

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

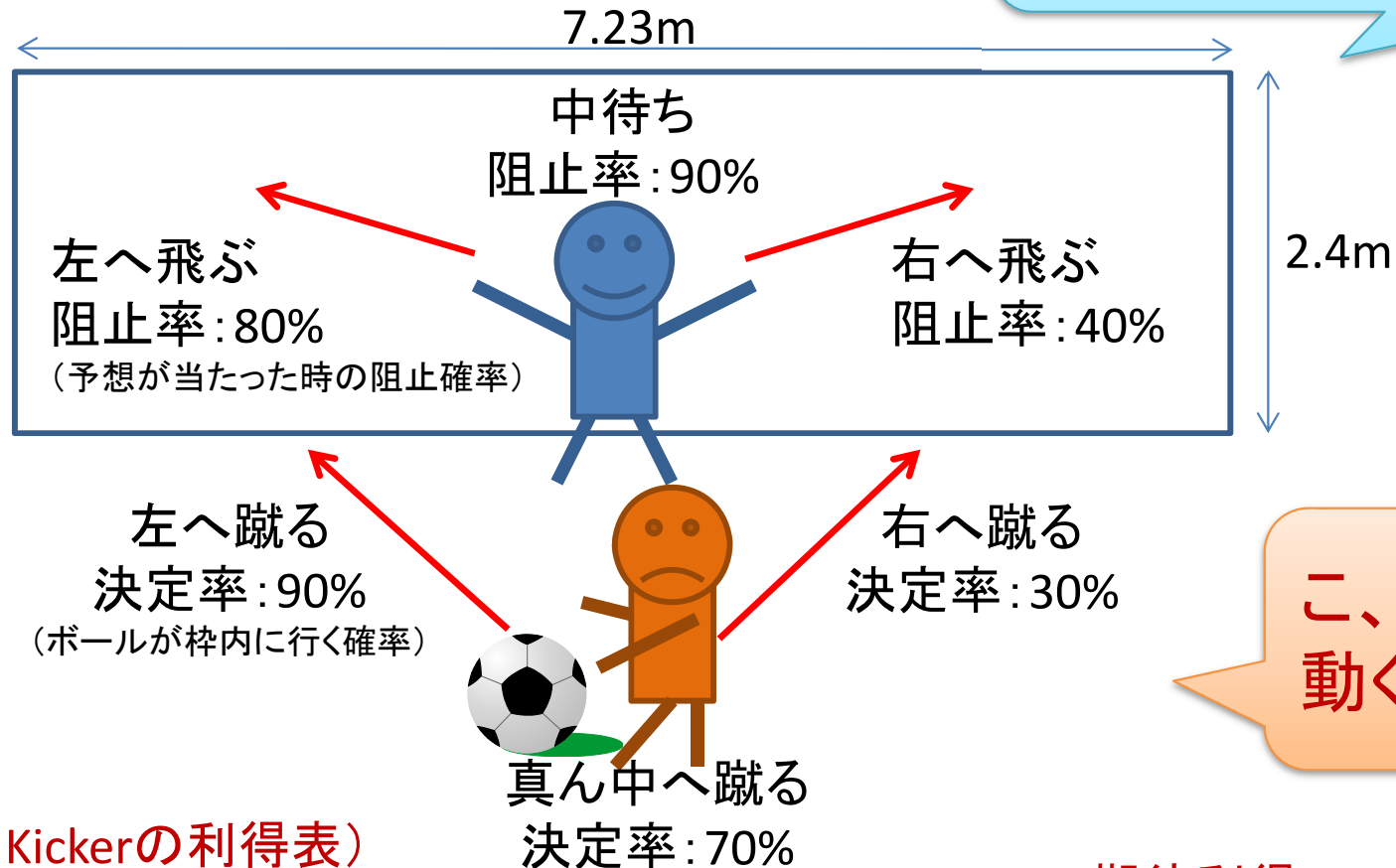
あたらないければ
どうということはない

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



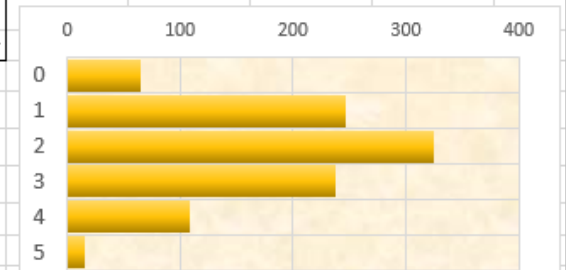
Kickerの期待利得
(=Keeperの期待損失)

