

第13回目 協力行動

文系科目 数理社会学I

2014年7月11日

担当: 中丸麻由子

前期授業スケジュール・予定

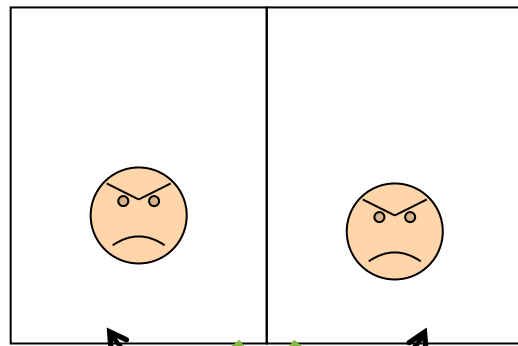
回	日にち	講義内容
1	4/11	ガイダンス
2	4/18	進化生態学基礎
3	4/25	進化ゲーム
4	5/2	進化ゲーム
5	5/9	進化ゲーム・採餌行動
6	5/23	採餌行動
7	5/30	性比
8	6/6	性転換・性選択
9	6/13	性選択・血縁淘汰
10	6/20	血縁淘汰
11	6/27	人の性選択
12	7/4	人の血縁淘汰
13	7/11	協力の進化
14	7/18	予備日・テスト範囲説明
15	7/25	テスト日

進化生態学の基本
+人への適用例

参考文献

- McElreath, R. & Boyd, R. 2007. Mathematical models of social evolution, Univ of Chicago Press

囚人のジレンマゲーム



意思疎通できない



非協力ゲーム

		囚人B	
		黙秘	告白
囚人A	黙秘	(禁固 1年、 禁固 1年)	(禁固 10年、 禁固 半年)
	告白	(禁固 半年、 禁固 10年)	(禁固 3年、 禁固 3年)

囚人のジレンマゲーム

		プレイヤーB	
		協力	非協力
プレイヤーA	協力	(R = 3, R = 3) Reward	(S = 0, T = 5) Sucker
	非協力	(T = 5, S = 0) Temptation to defect	(P = 1, P = 1) Punishment

条件

$$T > R > P > S$$

$$R > (T + S)/2$$

協力しあった方が利得が高い($R = 3$)が、
結局は協力し合わない($P = 1$)



ジレンマ！

共有地の悲劇

共有地の悲劇

「自分さえ良ければ良い」が資源の枯渇をうむ状況

定義

$$D(m) > C(m+1)$$

自分以外の m 人が協力している時、

自分は協力するより、協力しない方が得

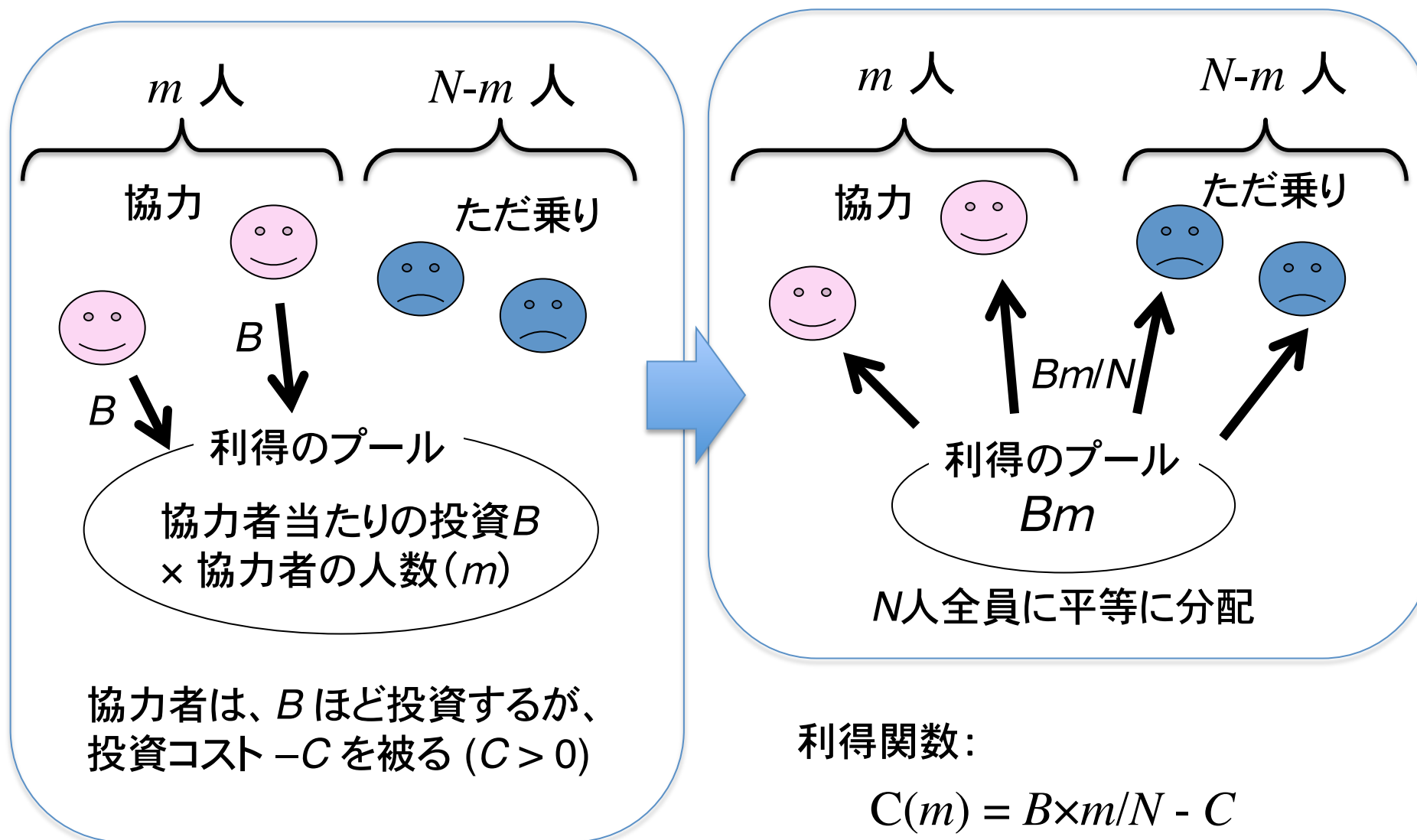
$$D(0) < C(N)$$

全員が協力しない時より、全員協力した方が得

$D(m)$: 自分は協力せず、自分以外の m 人が協力する時の、自分の利益

$C(m+1)$: 自分も協力し、自分以外の m 人協力する時の、自分の利益

共有地の悲劇



利得関数:

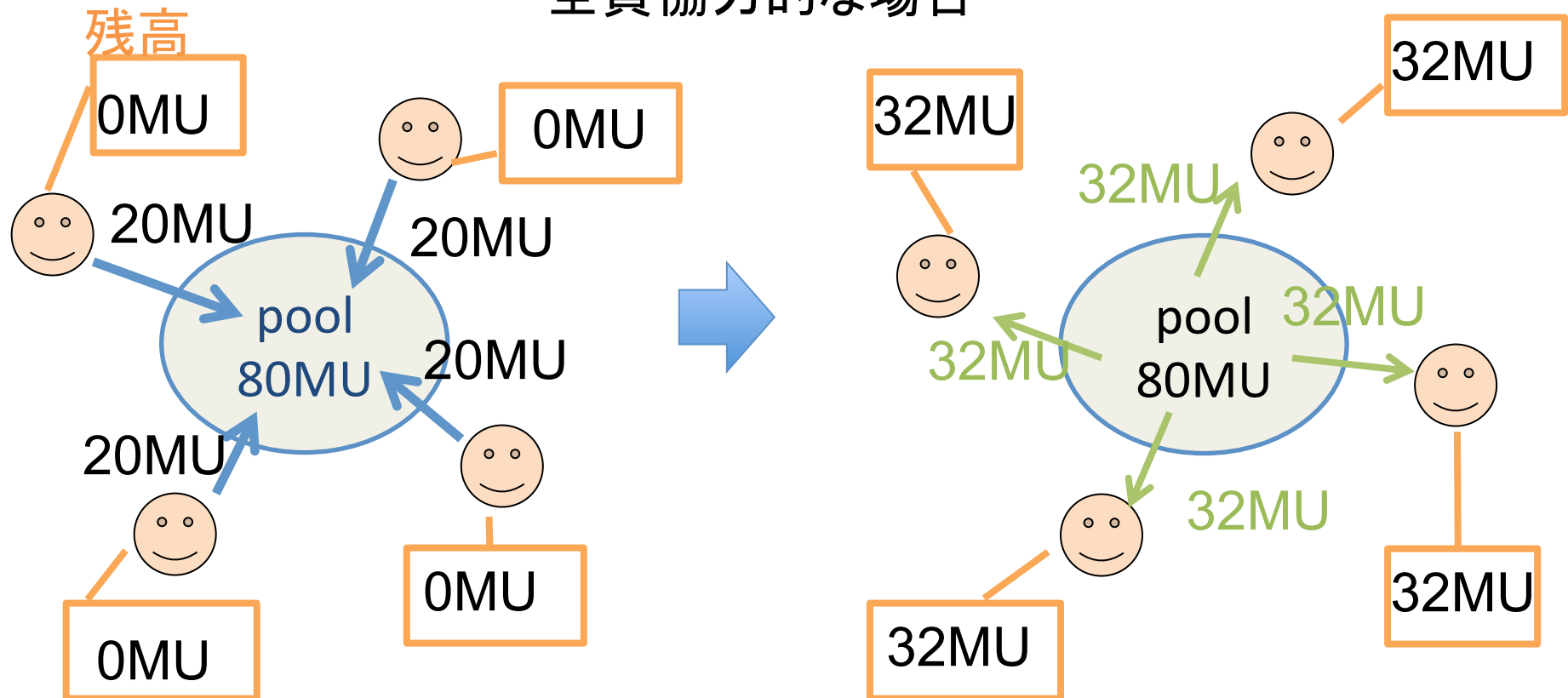
$$C(m) = B \times m / N - C$$

$$D(m) = B \times m / N$$

公共財ゲーム in Fehr & Gächter (2002)

