1^*, q_2^*) = \left(\frac{a-2c_1+c_2}{3b}, \frac{a+c_1-2c_2}{3b} \right)$$

パレート最適ではない

例：$c_1=c_2$の時，$q_1=q_2=(a-c)/4b$ とした方が，どちらの企業もより多くの利潤が得られる

戦略形ゲームの応用

寄付はいくら集まるだろう？

- 応用例2：寄付金ゲーム
  - ある町で，公共事業のため，住人（n人）に寄付を募る
  - 住人は<u>好きな額を寄付</u>（範囲：0～1000円で100円単位）
  - 事業の結果，寄付総額の2倍を<u>住人全員が貰える</u>
  - 住人i (=1,…,n) の戦略（寄付額）：x_i （0≦x_i≦1000）
  - 住人i (=1,…,n) の利得関数： $u_i(x_1,\cdots,x_n) = 2\sum_{k=1}^{n} x_k - x_i$

【自分＋3人のプレイヤー（n=4）の場合】

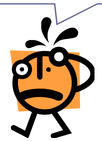
自分＼他	0×3	100×3	…	900×3	1000×3
0	0, 0	600, 500	…	5400, 4500	6000, 5000
100	100, 200	700, 700	…	5500, 4700	6100, 5200
…	…	…	…	…	…
900	900, 1800	1500, 2300	…	6300, 6300	6900, 6800
1000	1000, 2000	1600, 2500	…	6400, 6500	7000, 7000

x^*=(1000,…,1000) が 唯一の均衡点 かつ Pareto最適

利得が皆に等しく還元され享受できるなら，
皆喜んで寄付をする（1000円が支配戦略）

戦略形ゲームの応用

寄付はいくら集まるだろう？



- 応用例2：寄付金ゲーム（その2）
  - ある町で，公共事業のため，住人（n人）に寄付を募る
  - 住人は好きな額を寄付（範囲：0～1000円で100円単位）
  - 事業の結果，寄付総額の2倍を住人全員（n人）で等分配
  - 住人i (=1,…,n) の戦略（寄付額）：x_i　($0 \leqq x_i \leqq 1000$)
  - 住人i (=1,…,n) の利得関数：$u_i(x_1,\cdots,x_n)=\frac{2}{n}\sum_{k=1}^{n}x_k - x_i$

【自分＋3人のプレイヤー（n=4）の場合】

自分＼他	0×3	100×3	…	900×3	1000×3
0	0, 0	150, 50	…	1350, 450	1500, 500
100	-50, 50	100, 100	…	1300, 500	1450, 550
…	…	…	…	…	…
900	-450, 450	-300, 500	…	900, 900	1050, 950
1000	-500, 500	-350, 550	…	850, 950	1000, 1000

$x^*=(0,\ldots,0)$ が 唯一の均衡点 かつ Pareto最適でない

誰も寄付しない（0円が支配戦略）
明らかに全員が1000円寄付する方が良いが，その場合，全員が裏切る動機を持つ

ただ乗り free-riding：他人の貢献を利用して個人的利益を得る行為

戦略形ゲームの応用

- 応用例3：電力消費ゲーム
  - ある都市で，n人の住人がクーラーを所持．暑い日の出来事
  - 各住人i (=1,…,n)の戦略と，その費用，及び効用は，
    - 戦略：低温設定（x_i=α），電力消費1000W，効用U
    - 戦略：中温設定（x_i=β），電力消費500W，効用u　　(U>u>0)
  - この都市の停電確率は，総電力量をQとしたとき，　停電臨界点

$$P(Q)=\begin{cases}0 & (\text{if } 0\le Q\le c)\\ 1 & (\text{if } c<Q)\end{cases} \quad \text{where } 500n<c<1000n$$

  - 節電する住人の数をs ($0 \leqq s \leqq n$)とすると，総電力消費量は
    - $Q(s) := 500s + 1000(n-s)=1000n-500s$
  - 住人i の効用は
    - $u_i(x_1,\cdots,x_n)=\begin{cases}0 & (\text{if } c<Q(s))\\ U & (\text{if } Q(s)\le c, x_i=\alpha)\\ u & (\text{if } Q(s)\le c, x_i=\beta)\end{cases}$

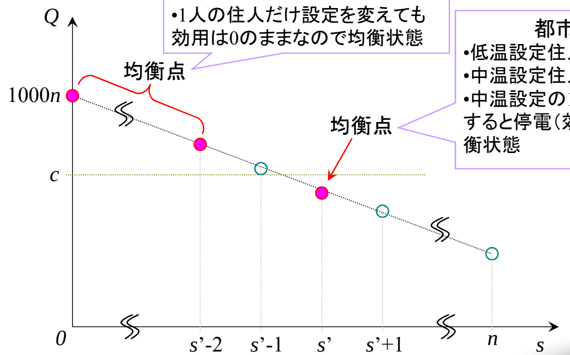
→ 減少関数$Q(s)$について，$Q(s') \leqq c \leqq Q(s'-1)$ を満たすs'が唯一定まり，$0 \leqq s^* \leqq s'-2$, $s^*=s'$を満たす全てのsが均衡点