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

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								
3		kicker		阻止率	0.8	0.9	0.4				乱数	乱数			戦略	戦略	結果	結果			PK戦					
4		混合戦略	決定率		左	中	右			1	0.243	0.170	1	1	左	左	0	0			得点	集計				
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			0	65				
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			1	246				
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			2	324				
8		1.0								5	0.595	0.251	3	1	右	左	0	2			3	238				
9		E5 = IF(\$D5=E\$4, \$C5*(1-E\$3), \$C5)								6	0.563	0.992	3	3	右	右	0	3			4	108				
10		→ E5:G7へコピー								7	0.725	0.985	3	3	右	右	0	3			5	15				
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	kl	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	0	50	100	150	200	250	300	350			
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	0										
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	1										
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	2										
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	3										
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	4										
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	5										
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			kicker												
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			混合戦略	決定率	ゴール枠										
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！

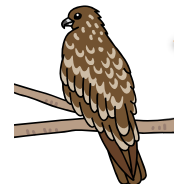


利得表

- 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)

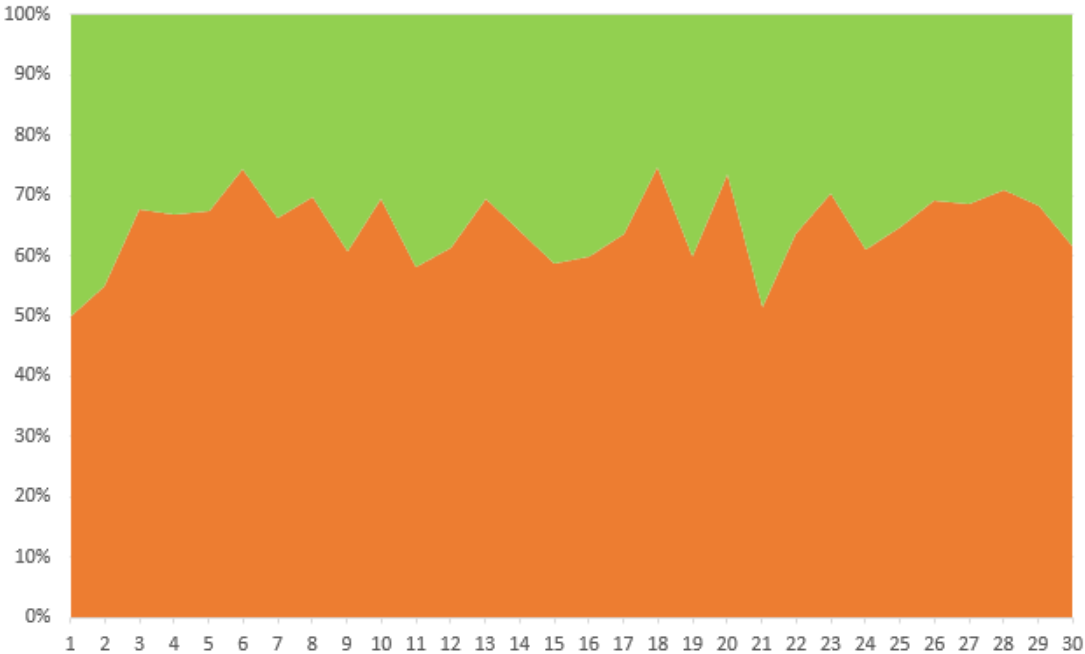
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB				
1	タカハトゲーム				シミュレーション																											
2	プレイヤーAの利得表				世代				世代				世代				世代				世代				世代				世代			
3	A/B	タカ	ハト				1				2			3			4			5			6			7			8			
4	タカ	-1	4		タカ派	1	50%			1	55%	348	1	68%	418	1	67%	194	1	67%	249	1	74%	329	1	66%	150	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() $\leq$ G\$4, 1, 2)					A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得	A	B	A利得			
7	G7 = IF(RAND() $\leq$ G\$4, 1, 2)				1	2	2	2	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	2	1	0	1	2	4	1	2	4			
8	H7 = INDEX(\$B\$4:\$C\$5, F7, G7)				2	2	1	0	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	2	1	0	2	2	2	1	1	-1			
9	→F7:H7をF8:H506へコピー				3	2	2	2	1	1	-1	1	1	-1	2	2	2	2	1	0	1	1	-1	1	2	4	1	1	1			
10	K4 = SUMIF(F\$7:F\$506, I4, H\$7:H\$506)				4	1	1	-1	2	2	2	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	2	4			
11	→K5へコピー				5	1	1	-1	1	1	-1	1	2	4	1	1	-1	2	1	0	1	2	4	1	1	-1	1	1	1			
12	J3 = G3+1				6	1	1	-1	1	2	4	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	1	2	4			
13	J4 = K4 / (K\$4+K\$5) →J5へコピー				7	2	1	0	2	2	2	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	1	2	4			
14	F7:H506 を I7:K506 へコピー				8	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
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	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
16	B20 = HLOOKUP(\$A20, \$G\$3:\$CQ\$5, B\$18, FALSE)				10	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
17	→B20をB20:C49へコピー				11	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
18	2 3 グラフ描画用のまとめの表				12	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1			
19	世代	タカ	ハト		13	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
20	1	50.0%	50.0%		14	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
21	2	54.9%	45.1%		15	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
22	3	67.9%	32.1%		16	1	2	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	1			
23	4	66.9%	33.1%		17	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
24	5	67.5%	32.5%		18	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
25	6	74.3%	25.7%		19	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1			
26	7	66.4%	33.6%		20	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
27	8	69.9%	30.1%		21	1	2	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	1			
28	9	60.8%	39.2%		22	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1			
29	10	69.5%	30.5%		23	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
30	11	58.1%	41.9%		24	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
31	12	61.5%	38.5%		25	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1			
32	13	69.5%	30.5%		26	1	2	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	1			
33	14	64.3%	35.7%		27	1	2	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	4	1	1	1			
34	15	58.8%	41.2%		28	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
35	16	60.0%	40.0%		29	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
36	17	63.7%	36.3%		30	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1			
37	18	74.7%	25.3%		31	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
38	19	59.8%	40.2%		32	2	2	2	2	1	0	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1			
39	20	72.7%	27.3%		33	2	1	0	2	1	0	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	2	1	0	2	1	-1	1	1	1			