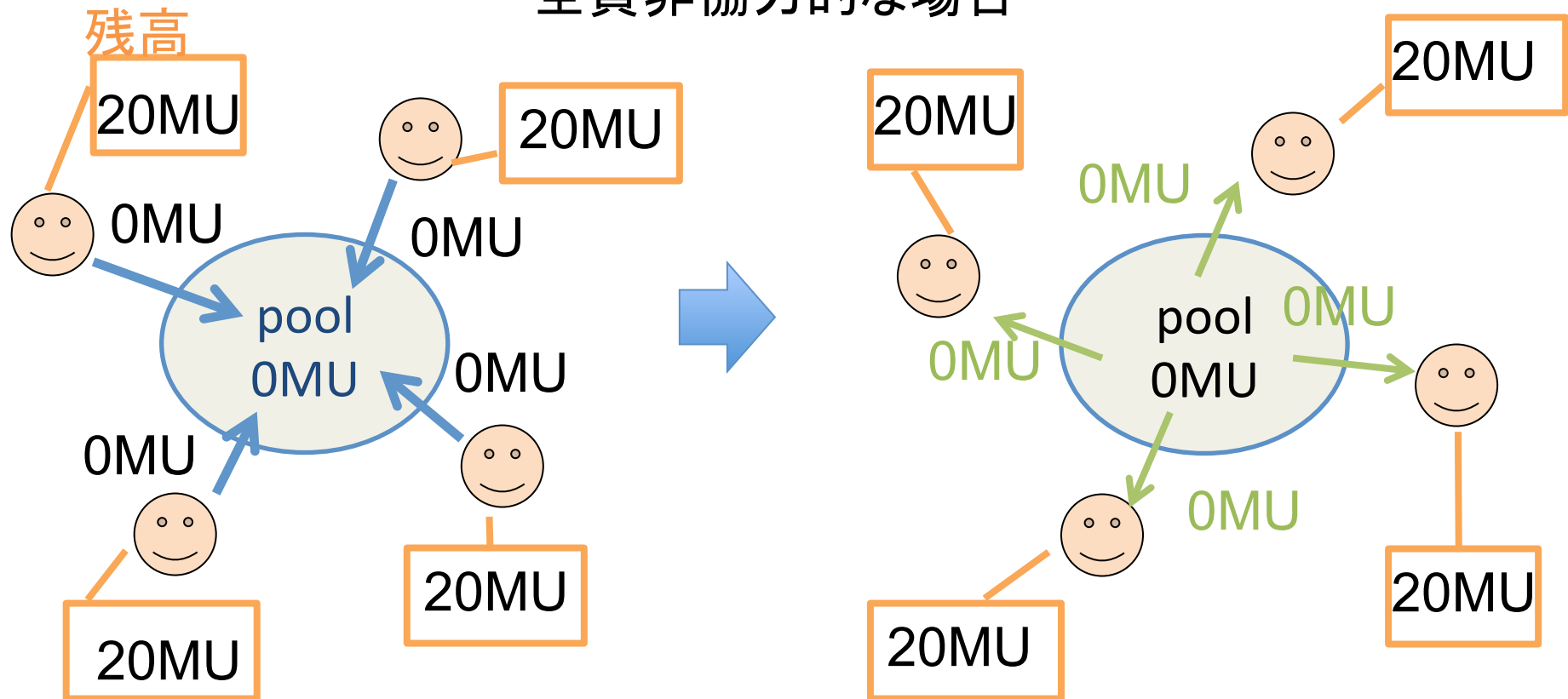
1人: 20MU配布
投資額: 0-20MU
戻り額: 0.4MU/1MUプール

全員協力的な場合



公共財ゲーム in Fehr & Gächter (2002)

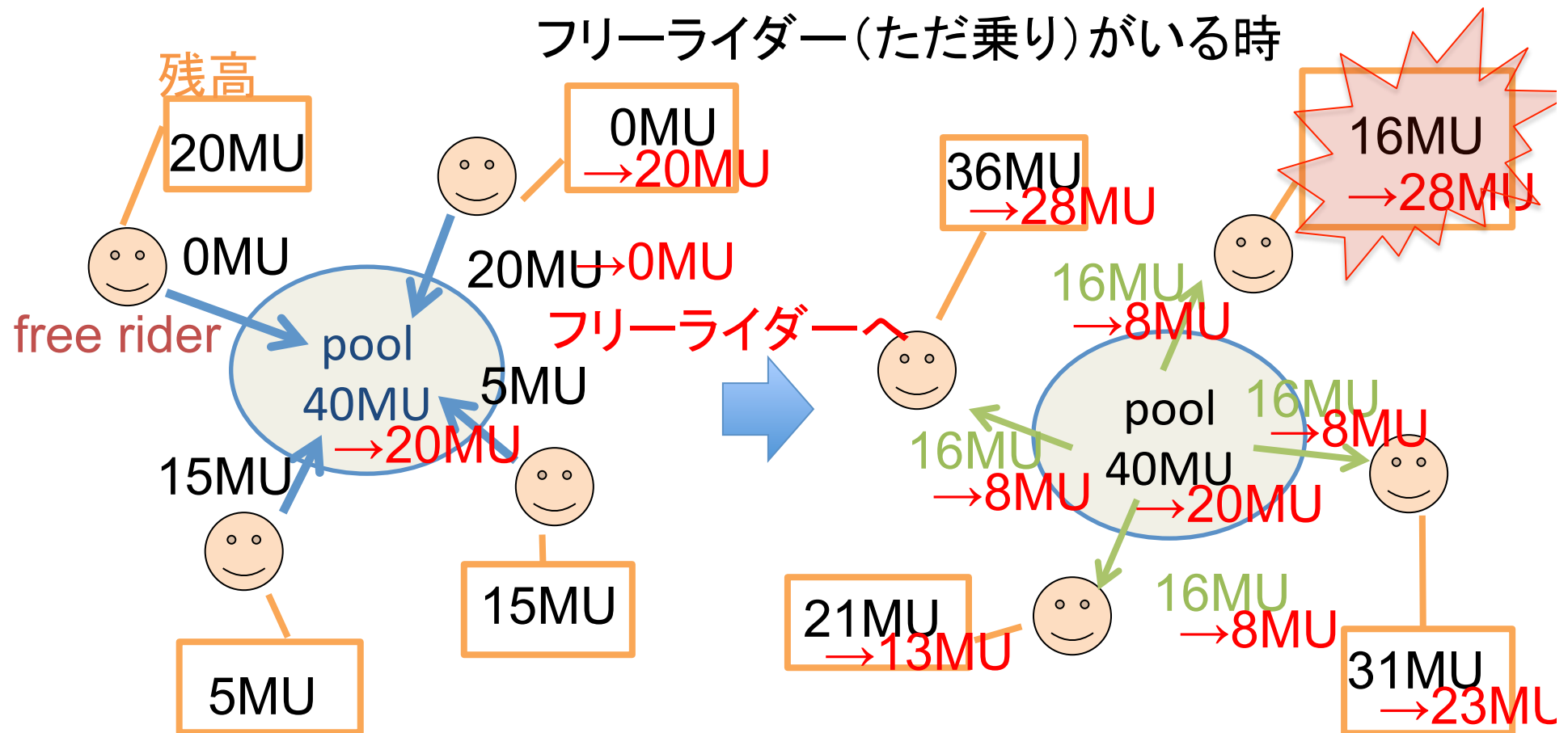
全員非協力的な場合



全員協力の際の利得 > 全員非協力の利得

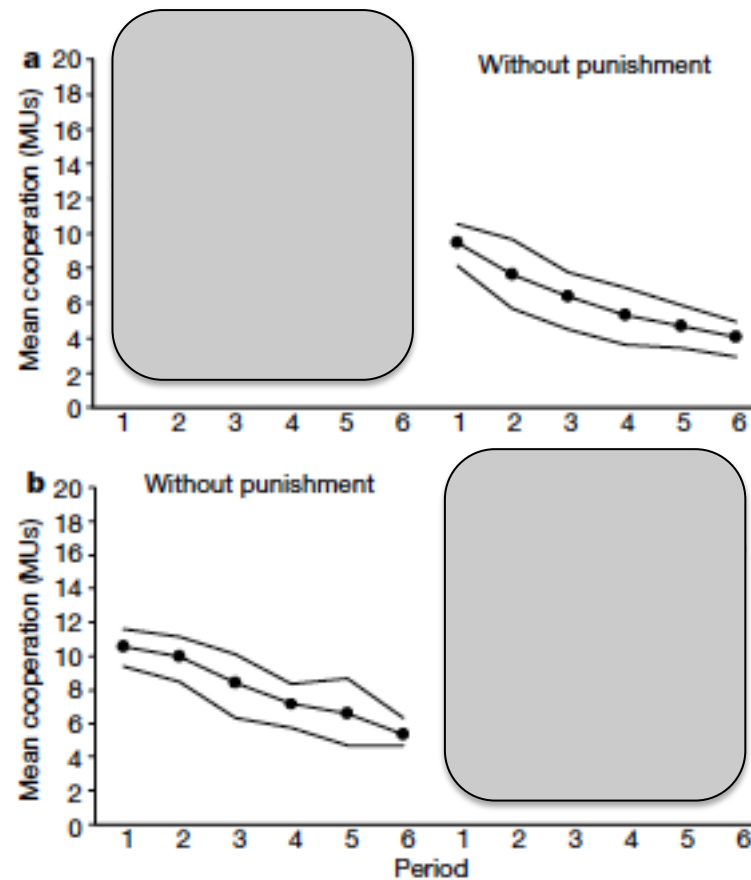
公共財ゲーム in Fehr & Gächter (2002)

フリーライダー(ただ乗り)がいる時



共有地の悲劇

Fehr and Gächter 2002 Nature



協力が実現できる条件とは？

研究例

血縁淘汰

ハミルトンルール

群淘汰

直接互恵性

繰り返し囚人のジレンマゲーム

間接互恵性

評判、ゴシップ

社会ネットワーク構造

空間構造の影響など

罰 あるいは 嫌がらせ

協力者＋罰行動

etc.....

