

知の探究

2. ゲーム理論とシミュレーション

堀田 敬介

サッカーのPK戦

キーパー 対 キッカー

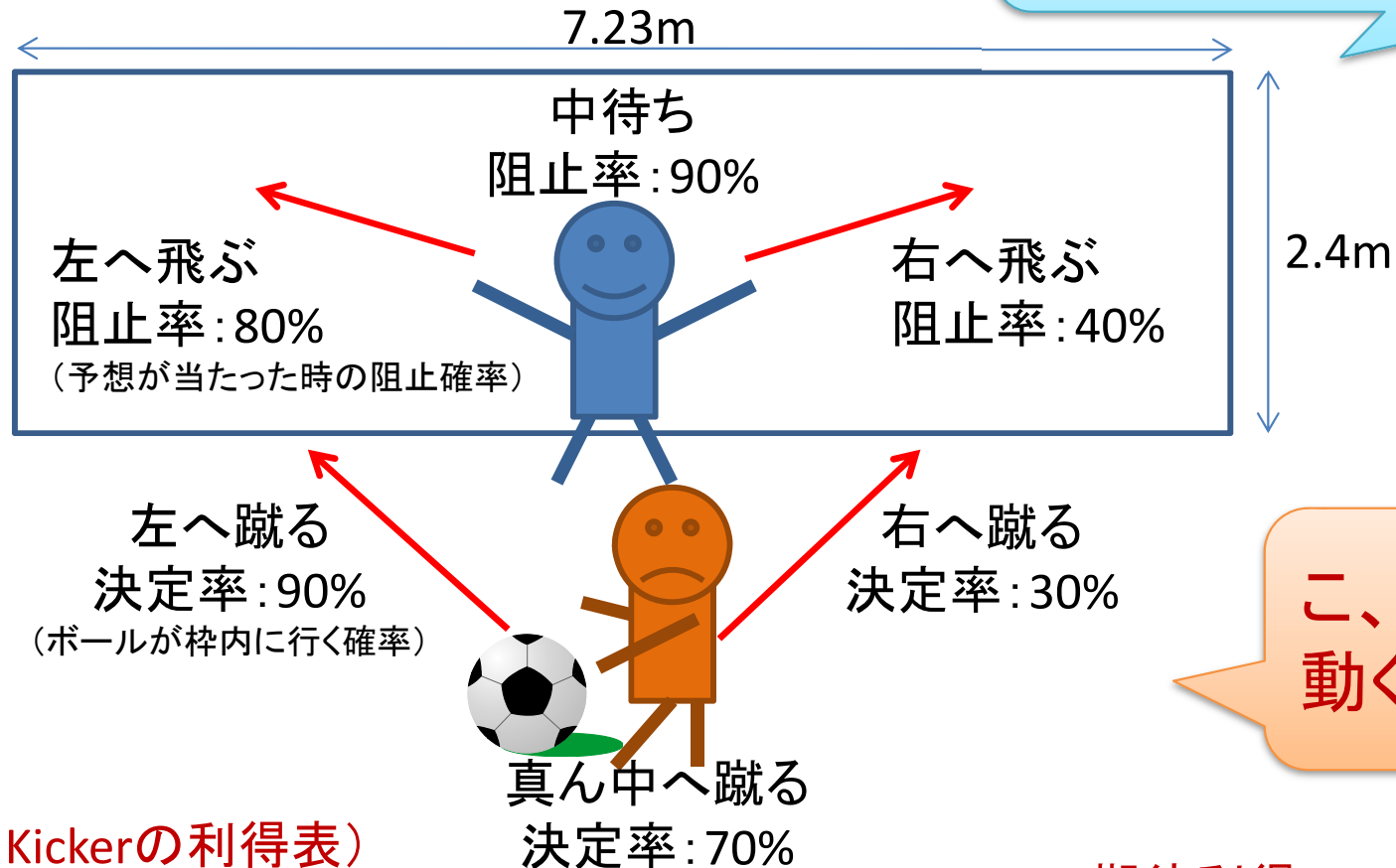
あたらないければ
どうということはない

キーパーの
混合戦略
(q_1, q_2, q_3)
 $q_1 + q_2 + q_3 = 1$
 $q_1, q_2, q_3 \geq 0$

キッカーの
混合戦略
(p_1, p_2, p_3)
 $p_1 + p_2 + p_3 = 1$
 $p_1, p_2, p_3 \geq 0$

ゴールする確率 (Kickerの利得表)

Kicker \ Keeper	左に飛ぶ	中待ち	右に飛ぶ
左へ蹴る	0.9×0.2	0.9	0.9
真ん中へ蹴る	0.7	0.7×0.1	0.7
右へ蹴る	0.3	0.3	0.3×0.6



こ、こいつ
動くぞ

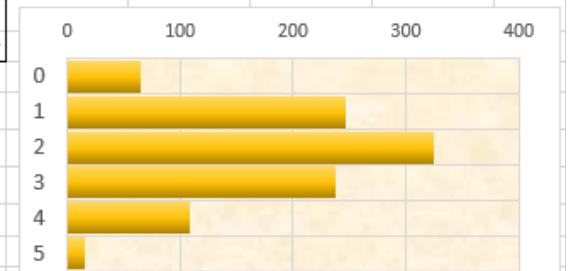
Kickerの期待利得
(=Keeperの期待損失)

$$0.18p_1q_1 + 0.9p_1q_2 + 0.9p_1q_3 \\ + 0.7p_2q_1 + 0.07p_2q_2 + 0.7p_2q_3 \\ + 0.3p_3q_1 + 0.3p_3q_2 + 0.18p_3q_3$$