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	72.7	27.3

タカ vs ハトシミュレーション

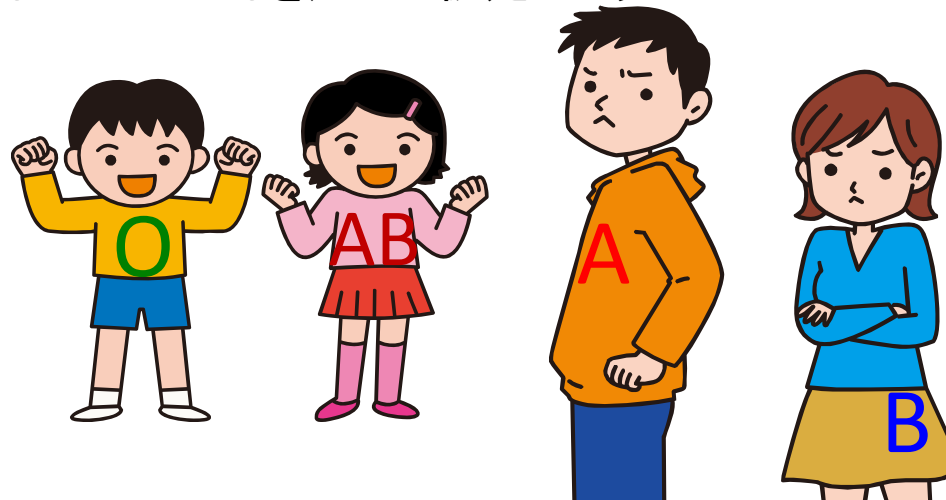
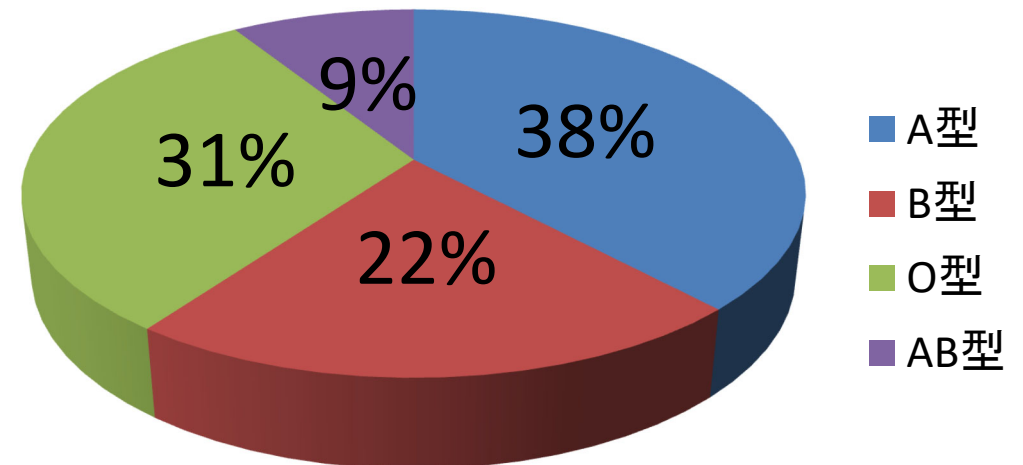