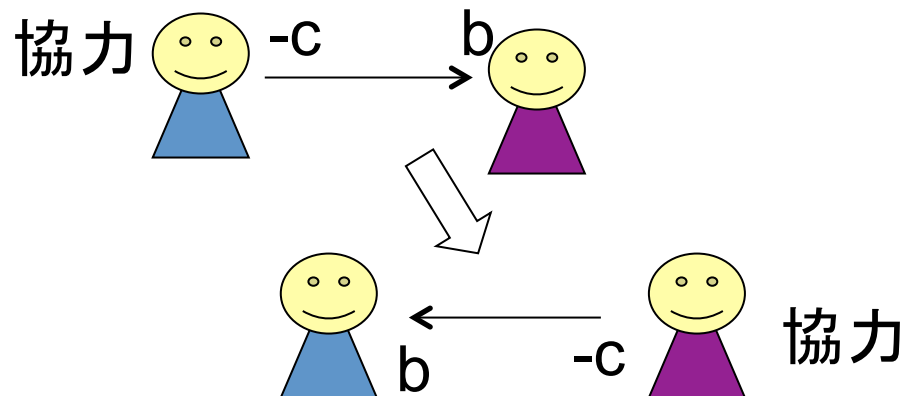
直接互惠性：繰り返しゲーム

直接互惠性

Trivers, Axelrod & Hamilton

互惠的利他行動

「繰り返して同じ相手と相互作用を行う時、お返しが戻ってくると、お互い協力のコストを補うことが可能となる」という考え



total $b-c$ となる！

囚人のジレンマゲーム

プレイヤーB			
プレイヤーA		協力 C	非協力 D
	協力 C	R=3 reward	S=0 sucker
	非協力 D	T=5 temptation to defection	P=1 punishment

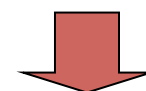
進化的な安定な戦略 ESS

囚人のジレンマの条件

$$T > R > P > S$$

$$R > (T + S)/2$$

お互い協力にならない



フォーク定理

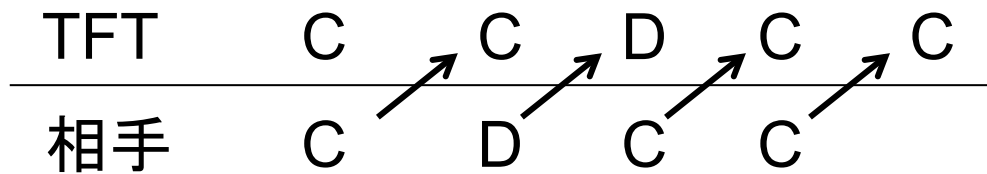
反復囚人のジレンマゲーム

反復囚人のジレンマゲーム

しっぺ返し戦略 (TFT: tit-for-tat)

初回は必ず協力

相手の前に出した手を真似る



反復囚人のジレンマゲーム

もし、反復ゲームの最終回が分かっているならば。。

最後に非協力したほうが得になる

最終回

player1	C	C	C	.....	C	D
player2	C	C	C	.....	C	C

2人ともそう考えると→その前の回も非協力するだろう

最終回

player1	C	C	C	.....	D	D
player2	C	C	C	.....	C	D

すると結局は→最初から協力しなくなるだろう

最終回

player1	D	D	D	.....	D	D
player2	D	D	D	.....	D	D

反復囚人のジレンマゲーム

最終回を設定せず、ゲームをする確率(w)を導入

w : 利得のdiscount rate (将来の値引率)とも考える事が出来る

回目	1	2	3	n
利得	R	Rw	Tw^2	Rw^{n-1}
ゲーム確率	1	w	w^2	w^{n-1}
player1	C	C	D	..... C
player2	D	C	C	..... C

TFTとAll-D

TFT vs TFT

	R	Rw	Rw^2	Rw^3	
TFT	C	C	C	C	...
TFT	C	C	C	C	...

$$E[\text{TFT}, \text{TFT}] = R + Rw + Rw^2 + \dots = R/(1-w)$$

非協力者 (All-Defect, or All-D) vs TFT

$$E[\text{AD}, \text{TFT}] = T + Pw/(1-w)$$

	T	Pw	Pw^2	Pw^3	
All-D	D	D	D	D	...
TFT	C	D	D	D	...
	S	Pw	Pw^2	Pw^3	

$$E[\text{TFT}, \text{AD}] = S + Pw/(1-w)$$

進化的な安定な戦略

TFTがESS $E[\text{TFT}, \text{TFT}] > E[\text{AD}, \text{TFT}]$ の時

$$R/(1-w) > T + Pw/(1-w) \Rightarrow w > (T - R)/(T - P)$$

例) 先ほどの利得表では $w > 0.5$
つまり、2回以上反復したとき

ADがESS $E[\text{AD}, \text{AD}] > E[\text{TFT}, \text{AD}]$ の時

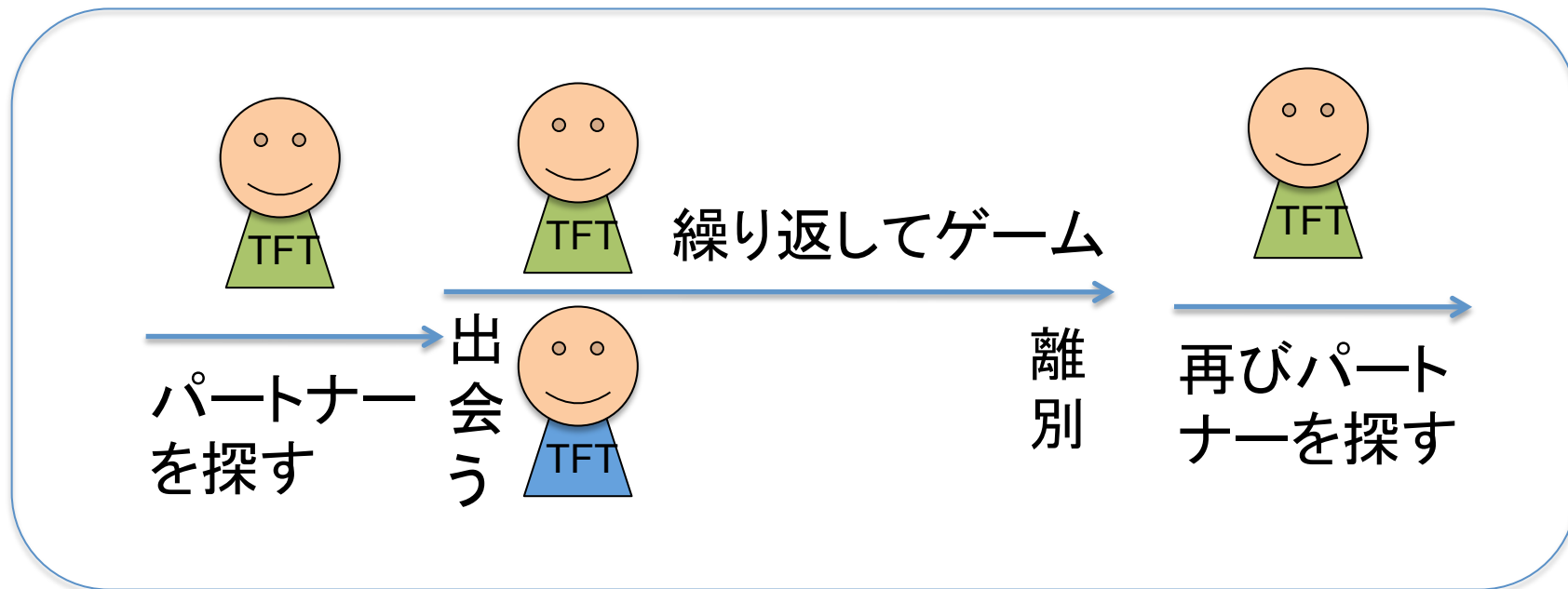
$$P/(1-w) > S + Pw/(1-w) \Rightarrow 1 > w \quad \text{いつでも成立}$$

つまり、いつでもADはTFTに対してESS

ADの沢山いる集団へTFTは侵入できない！

Partner choice・・・

ゲームのパートナーを探す時間がかかるときに、
TFTがAIIDに対して進化的に安定にある条件
(Enquist & Leimar, 1993)



最適採餌理論のモデルに似ている！

Partner choice

T 時間 単位時間当たりゲームをする確率が w の時の、平均
ゲーム継続時間(ゲーム時間)

$$T = \sum_{i=1}^{\infty} i w^{i-1} (1-w) = \frac{1}{1-w}$$

$w^{i-1}(1-w)$: 時刻 $(i-1)$ まではゲームをして、
時刻 i でゲームをやめる確率

F時間: パートナーを探すのにかかる時間の平均値(探索時間)

$1-f$: 単位時間当たりの、パートナーに出会う確率

$$F = \sum_{i=1}^{\infty} i f^{i-1} (1-f) = \frac{1}{1-f}$$

L 時間: 単位時間当たりの生存確率が λ のときの、平均生存時間

$$L = \sum_{i=1}^{\infty} i \lambda^{i-1} (1-\lambda) = \frac{1}{1-\lambda}$$

Partner choice

$L \gg W, F$ と仮定する

→ 出会う前や、ゲーム中に突如死んでしまうことはない

TFT同士で出会うと、 w の確率で繰り返しゲームを行う

ゲーム時間: T

TFTがAIIDに出会うと、1回のみでゲームを終わらせるとする

TFTもAIIDも、探索時間(F)は同じとする

Partner choice

TFTがTFTと出会うときの、単位時間当たりの利得

$$\frac{\text{TFT vs. TFTの利得}}{\text{探索時間} + \text{ゲーム時間}} = \frac{(b-c)/(1-w)}{F + T} = \frac{T(b-c)}{F + T}$$