サッカーのPK戦

• 実行例1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	PK戦のシミュレーション				<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q3</i>			シミュレーション																
2			keeper	混合戦略	0.6	0.1	0.3	1.0			kicker	keeper	ki	ke	ki	ke	得点	PK戦			PK戦					
3		kicker		阻止率	0.8	0.9	0.4				乱数	乱数			戦略	戦略	結果	結果			得点	集計				
4		混合戦略	決定率		左	中	右			1	0.243	0.170	1	1	左	左	0	0			0	65				
5	<i>p1</i>	0.3	0.9	左	0.18	0.9	0.9			2	0.101	0.418	1	1	左	左	0	0			1	246				
6	<i>p2</i>	0.2	0.7	中	0.7	0.07	0.7			3	0.814	0.263	3	1	右	左	0	0			2	324				
7	<i>p3</i>	0.5	0.3	右	0.3	0.3	0.18			4	0.841	0.978	3	3	右	右	0	1			3	238				
8		1.0								5	0.595	0.251	3	1	右	左	0	2			4	108				
9		E5 = IF(\$D5=E\$4, \$C5*(1-E\$3), \$C5)								6	0.563	0.992	3	3	右	右	0	3			5	15				
10		→ E5:G7へコピー								7	0.725	0.985	3	3	右	右	0	3								
11		B8 = SUM(B5:B7)								8	0.807	0.200	3	1	右	左	1	3								
12		H2 = SUM(E2:G2)								9	0.012	0.748	1	3	左	右	1	2								
13										10	0.305	0.962	2	3	中	右	1	1								
14		K4, L4 = RAND()								11	0.526	0.577	3	1	右	左	0	1								
15		M4 = IF(K4<=\$B\$5, 1, IF(K4<=(1-\$B\$7), 2, 3))								12	0.779	0.629	3	2	右	中	0	1								
16		N4 = IF(L4<=\$E\$2, 1, IF(L4<=(1-\$G\$2), 2, 3))								13	0.041	0.377	1	1	左	左	0	1								
17		O4 = INDEX(\$D\$5:\$D\$7, M4)								14	0.442	0.695	2	2	中	中	0	2								
18		→ P4へコピー								15	0.985	0.898	3	3	右	右	1	3								
19		Q4 = IF(RAND()<=INDEX(\$E\$5:\$G\$7, M4, N4), 1, 0)								16	0.174	0.233	1	1	左	左	0	2								
20		K4:Q4 → K5:Q1003 へコピー								17	0.671	0.025	3	1	右	左	0	2								
21										18	0.359	0.008	2	1	中	左	1	2								
22		R4 = SUM(Q4:Q8)								19	0.623	0.563	3	1	右	左	1	2								
23		→ R5:R999 へコピー								20	0.379	0.567	2	1	中	左	0	1								
24										21	0.847	0.138	3	1	右	左	0	2								
25		U4 = COUNTIF(\$R\$4:\$R\$999, T4)								22	0.265	0.427	1	1	左	左	0	3								
26		→ U5:U9 へコピー								23	0.304	0.154	2	1	中	左	1	3								
27										24	0.275	0.024	1	1	左	左	0	2								



サッカーのPK戦

・ 実行例2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	PK戦のシミュレーション					q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	シミュレーション																				
2		keeper	混合戦略	0.0	0.1	0.3	0.8	0.9	1.0				kicker	keeper	ki	ke	ki	ke	得点	PK戦				PK戦							
3		kicker		1	2	3	4	5					乱数	乱数			戦略	戦略	結果	PK戦				得点	集計						
4		混合戦略累積		阻止率	0.4	0.9	0.1	0.8	0.5				1	0.268	0.213	2	2	中左上	中	0	2			0	35						
5		0.0	1	決定率	左上	中	右上	左下	右下				2	0.683	0.591	5	3	左下	右上	1	3			1	168						
6	p_1	0.1	2	0.8	左上	0.48	0.8	0.8	0.8	0.8			3	0.089	0.187	1	2	左上	中	1	3			2	298						
7	p_2	0.3	3	0.6	中左上	0.6	0.06	0.6	0.6	0.6			4	0.131	0.247	2	2	中左上	中	0	3			3	315						
8	p_3	0.4	4	0.5	中右上	0.5	0.05	0.5	0.5	0.5			5	0.463	0.314	4	3	右上	右上	0	4			4	153						
9	p_4	0.5	5	0.2	右上	0.2	0.2	0.18	0.2	0.2			6	0.315	0.380	3	3	中右上	右上	1	5			5	27						
10	p_5	0.7	6	0.9	左下	0.9	0.9	0.9	0.18	0.9			7	0.104	0.707	2	3	中左上	右上	1	4										
11	p_6	0.8	7	0.7	中左下	0.7	0.07	0.7	0.7	0.7			8	0.264	0.734	2	3	中左上	右上	1	4										
12	p_7	0.9	8	0.4	中右下	0.4	0.04	0.4	0.4	0.4			9	0.791	0.833	6	4	中左下	左下	1	3										
13	p_8	1.0		0.3	右下	0.3	0.3	0.3	0.3	0.15			10	0.361	0.100	3	2	中右上	中	1	3										
14													11	0.462	0.132	4	2	右上	中	0	2			p_1	0.1	0.8	1	2	3	4	
15													12	0.623	0.156	5	2	左下	中	1	3			p_2	0.2	0.6	5	6	7	8	
16													13	0.950	0.939	8	5	右下	右下	0	2			p_3	0.1	0.5	kickerゴール決定率				
17													14	0.293	0.652	2	3	中左上	右上	1	3			p_4	0.1	0.2	0.8	0.6	0.5	0.2	
18													15	0.681	0.868	5	4	左下	左下	0	2			p_5	0.2	0.9	0.9	0.7	0.4	0.3	
19													16	0.070	0.146	1	2	左上	中	1	3			p_6	0.1	0.7					
20													17	0.950	0.520	8	3	右下	右上	0	3			p_7	0.1	0.4					
21													18	0.792	0.823	6	4	中左下	左下	1	3			p_8	0.1	0.3					
22													19	0.279	0.220	2	2	中左上	中	0	2			1.0		q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	
23													20	0.725	0.620	6	3	中左下	右上	1	3			keeper 混合戦略	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	1.0	
24													21	0.881	0.949	7	5	中右下	右下	1	3			阻止率	0.4	0.9	0.1	0.8	0.5		
25													22	0.307	0.453	3	3	中右上	右上	0	3					ゴール枠					
26													23	0.348	0.261	3	2	中右上	中	0	4					1	2		3		
27													24	0.195	0.486	2	3	中左上	右上	1	4					4			5		
28													25	0.015	0.970	1	5	左上	右下	1	4					keeperゴール阻止率					
29													26	0.136	0.571	2	3	中左上	右上	1	4					0.4	0.9		0.1		
30													27	0.170	0.665	2	3	中左上	右上	1	3					0.8			0.5		
31													28	0.468	0.179	4	2	右上	中	0	2										
32													29	0.260	0.470	2	3	中左上	右上	1	2										
33													30	0.699	0.467	5	3	左下	右上	1	1										
34													31	0.971	0.643	8	3	右下	右上	0	0										