血液型生存競争

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)

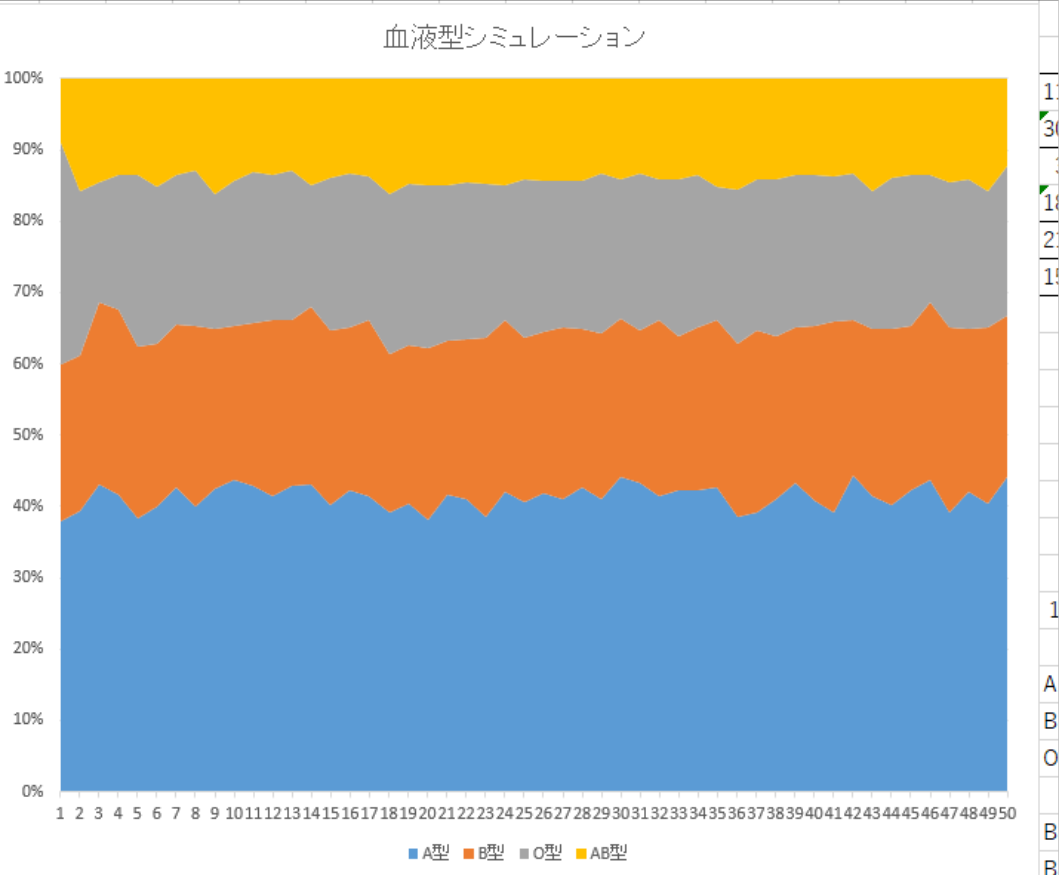


認めたくないものだな
自分自身の若さ故の過
ちというものを

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														

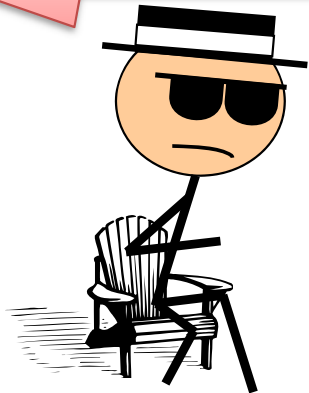


繰り返し囚人のジレンマ

• 囚人のジレンマ **prisoner's dilemma**

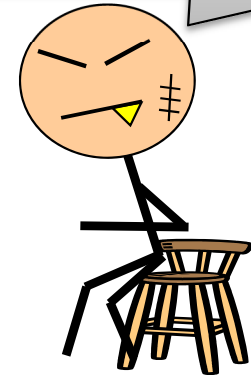
- 2人のプレイヤーA, B, 各々戦略2つ (C=協調, D=裏切り)

戦いは非常さ...