TFTばかりの集団での、TFTの生涯利得

$$W(\text{TFT}) = \frac{T(b-c)}{F + T} L + w_0$$

Partner choice

AIIDがTFTと出会うときの、単位時間当たりのAIID利得

$$\frac{\text{AIID vs. TFTの利得}}{\text{探索時間} + \text{ゲーム時間}} = \frac{b}{F + 1}$$

TFTが大多数派、AIIDが少数派の時の、AIIDの生涯利得

$$W(\text{AIID}) = \frac{b}{F + 1} L + w_0$$

Partner choice

TFTが進化的に安定になる条件

TFTばかりの集団
のTFTの利得

>

TFTばかりの集団で
AIIDが少数派のときの、
AIIDの利得



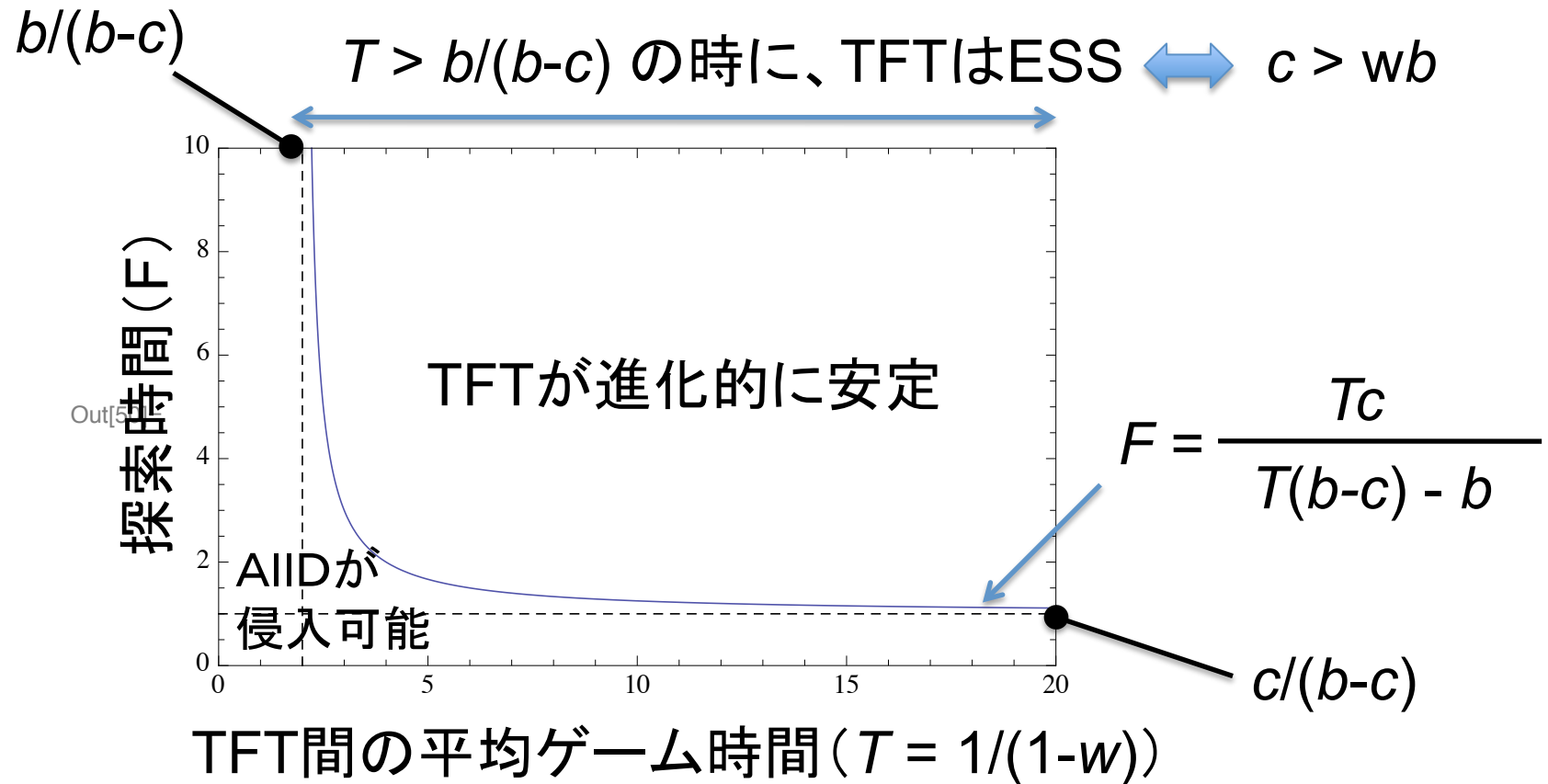
$$W(\text{TFT}) > W(\text{AIID})$$



$$\frac{T(b-c)}{F+T} L + w_0 > \frac{b}{F+1} L + w_0$$

→ $F > \frac{Tc}{T(b-c) - b} \xrightarrow{T \rightarrow \infty} \frac{c}{b-c}$

Partner choice



間違い(エラー)があるとなくなる？

TFT vs TFT

間違って「D」を出すと。。



TFT	C	D
TFT	C	C



TFT	C	D	C	D	C	...
TFT	C	C	D	C	D	...

協力関係が崩壊する

間違い(エラー)がある時、どの戦略が協力を再構築出来る？

パブロフ(Pavlov)

win-stay, lose-shiftという戦略をとる

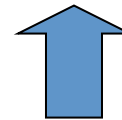
始めは協力。

利得がT, Rであれば、手番そのまま。

利得がP, Sであれば、手を変える

	<i>R</i>		<i>S</i>	<i>P</i>		
Pavlov	C	C	C	D	C	...
Pavlov	C	C	D	D	C	...

間違っって「D」を出すと。。

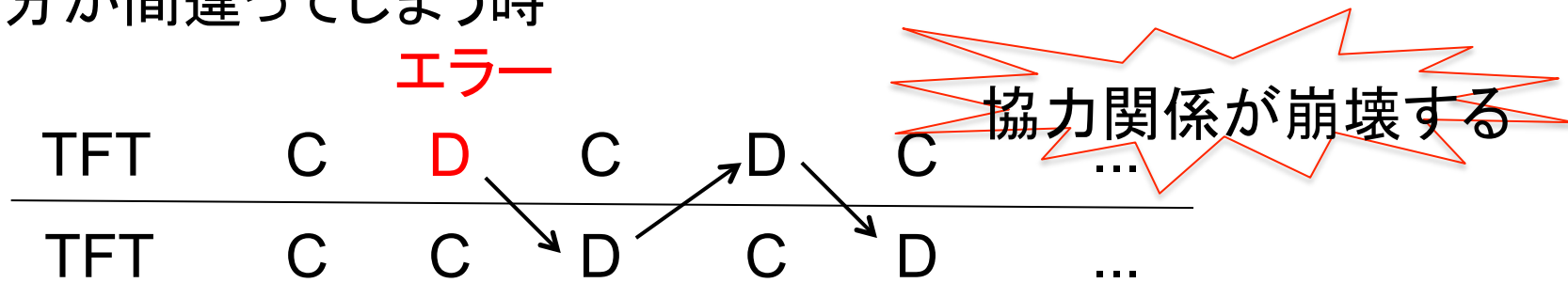


再び協力関係へ

サグデン (Sudgen, 1986) のアプローチ

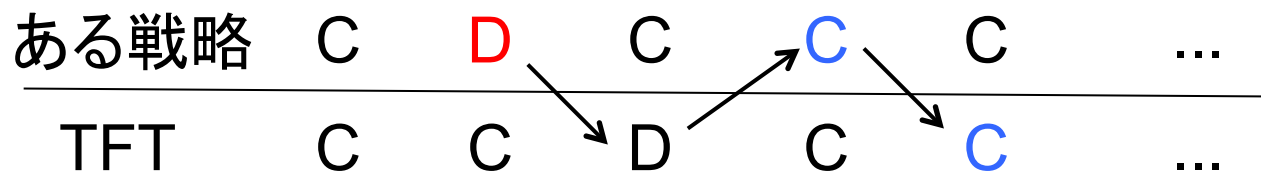
自分が間違ってしまう時

エラー



エラー後の2回後に「協力」すれば、協力関係がもどるだろう

エラー



サグデンはTFTの変形戦略を考えた(T_1 と呼ぶ)

サグデン(Sudgen, 1986)の戦略 T_1

- 「評判の良し悪し」の導入
 - 評判の良いプレイヤーは相手から協力してもらう資格がある、と考える
- 戦略 T_1 の行動(協力/非協力)
 - 相手の評判が良い(g)か、またはあなたの評判が悪い(b)と、あなたは協力する。他の場合には非協力。
- 評判の付け方
 - 両プレイヤーとも評判は良い(g)、と仮定
 - 戦略 T_1 のルールにおいて、
 - 協力すべき時に
 - 実際に協力をするなら→自分は良い評判(g)
 - 実際は(エラー等で)非協力すると→自分は悪い評判(b)
 - 評判が悪くなった時→どこかで1回協力すれば、良い評判(g)を取り戻せる

戦略 T_1 について

t 回目の自分の行動

		t-1 回目の相手の評判	
		g	b
t-1 回目の自分の評判	g	C	D
	b	C	C

t 回目の自分の評判

		t-1 回目の相手の評判	
		g	b
t-1 回目の自分の行動	C	g	g
	D	b	g

* t-1 回目の自分の評判に依存せず

戦略 T_1 について

戦略 T_1 の行動 (協力/非協力)