タカハトゲーム

・ タカ戦略 対 ハト戦略

- タカ戦略 ... 相手をやっつけて餌(4)を独占しようとする
- ハト戦略 ... 見つけた餌(4)を分け合って食べる

な、殴ったね！



殴ってなぜ悪いか！
貴様はいい、そうして喚
いていれば気分も晴れ
るんだからな！



利得表

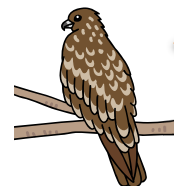
- タカとタカが出会ったら ... 殴り合い、勝者が独占(4), 敗者は大怪我(-6). 勝率は1/2
- タカとハトが出会ったら ... タカが餌を独占(タカ4, ハト0)
- ハトとハトが出会ったら ... 餌を分け合う(2)

	タカ	ハト
タカ	(-1, -1)	(4, 0)
ハト	(0, 4)	(2, 2)

2度もぶった！ 親父にも
ぶたれたことないのに！



それが甘ったれなんだ！ 殴ら
れもせずに一人前になった奴
がどこにいるものか！



タカハトゲーム

- 実行例)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB										
1	タカハトゲーム				シミュレーション																																	
2	プレイヤーAの利得表				世代				世代				世代				世代				世代				世代				世代									
3	A/B	タカ	ハト		1				2				3				4				5				6				7				8					
4	タカ	-1	4		タカ派	1	50%		1	55%	348		1	68%	418		1	67%	194		1	67%	249		1	74%	329		1	66%	150		1	70%				
5	ハト	0	2		ハト派	2	50%		2	45%	286		2	32%	198		2	33%	96		2	33%	120		2	26%	114		2	34%	76		2	30%				
6	F7 = IF(RAND() $\lt$ G\$4, 1, 2)				A				A				A				A				A				A				A				A					
7	G7 = IF(RAND() $\lt$ G\$4, 1, 2)				1				1				1				1				2				1				1				1					
8	H7 = INDEX(\$B\$4:\$C\$5, F7, G7)				2				1				1				1				2				2				1				1					
9	→F7:H7をF8:H506へコピー				3				1				1				2				2				1				1				1					
10	K4 = SUMIF(F\$7:F\$506, I4, H\$7:H\$506)				4				2				1				1				1				1				1				1					
11	→K5へコピー				5				1				1				2				2				1				1				1					
12	J3 = G3+1				6				1				2				2				2				2				1				2					
13	J4 = K4 / (K\$4+K\$5) →J5へコピー				7				2				2				1				2				2				1				2					
14	F7:H506をI7:K506へコピー				8				1				2				2				2				2				1				2					
15	ここまで出来たら、3列(列I:K)をコピーし、列L:Qへ貼り付け				9				1				2				2				2				2				1				2					
16	B20 = HLOOKUP(\$A20, \$G\$3:\$CQ\$5, B\$18, FALSE)				10				2				2				2				2				2				1				2					
17	→B20をB20:C49へコピー				11				2				2				2				2				2				1				2					
18	2 3			グラフ描画用のまとめの表	12				1				1				2				2				2				1				2					
19	世代	タカ	ハト		13				2				2				1				2				2				1				2					
20	1	50.0%	50.0%		14				2				2				1				2				2				1				2					
21	2	54.9%	45.1%		15				2				2				1				2				2				1				2					
22	3	67.9%	32.1%		16				1				2				2				2				2				1				2					
23	4	66.9%	33.1%		17				2				2				1				2				2				1				2					
24	5	67.5%	32.5%		18				2				2				2				2				2				1				2					
25	6	74.3%	25.7%		19				1				1				1				2				2				1				2					
26	7	66.4%	33.6%		20				2				2				1				2				2				1				2					
27	8	69.9%	30.1%		21				1				2				2				2				2				1				2					
28	9	60.8%	39.2%		22				1				1				1				2				2				1				2					
29	10	69.5%	30.5%		23				2				2				2				2				2				1				2					
30	11	58.1%	41.9%		24				2				2				2				2				2				1				2					
31	12	61.5%	38.5%		25				2				2				1				2				2				1				2					
32	13	69.5%	30.5%		26				1				2				2				2				2				1				2					
33	14	64.3%	35.7%		27				1				2				2				2				2				1				2					
34	15	58.8%	41.2%		28				2				2				2				2				2				1				2					
35	16	60.0%	40.0%		29				2				2				2				2				2				1				2					
36	17	63.7%	36.3%		30				1				1				1				2				4				1				2					
37	18	74.7%	25.3%		31				2				2				2				2				1				0				1				2	
38	19	59.8%	40.2%		32				2				2				2				2				1				0				1				2	
39	20	73.7%	26.3%		33				2				2				1				1				1				1				1				2	

タカ vs ハトシミュレーション

■ハト ■タカ

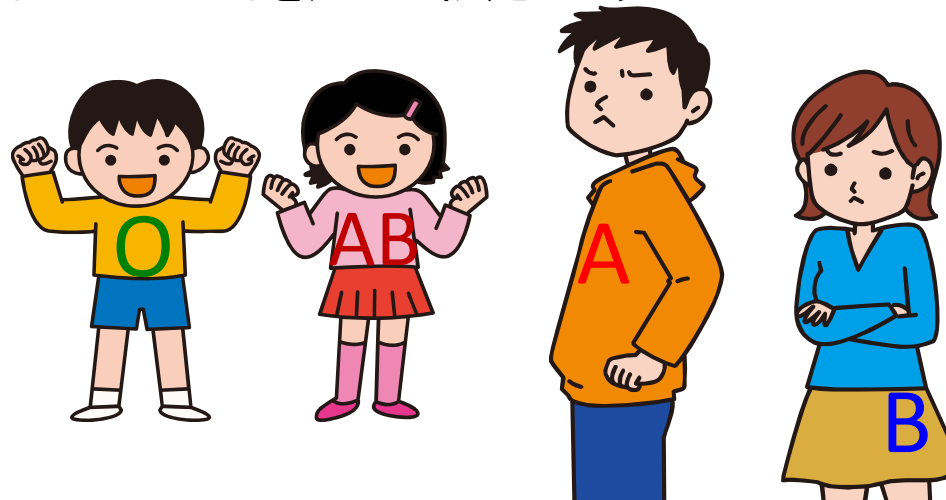
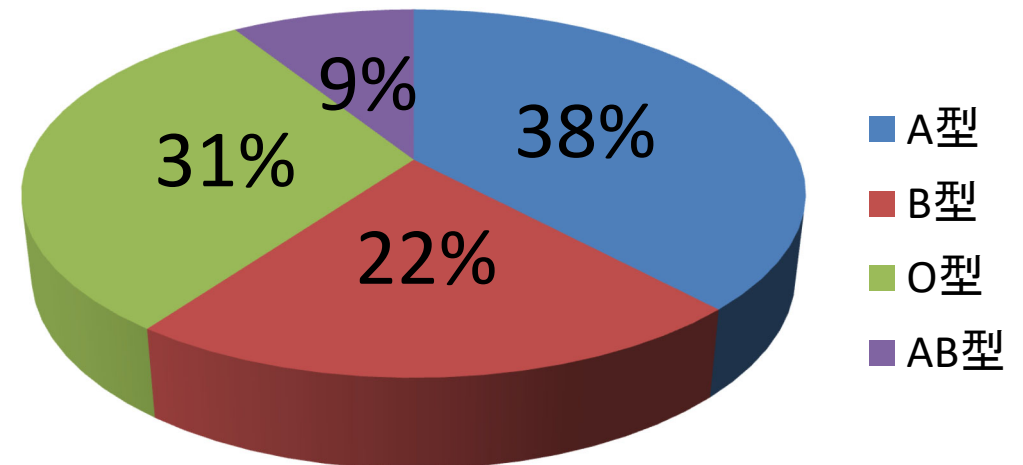
世代	タカ (%)	ハト (%)
1	50.0	50.0
2	54.9	45.1
3	67.9	32.1
4	66.9	33.1
5	67.5	32.5
6	74.3	25.7
7	66.4	33.6
8	69.9	30.1
9	60.8	39.2
10	69.5	30.5
11	58.1	41.9
12	61.5	38.5
13	69.5	30.5
14	64.3	35.7
15	58.8	41.2
16	60.0	40.0
17	63.7	36.3
18	74.7	25.3
19	59.8	40.2
20	73.7	26.3