戦略形ゲームの応用

- 応用例3：電力消費ゲーム

都市停電！
•全住人の効用は0.
•1人の住人だけ設定を変えても効用は0のままなので均衡状態

都市停電せず
•低温設定住人の効用U
•中温設定住人の効用u
•中温設定の1人でも低温に変更すると停電（効用がu→0)より均衡状態



戦略形ゲーム

2人のプレイヤーが互いに相手と異なる戦略を交互に取る，即ち，(C,D)→(D,C)→(C,D)→…とするときの期待利得が，協調行動(C,C)の利得より小さい状況

- 囚人のジレンマ型ゲーム

A＼B	C	D
C	(S_1, S_2)	(W_1, B_2)
D	(B_1, W_2)	(T_1, T_2)

ただし，B_i (best) > S_i (second) > T_i (third) > W_i (worst)

さらに $S_i=\frac{B_i+W_i}{2}$ $(i=1,2)$ も満たすならば，『標準的な囚人のジレンマ型ゲーム』とよばれる

$$\begin{cases}\bar{r}=S_1-B_1(<0),\ \hat{r}=T_1-W_1(>0),\ \tilde{r}=B_1-T_1(>0)\\ \bar{c}=S_2-W_2(>0),\ \hat{c}=T_2-B_2(<0),\ \tilde{c}=W_2-T_2(<0)\end{cases}$$

$$\begin{cases}|\bar{r}+\hat{r}|\le|\hat{r}|\\ |\bar{c}+\hat{c}|=|(S_2-W_2)+(T_2-B_2)|\\ \qquad\quad =|(S_2-B_2)-(W_2-T_2)|\le|W_2-T_2|=|\tilde{c}|\end{cases}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}(\bar{r}+\hat{r})q_1-\hat{r}<0\\ (\bar{c}+\hat{c})p_1+\tilde{c}<0\end{cases}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}p_1^*=0\\ q_1^*=0\end{cases}$$

→ Nash均衡は (D,D)

$$\begin{cases}f_1(q_2):=(\bar{r}+\hat{r})q_1-\hat{r}\\ f_2(p_1):=(\bar{c}+\hat{c})p_1+\tilde{c}\end{cases}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}f_1(q_2)>0\to p_1=1\\ f_1(q_2)=0\to p_1\in[0,1],\\ f_1(q_2)<0\to p_1=0\end{cases}\quad\begin{cases}f_2(p_1)>0\to q_2=1\\ f_2(p_1)=0\to q_2\in[0,1]\\ f_2(p_1)<0\to q_2=0\end{cases}$$

オークション

- 例：ファーストプライス・オークション
  - 参加者は1回だけ入札し，入札額は互いにわからない
  - 最高額入札者が落札
    - 最高額が同額の場合はくじ引きで
  - 参加者は各々入札対象の評価額をもっている
    - 参加者の戦略は大きく3つ：評価額で入札，低い額で入札，高い額で入札
  - プレイヤーの利得＝評価額－落札額
  - 例）2人の場合：
    - Aさん　評価額20,000円
    - Bさん　評価額30,000円

✓ ×…落札できず
✓ 背景黄色…期待値
✓ 「×=0」とする

A＼B	10	20	30	40
10				
20				
30				

オークション

- 例：セカンドプライス・オークション
  - 参加者は1回だけ入札し，入札額は互いにわからない
  - 最高額入札者が2番目入札額（セカンドプライス）で落札
    - 最高額が同額の場合はくじ引きで，その額で落札
  - 参加者は各々入札対象の評価額をもっている
    - 参加者の戦略は大きく3つ：評価額で入札，低い額で入札，高い額で入札
  - プレイヤーの利得＝評価額－落札額
  - 例）2人の場合：
    - Aさん　評価額20,000円
    - Bさん　評価額30,000円

✓ ×…落札できず
✓ 背景黄色…期待値
✓ 「×=0」とする

A＼B	10	20	30	40
10	(5, 10)	(×, 20)	(×, 20)	(×, 20)
20	(10, ×)	(0, 5)	(×, 10)	(×, 10)
30	(10, ×)	(0, ×)	(-5, 0)	(×, 0)

オークション

- 例：セカンドプライス・オークション
  - 例）n人の場合：
    - player A　評価額 x円，　Aの戦略→ L円で入札，x円で入札，H円で入札　（$L \leqq x \leqq H$）
    - player A 以外の最高入札playerの入札額を y円とする

if

A＼o.w.H	$y<L$	$y=L$	$L<y<x$	$y=x$	$x<y<H$	$y=H$	$y>H$
L	$x-y$	$(x-y)/2$	×	×	×	×	×
x	$x-y$	$x-y$	$x-y$	0	×	×	×
H	$x-y$	$x-y$	$x-y$	0	$x-y$	$(x-y)/2$	×

→戦略xが，戦略L, H を弱支配
→評価額と同額を入札するのがよい
→全playerが同様
→全playerが，各自の評価額で入札する
↑
メカニカル・デザイン＝ルールやシステムによりプレイヤーを誘導

✓ ×…落札できず
✓ 背景黄色…期待値
✓ 赤字…マイナス

参考文献

- 鈴木光男「ゲーム理論入門」共立出版（1981, 2003(新装版)）
- 鈴木光男「新ゲーム理論」勁草書房（1994）
- 岡田章「ゲーム理論」有斐閣（1996）
- 渡辺隆裕「ゲーム理論入門」日本経済新聞社（2008）
- 今野浩「線形計画法」日科技連（1987）
- R. Axelrod, 松田裕之訳「つきあい方の科学」ミネルヴァ書房（1998）
- ……