相手の評判が良い (g) か、またはあなたの評判が悪い (b) と、あなたは協力する。他の場合には非協力。

t 回目の自分の行動

		t-1 回目の相手の評判	
		g	b
t-1 回目の自分の評判	g	C	D
	b	C	C

t 回目の自分の評判

		t-1 回目の相手の評判	
		g	b
t-1 回目の自分の行動	C	g	g
	D	b	g

* t-1 回目の自分の評判に依存せず

戦略 T_1 について

評判の付け方

戦略 T_1 のルールにおいて、
協力すべき時に

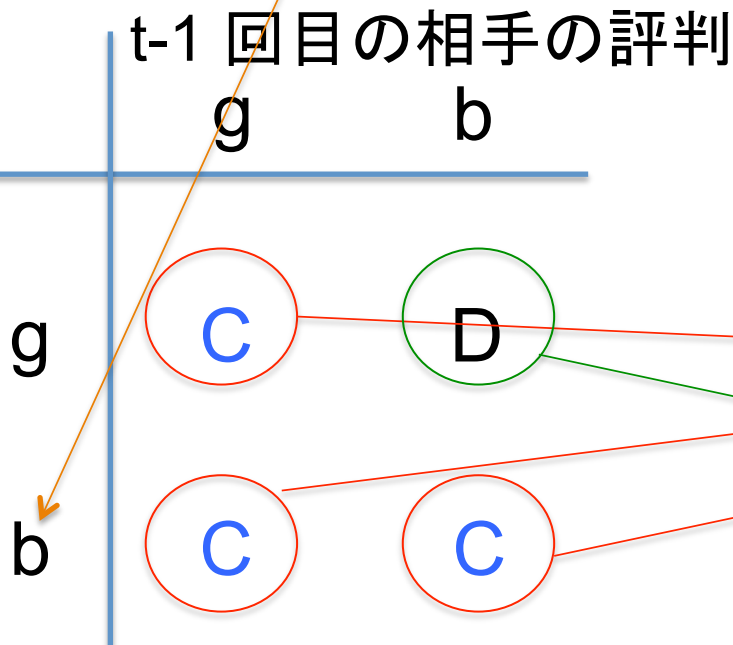
実際に協力をするなら→自分は良い評判(g)

実際は(エラー等で)非協力すると→自分は悪い評判(b)

評判が悪くなった時→どこかで1回協力すれば、良い評判(g)を取り戻せる

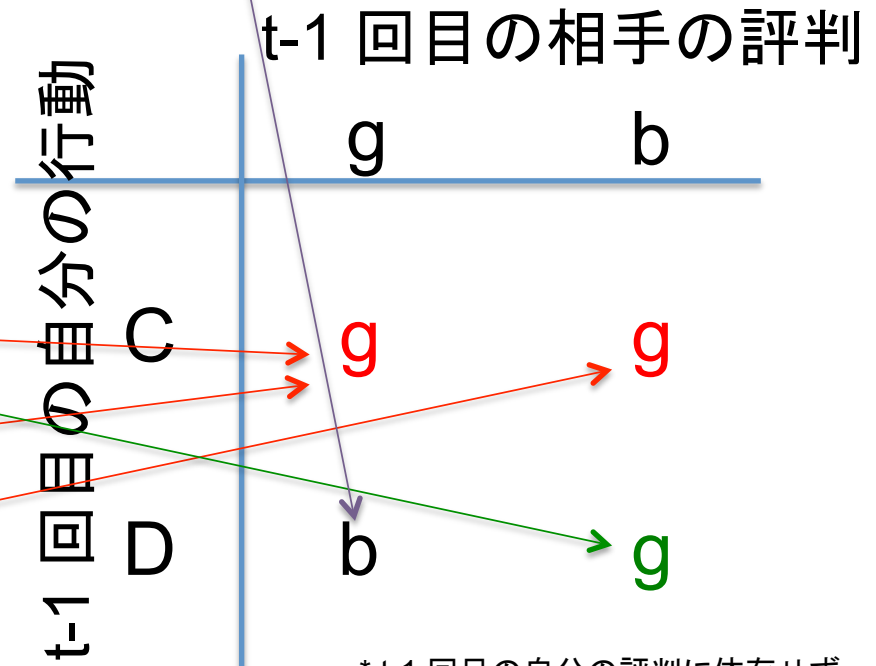
t 回目の自分の行動

t-1 回目の自分の評判



t 回目の自分の評判

t-1 回目の自分の行動



* t-1 回目の自分の評判に依存せず

T_1 vs. T_1

implementation error



自分の評判	g	g	b	g
自分 T_1	C	D	C	C
相手 T_1	C	C	D	C
相手の評判	g	g	g	g

T_1 はAll-Dに利益をむさぼられないのか？

自分の評判	g		g		g		g	
自分 T_1		C		D		D		D
相手 All-D		D		D		D		D
相手の評判	g		b		b		b	

TFTと同様、最初は利益をむさぼられるが、
その後はむさぼられない

協力が実現できる条件とは？

研究例

血縁淘汰

ハミルトンルール

群淘汰

直接互惠性

繰り返し囚人のジレンマゲーム



間接互惠性

評判、ゴシップ

社会ネットワーク構造

空間構造の影響など

罰

協力者＋罰行動

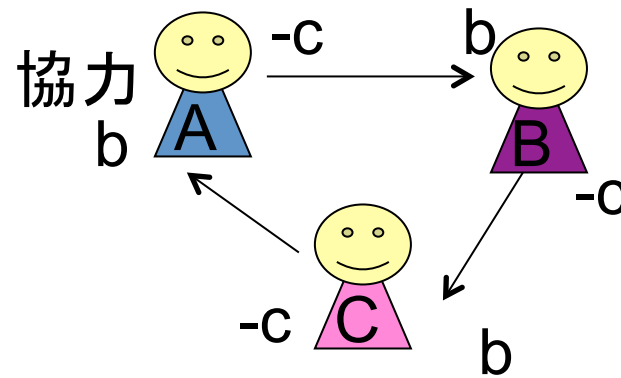
etc.....

初顔あわせの個体へなぜ協力？

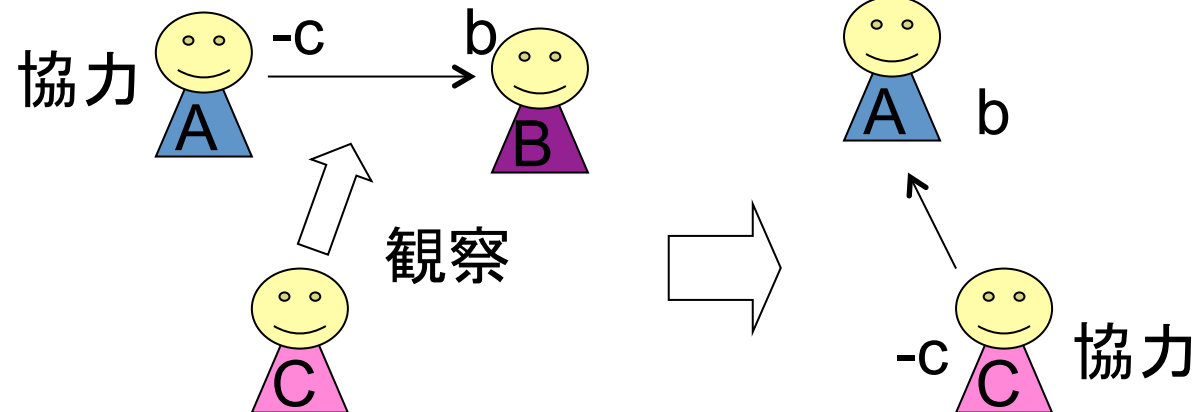
間接的互惠性

間接的互惠性 第3者から協力が戻ってくる

回り回って戻
る場合
(例)クラ



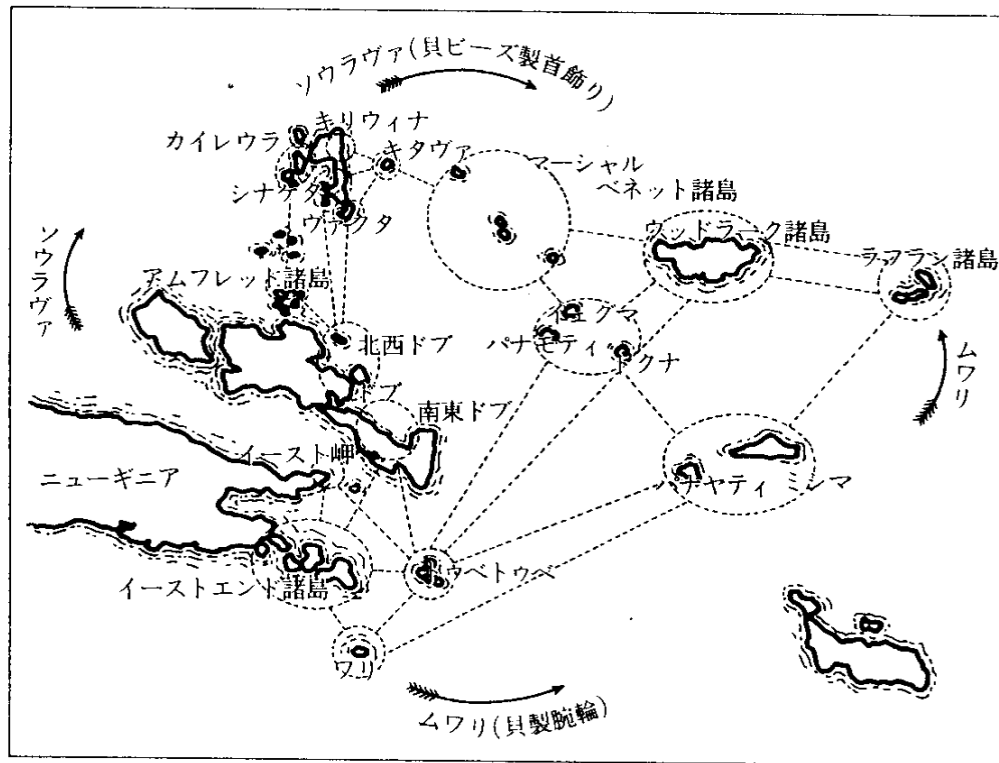
評判を介して協
力が戻ってくる
場合



マリノフスキー クラ交易(Kula)