血液型生存競争

人々はそこで子を産み、育て、そして死んでいった

- A 対 B 対 O 対 AB
 - A型 = 遺伝子AA, AO
 - B型 = 遺伝子BB, BO
 - O型 = 遺伝子OO
 - AB型 = 遺伝子AB
- ✓ A型, B型の遺伝子割合は半々と仮定しよう
 - ※ AA=19%, AO=19%
 - ※ BB=11%, BO=11%
- ✓ どの夫婦も2人のこどもを産むと仮定しよう

日本人の血液型割合(2013)

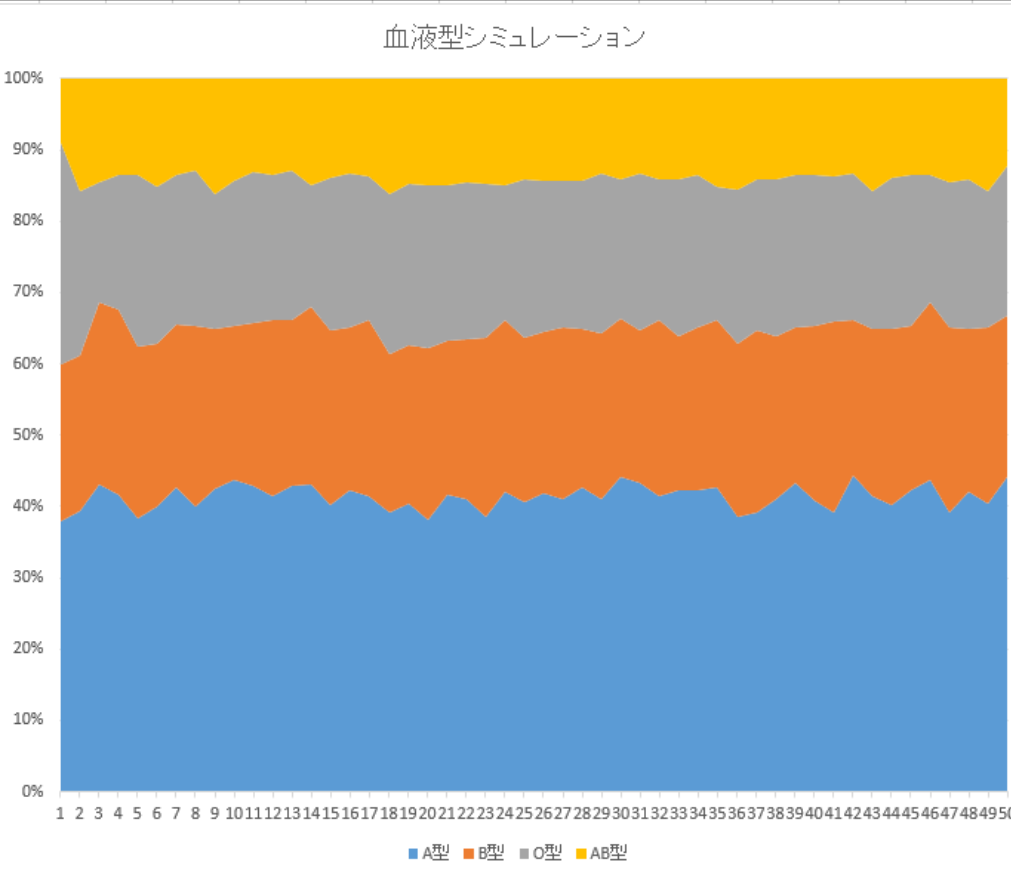


認めたくないものだな
自分自身の若さ故の過
ちというものを

血液型生存競争

- 実行例)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	血液型生存競争シミュレーション					世代																			
2		F7	= SUM(F3:F6)		血液型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3		F15	= SUM(F9:F14)		A型	38%	39.3%	43.0%	41.7%	38.4%	40.0%	42.7%	39.9%	42.5%	43.8%	42.8%	41.5%	42.8%	43.2%	40.2%	42.2%	41.4%	39.1%	40.3%	38.2%
4		F18	= F17+F9		B型	22%	21.8%	25.7%	25.8%	24.0%	22.9%	22.9%	25.4%	22.3%	21.5%	23.0%	24.7%	23.4%	24.8%	24.5%	23.0%	24.7%	22.3%	22.4%	24.0%
5		→ [F18] を [F19:F23] へコピー			O型	31%	23.1%	16.8%	18.9%	24.1%	21.9%	20.9%	21.8%	19.0%	20.4%	21.1%	20.3%	20.9%	17.0%	21.4%	21.4%	20.2%	22.3%	22.5%	22.9%
6					AB型	9%	15.8%	14.5%	13.6%	13.5%	15.2%	13.5%	12.9%	16.2%	14.3%	13.1%	13.5%	12.9%	15.0%	13.9%	13.4%	13.7%	16.3%	14.8%	14.9%
7		F25	= INDEX(\$E\$18:\$E\$23, MATCH(RAND(), \$F\$17:\$F\$23, 1)		100%																				
8		→ [F25] を [F26:F1025] へコピー			遺伝子	割合																			
9					AA	19%	10.4%	12.0%	11.7%																
10		F1027	= IF(RAND()<0.5, LEFT(F25), RIGHT(F25)) & IF(R		AO	19%	28.9%	31.0%	30.0%																
11		→ [F1027] を [F1028:F2026] へコピー			BB	11%	4.5%	4.2%	4.4%																
12					BO	11%	17.3%	21.5%	21.4%																
13		G9	= COUNTIF(F\$1027:F\$2026, \$E9) / 1000		OO	31%	23.1%	16.8%	18.9%																
14		G10	= COUNTIF(F\$1027:F\$2026, \$E10) / 1000 + COUN		AB	9%	15.8%	14.5%	13.6%																
15		→ [G9:G10] を [G11:G14] へコピー			100%																				
16					累積割合																				
17		G2	= F2+1		遺伝子	0%	0%	0%	0%																
18		G3	= G9 + G10		AA	19%	10%	12%	12%																
19		G4	= G11 + G12		AO	38%	39%	43%	42%																
20		G5	= G13		BB	49%	44%	47%	46%																
21		G6	= G14		BO	60%	61%	69%	68%																
22					OO	91%	84%	86%	86%																
23		[F17:F2026] を [G17:G2026] へ[セルのコピー]			AB	100%	100%	100%	100%																
24																									
25		[列G] を [列H~BC]へコピー			1	父	BO	OO	AO	OO	B														
26					2	母	AA	BB	AO	OO	A														
1025		[E3:BC6]を[2-D面]-[100%積み上げ面]グラフ			1001	父	OO	BB	OO	OO	A														
1026																									
1027					1	子	BA	OB	AA	OO	B														
1028					2	子	AO	BA	AA	OA	A														

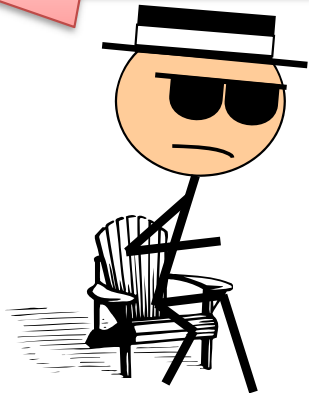


繰り返し囚人のジレンマ

• 囚人のジレンマ **prisoner's dilemma**

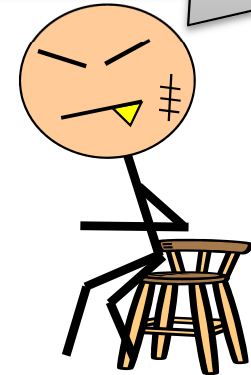
- 2人のプレイヤーA, B, 各々戦略2つ (C=協調, D=裏切り)

戦いは非常さ...

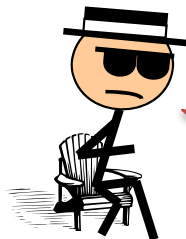


A \ B	C (協調)	D (裏切り)
C (協調)	(5, 5)	(-1, 8)
D (裏切り)	(8, -1)	(1, 1)

戦いとは、常に二手三手先を読んで行うものだ



- ✓ 問1: 1回限りのゲームと考えた場合、最適戦略は何か？
- ✓ 問2: 1回限りのゲームと考えた場合、Nash均衡解を求めよ
- ✓ 問3: このゲームを繰り返し行う場合どうなるか？ どんな戦略がよいか、考えよう
- ✓ 演習: 問3で考えた戦略のどれが良いのか、シミュレーションで見てみよう



君はいい友人であったが、
君の父上がいけないのだよ

は、謀ったな!!

まだだ！
まだ終わらんよ！



繰り返し囚人のジレンマ

- 実行例) 6つのアルゴリズム(player)による繰り返し10回対戦の総当たりリーグ戦

結果

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR									
1	繰り返し囚人のジレンマ					アルゴリズム																																														
2						no	名称	内容																																												
3	プレイヤーAの利得表						1	ランダム	C,Dを1/2の確率で																																											
4	A / B				C(協調)	D(裏切り)		2	常に協調	常にC																																										
5	C(協調)				5	-1		3	常に裏切り	常にD																																										
6	D(裏切り)				8	1		4	Tit for Tat	最初はC, 以降は前回相手の真似																																										
7								5	Trigger	最初はC, 前回相手がCならC, Dなら以降は常にD																																										
8								6	Pavlov	最初はC, 以降は前回上手くいったら今回も同じ行動[C→C,C→D→D]																																										
9																																																				
10																																																				
11	対戦表では「C,D」の代わりに「1,2」を使う				10回対戦の総当たりリーグ戦(※自分とも対戦)																																															
12	C(協調)=1				対戦表				得点表																																											
13	D(裏切り)=2					no	名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ave.																								
14					11	対戦表1	1	ランダム	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	5	-1	8	-1	1	8	1	-1	5	2.4																								
15					11	対戦表1	1	ランダム	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	5	8	8	-1	8	1	-1	1	8	5	4.2																						
16																																																				
17					12	対戦表2	1	ランダム	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	8	8	8	5	5	8	5	5	8	8	6.8																						
18					21	対戦表2	2	常に協調	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	5	5	-1	5	5	-1	1	1.4																						
19																																																				
20					13	対戦表3	1	ランダム	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0.0																						
21					31	対戦表3	3	常に裏切り	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	8	1	1	8	1	8	1	8	1	4.5																						
22																																																				
23					14	対戦表4	1	ランダム	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	8	1	-1	8	1	-1	8	-1	8	-1	3.0																						
24					41	対戦表4	4	Tit for Tat	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	-1	1	8	-1	1	8	-1	8	-1	8	3.0																						
25																																																				
26					15	対戦表5	1	ランダム	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	5	5	5	5	8	1	-1	-1	1	1	2.9																						
27					51	対戦表5	5	Trigger	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	5	5	5	5	-1	1	8	8	1	1	3.8																						
28																																																				
29					16	対戦表6	1	ランダム	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	5	5	8	1	8	-1	1	5	5	5	4.2																						
30					61	対戦表6	6	Pavlov	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	5	5	-1	1	-1	8	1	5	5	5	3.3																						
31																																																				
32					22	対戦表7	2	常に協調	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0																							
33					22	対戦表7	2	常に協調	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0																							
34																																																				
35					23	対戦表8	2	常に協調	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0																							
36					32	対戦表8	3	常に裏切り	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.0																						
37																																																				
38					24	対戦表9	2	常に協調	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0																							
39					42	対戦表9	4	Tit for Tat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0																							

繰り返し囚人のジレンマ

A \ B	C	D
C	(3,3)	(0,5)
D	(5,0)	(1,1)