一般交換(間接的互酬性)の例

クラの環(マリノフスキー『西太平洋の遠洋航海者』より)



図は「文化人類学事典？」より

複数の特定のパートナーの間で、ソラヴァ(首飾り)とムワリ(腕輪)をやりとりする。

ソラヴァは時計回りに循環し、ムワリは反時計回りに循環する。

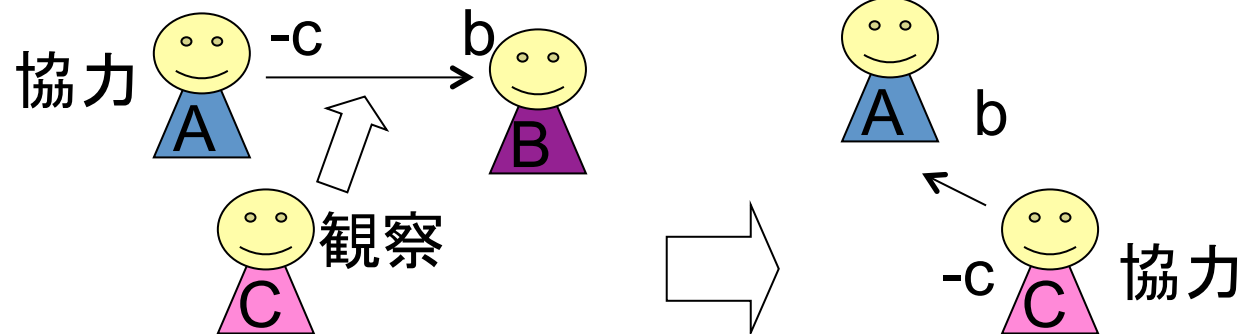
ソラヴァとムワリは同時的に交換されることはない。

ソラヴァとムワリは贈与と返礼という形をとり、間を開けてやりとりする。

クラ交換では、パートナーから受けた贈与に対しそれを上回る価値の財宝で返礼するために、人々(=男性)の「気前の良さ」を競ことになる。

間接的互惠性：評判を下にする場合

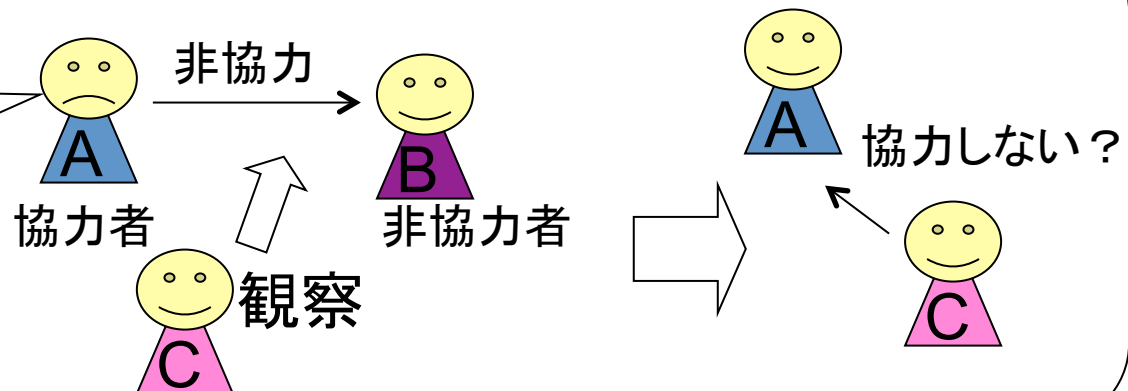
評判を介して協力が戻ってくる場合



協力している人を見て協力者と思うだけでは、評判によって協力行動が進化するには不十分

➡ 非協力者に対して協力しなかった場合にも、「非協力者」の評判になってしまう

Bは非協力者だから、協力しない！



サグデン(Sudgen, 1986) に帰って..

- 繰り返し囚人のジレンマゲームにおいて、「評判」を入れたモデル
 - 間接互惠性＋直接互惠性に関する研究

サグデンのルールについて再考

- 他のルールでも、協力を促進するものはあるのでは？
- 2度と同じプレイヤーとゲームをしない状況（一度きりの一方向の囚人のジレンマゲーム）において、検討
 - 間接互惠性の進化ゲーム研究
 - Leimar and Hammerstein (2001); Panchanathan and Boyd (2003) ; Takahashi and Mashima (2003) ; Ohtsuki and Iwasa (2004); Brandt and Sigmund (2004) etc

Indirect reciprocity (一度きりのゲームを仮定)

自分の行動

		相手の評判	
		g	b
自分の評判	g	C/D	C/D
	b	C/D	C/D

自分の評判

		前の自分の評判 = g		前の自分の評判 = b	
		前の相手の評判		前の相手の評判	
		g	b	g	b
自分の行動	C	g/b	g/b	g/b	g/b
	D	g/b	g/b	g/b	g/b

一度きりのゲームを仮定して、どのようなルールが協力を進化させるかを検討した

Indirect reciprocity

Ohtsuki & Iwasa (2004)による、協力がESSになるルール

自分の行動

		相手の評判	
		g	b
自分の評判	g	C	D
	b	C	*

自分の評判

		前の自分の評判 = g		前の自分の評判 = b	
		前の相手の評判		前の相手の評判	
		g	b	g	b
自分の行動	C	g	*	g	*
	D	b	g	b	*

良い評判の個体へ協力すると良い評判となる

良い評判の個体へ協力しないと悪い評判になる

本人の評判が高いときに、評判の悪い個体に対して非協力にふるまっても 評判はよいまま

協力が実現できる条件とは？

研究例

血縁淘汰

ハミルトンルール

群淘汰

直接互恵性

繰り返し囚人のジレンマゲーム

間接互恵性

評判、ゴシップ

社会ネットワーク構造

空間構造の影響など

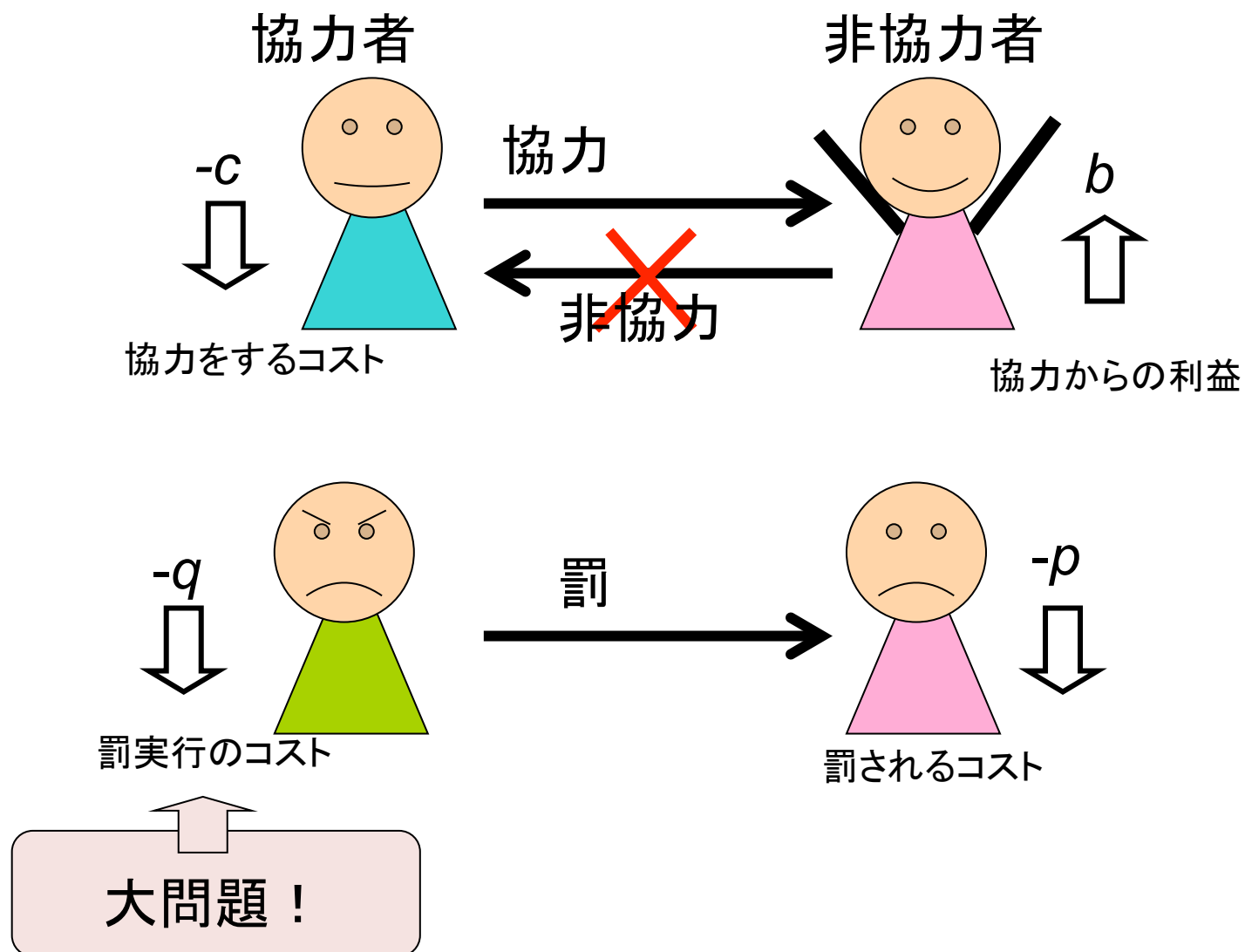
 罰

協力者＋罰行動

etc.....