- Robert Axelrod tournament
 - the Axelrod Python library
 - (<https://axelrod.readthedocs.io/en/stable/index.html>)
- Google Colaboratory の Python で実行
 - Google Colaboratory を開く
 - 利用方法([初回](#))
 - (1) google アカウントにログインし, google drive へ移動
 - (2) 「新規」－「その他」－「アプリを追加」を選択
 - (3) 「Google Colaboratory」を追加
 - 利用方法([2回目以降](#))
 - (1) google アカウントにログインし, google drive へ移動
 - (2) 「新規」－「その他」－「Google Colaboratory」を選択

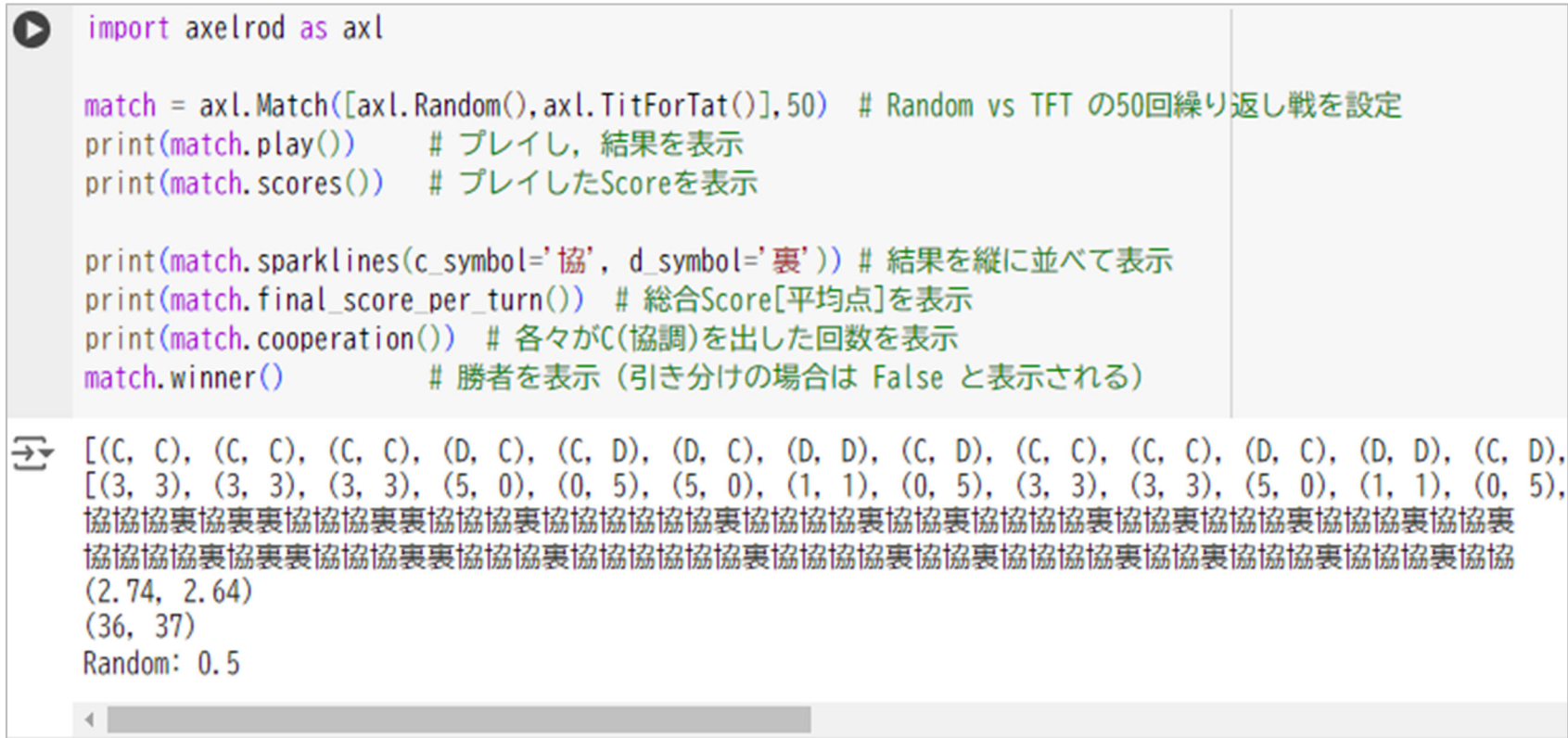
繰り返しの囚人のジレンマ

- axelrod library のインストール



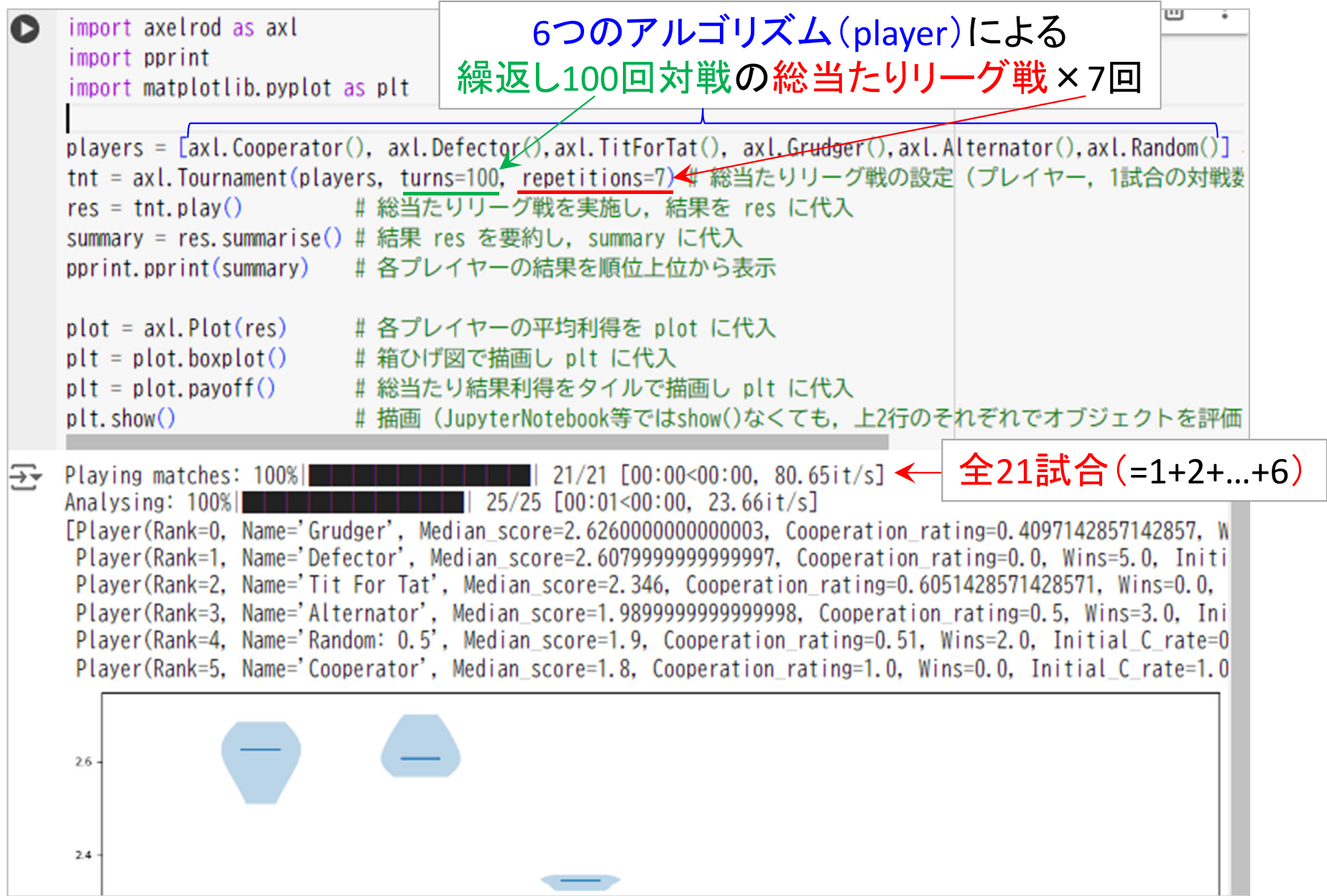
[コード]の欄にこのように記入
左の三角ボタンを押して「実行」
(このコードの下に、メッセージが
表示されるので終わるまで待つ)

- 実行例 (1 vs 1 繰返し対戦の例: random vs TFT)



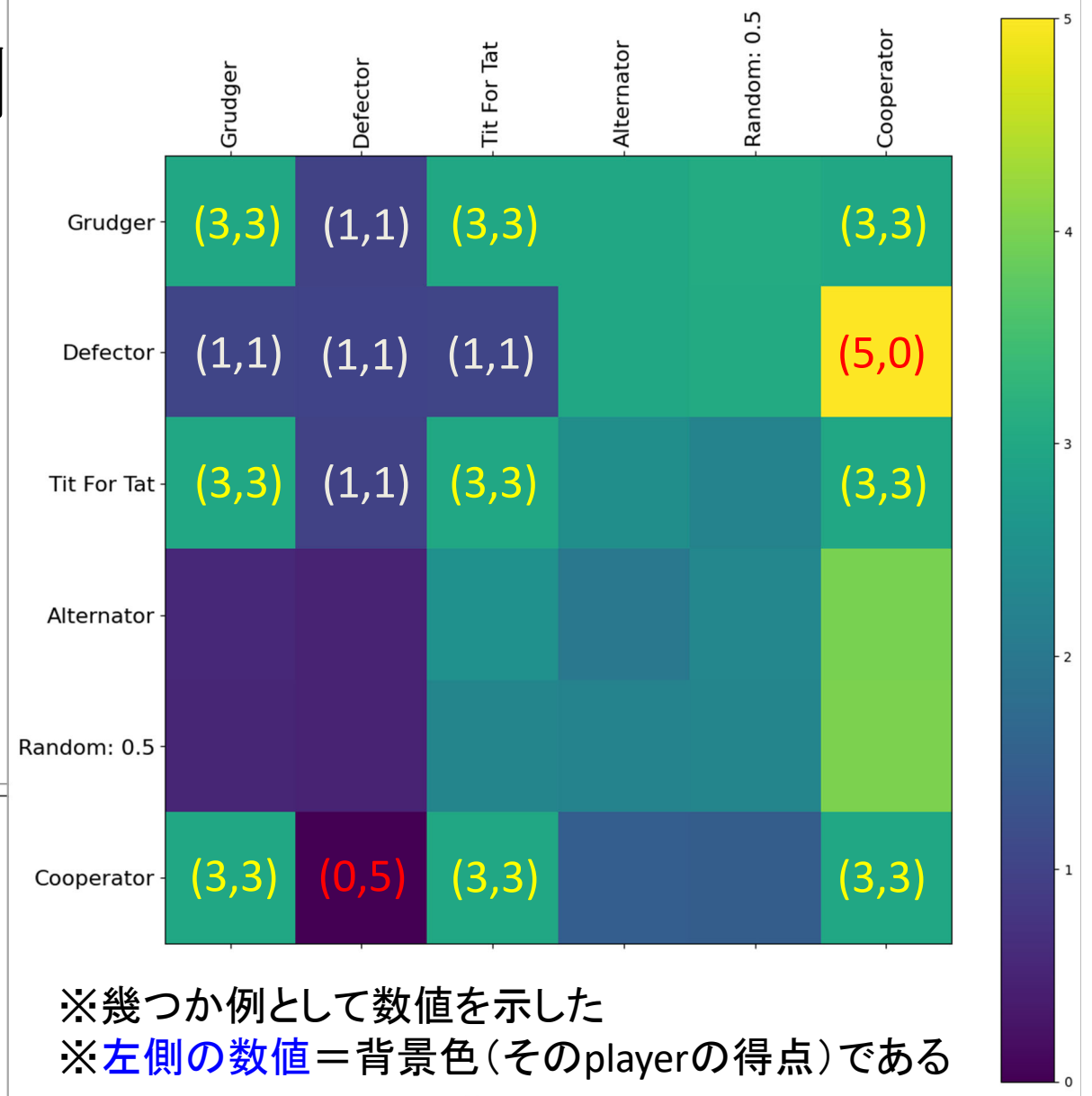
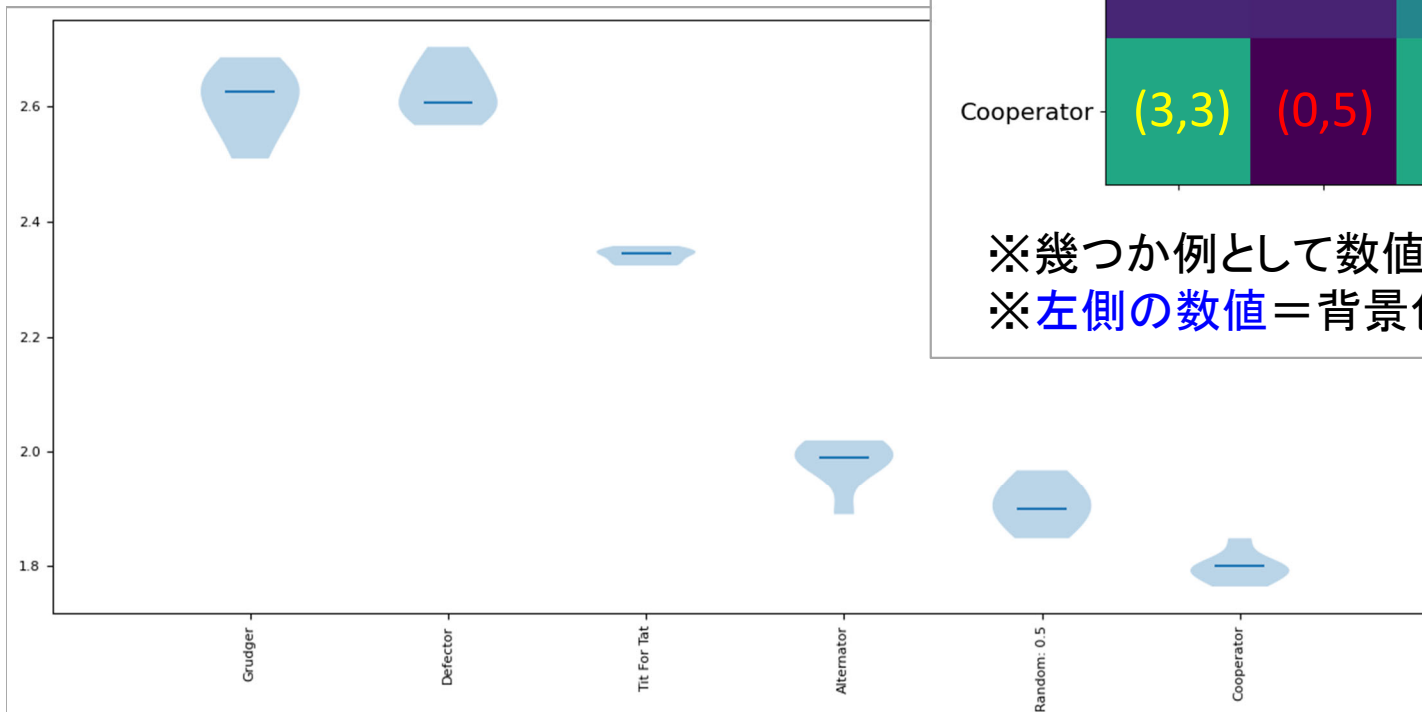
繰り返し囚人のジレンマ