共有地の悲劇と、逸脱者への罰の 導入

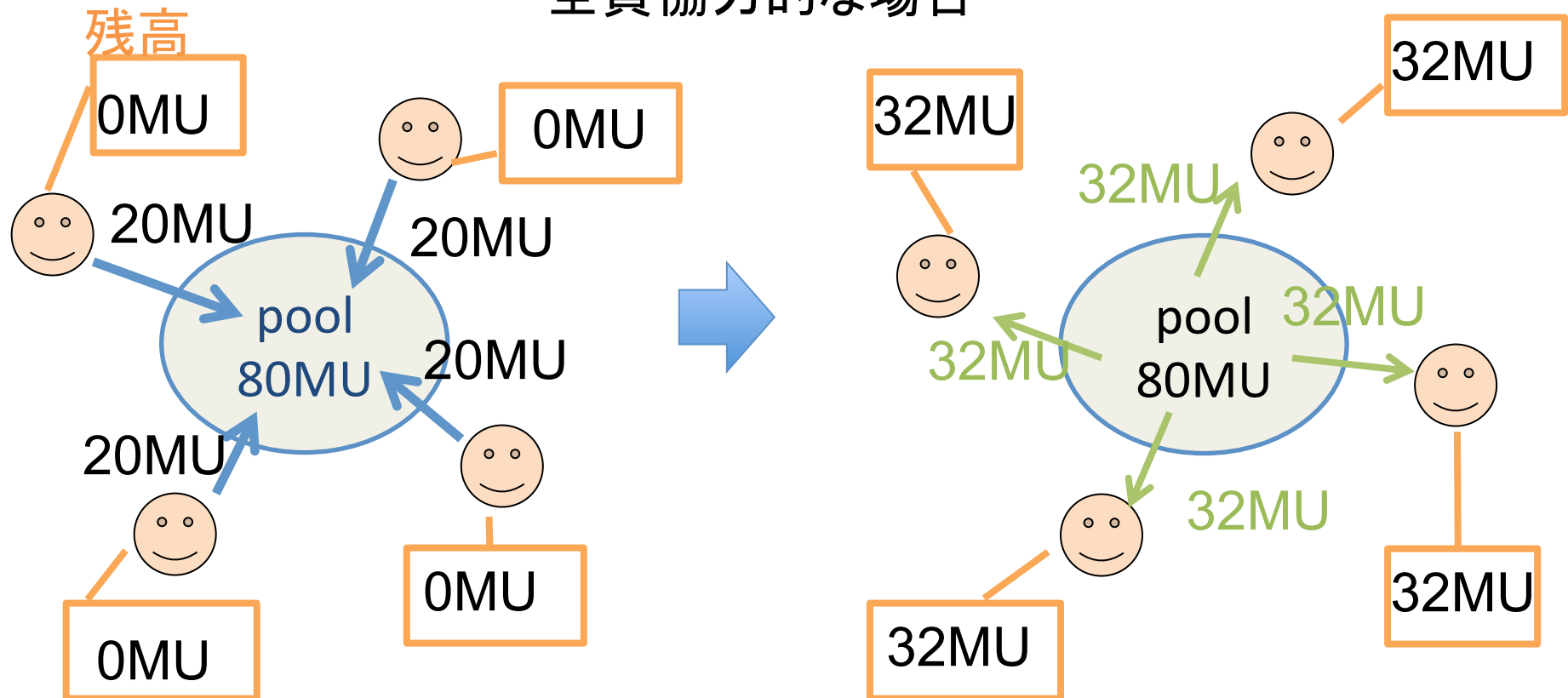
罰は協力を促進？



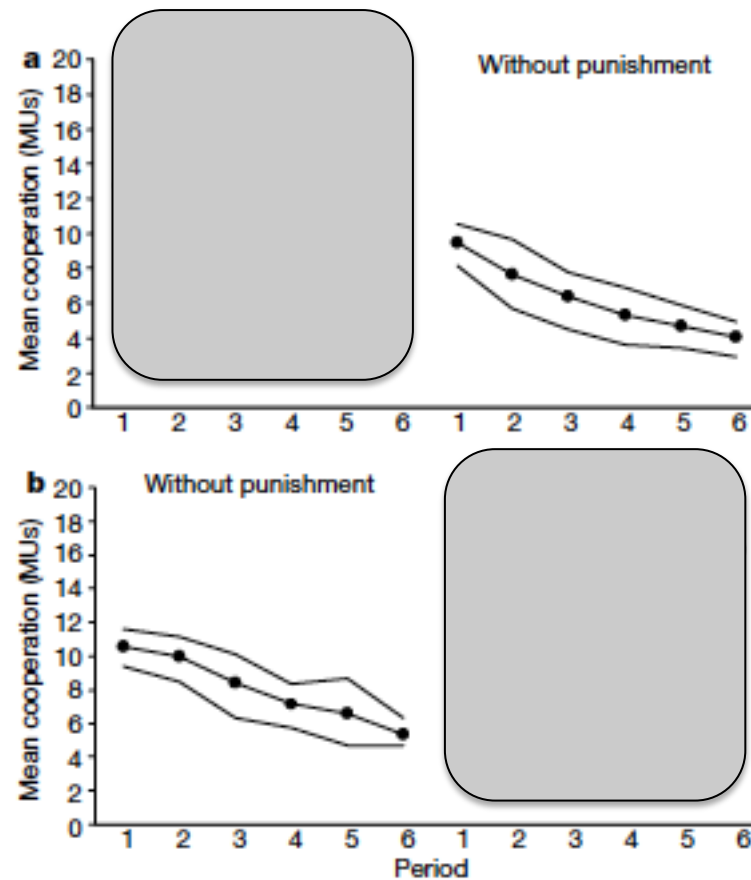
公共財ゲーム in Fehr & Gächter (2002)

1人: 20MU配布
投資額: 0-20MU
戻り額: 0.4MU/1MUプール

全員協力的な場合



Fehr and Gächter 2002 Nature



Fehr and Gächter 2002 Nature

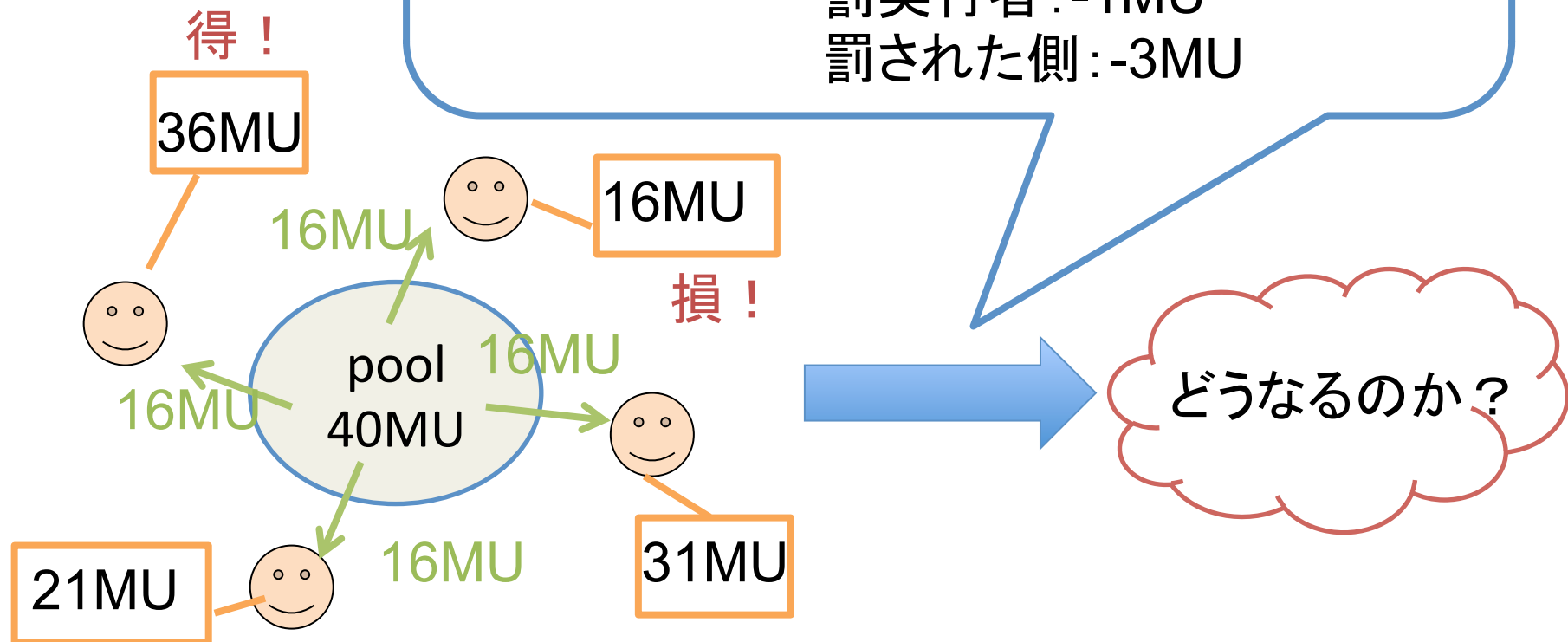
罰の導入...

0-10ポイントの範囲で罰可能

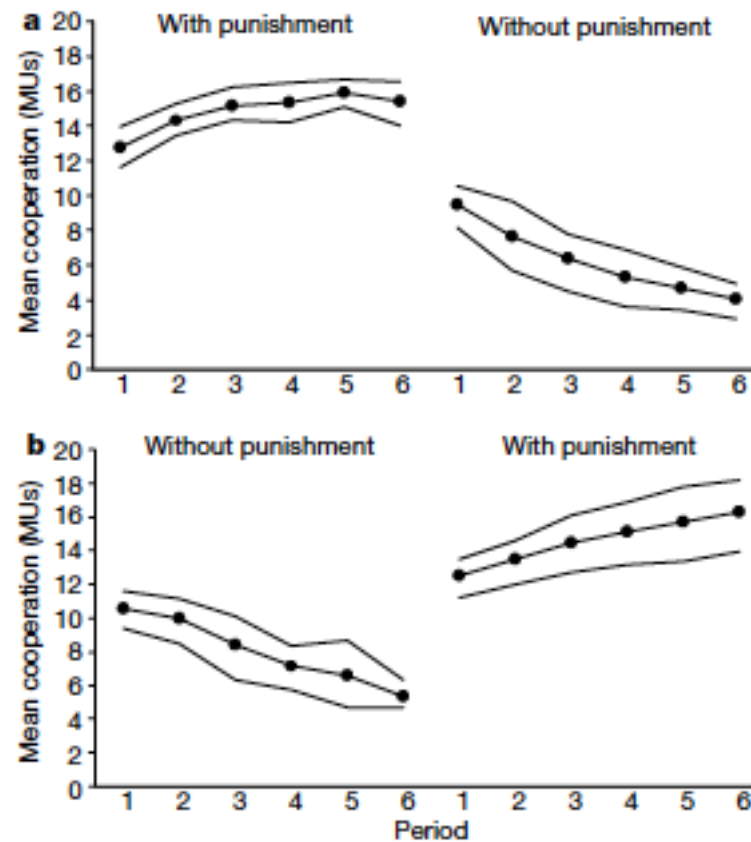
罰1ポイント毎

罰実行者:-1MU

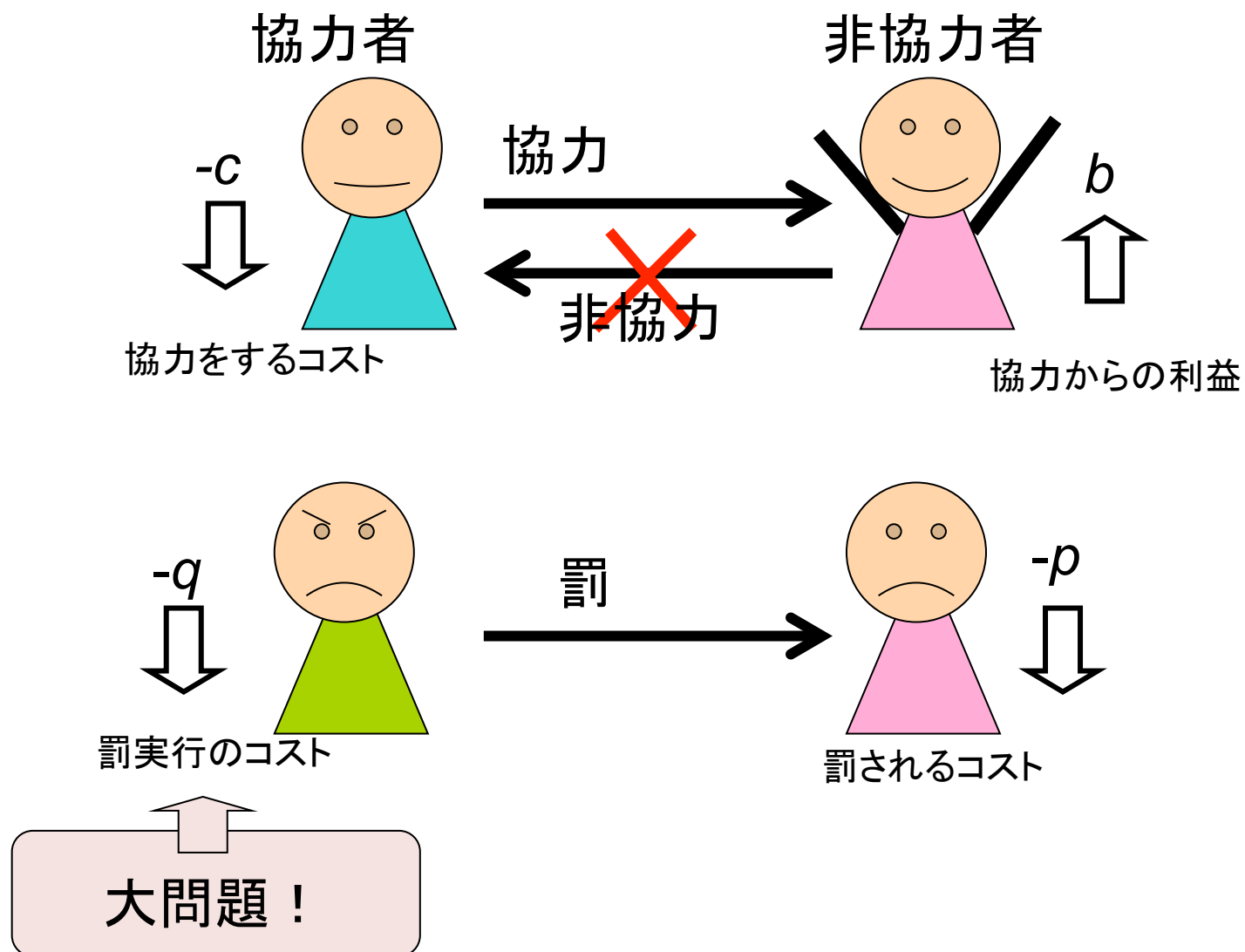
罰された側:-3MU



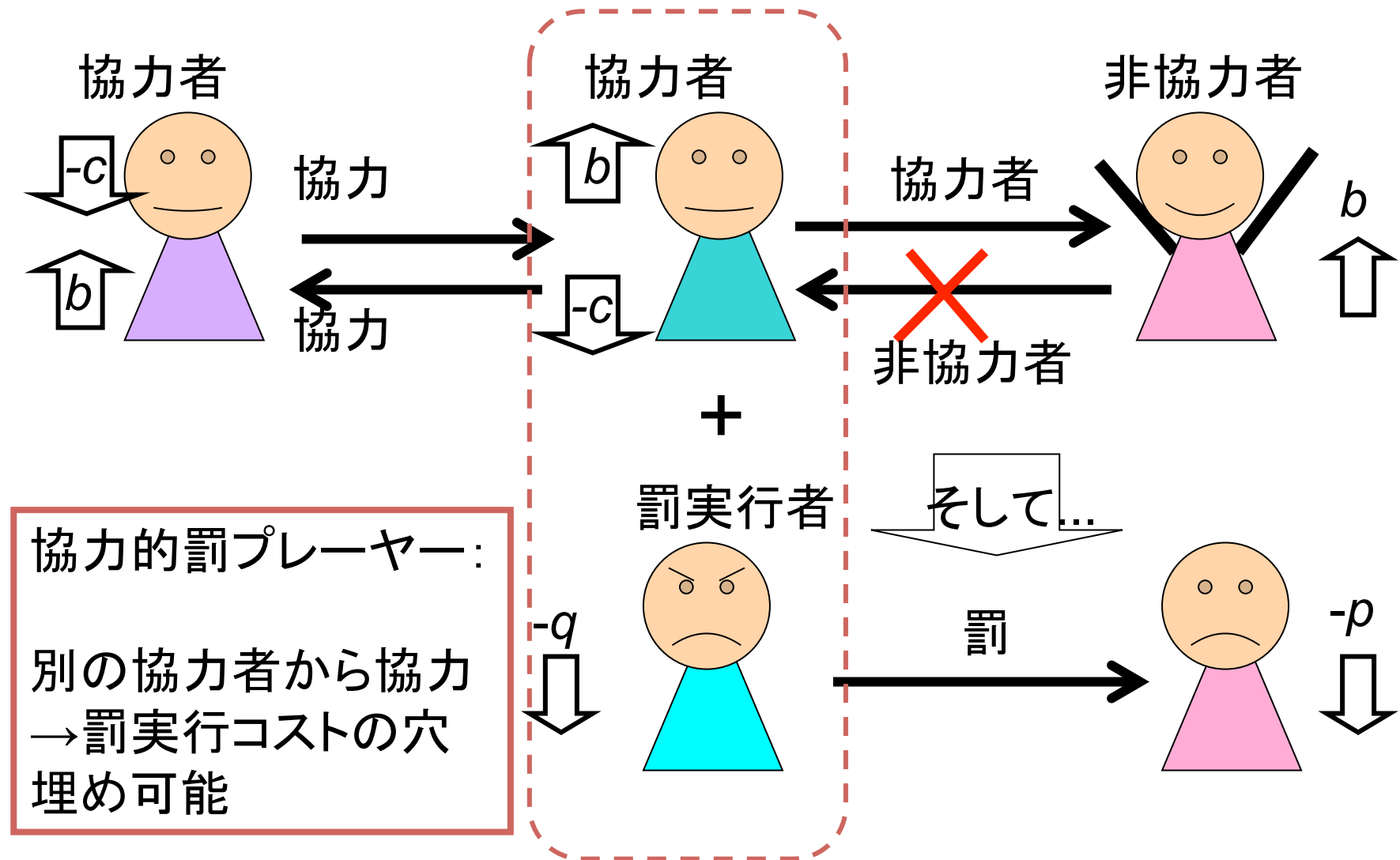
Fehr and Gächter 2002 Nature



罰は協力を促進？



協力的罰



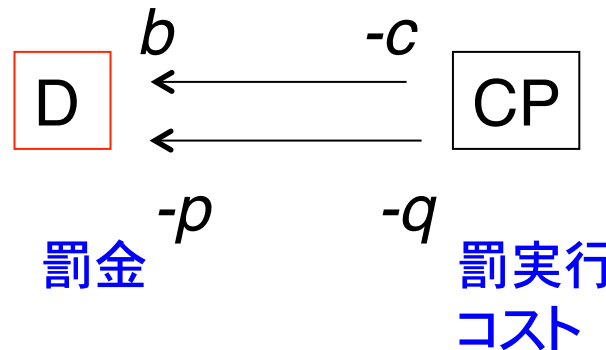
協力的罰と 非協力者の利得

		相手	
		協力的罰	非協力
自分	協力的罰 CP	$b-c$	$-c-q$
	非協力 D	$b-p$	0

協力のコスト



協力からの利益



$$b, c, p, q > 0$$