- 実行例（繰り返し対戦の総当たりリーグ戦）



- 実行結果の図示例
(繰返し対戦の総当たりリーグ戦)

繰返し100回対戦の
総当たりリーグ戦(21試合)×7回の
各プレイヤーの得点分布



総当たりリーグ戦(21試合)の
各プレイヤーの7回平均得点
を色で図化

※例えば

全て(C,C)なら(3,3)
ほぼ(D,D)なら(1,1)

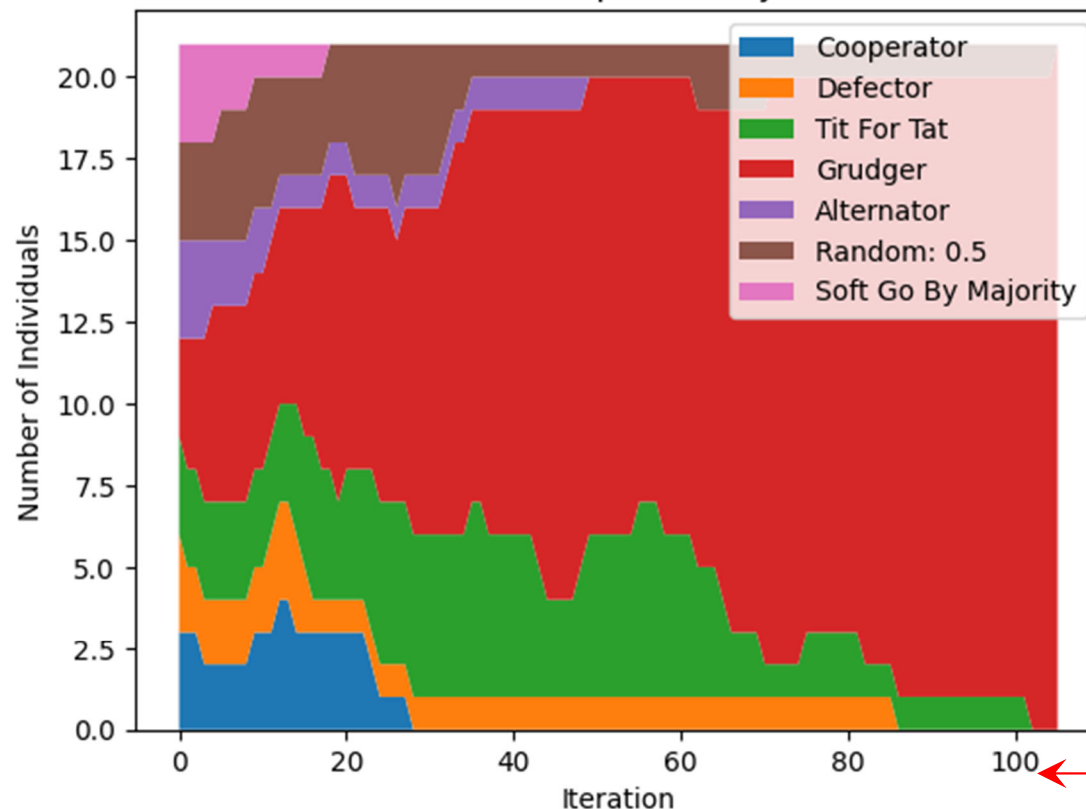
実行例と結果の図示例 (Moran Process)

7つのアルゴリズム (player) を初期値各3人で
Moran Process による進化ゲーム

```
# Moran Process
import axelrod as axl
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
players = [axl.Cooperator(), axl.Defector(), axl.TitForTat(), axl.Grudger(), axl.Alternator(), axl.Random(), axl.GoByMajority()]*3 # 参加プレイヤー(各3人)
mp = axl.MoranProcess(players, turns=100, seed=2)
populations = mp.play()
ax = mp.populations_plot()
plt.show()
```

Moran Process Population by Iteration



1種類のプレイヤーだけが残るまで
繰り返し実行 (横軸: iteration)
例では Grudger (Trigger) が生き残った
(縦軸: 個体数 $21 (= 3 \times 7)$)