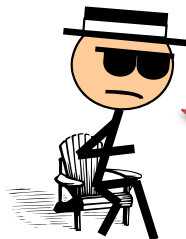


A \ B	C (協調)	D (裏切り)
C (協調)	(5, 5)	(-1, 8)
D (裏切り)	(8, -1)	(1, 1)

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！



- 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

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 繰り返し対戦の例: random vs TFT)

```
import axelrod as axl

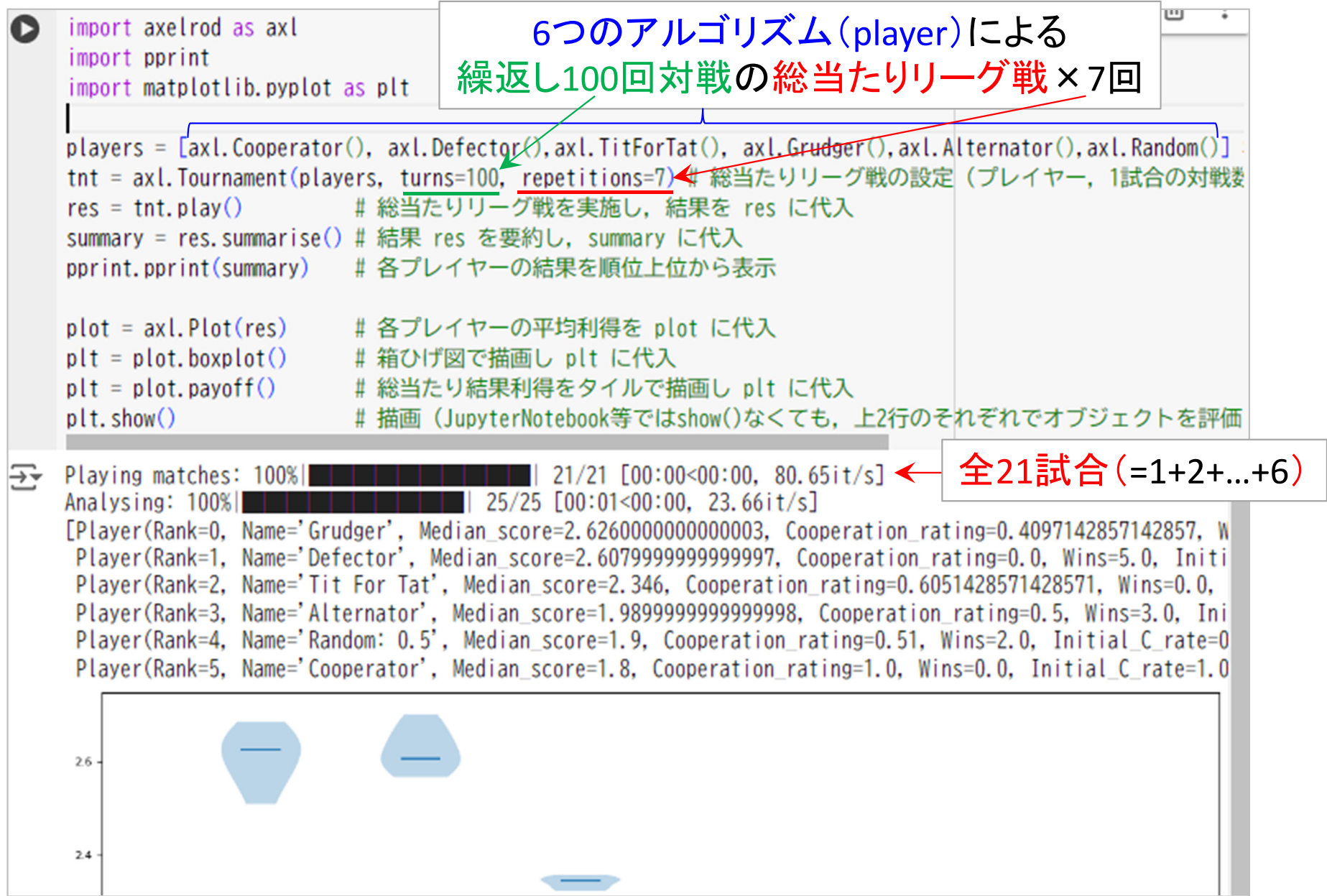
match = axl.Match([axl.Random(), axl.TitForTat()], 50) # Random vs TFT の50回繰り返し戦を設定
print(match.play()) # プレイし、結果を表示
print(match.scores()) # プレイしたScoreを表示

print(match.sparklines(c_symbol='協', d_symbol='裏')) # 結果を縦に並べて表示
print(match.final_score_per_turn()) # 総合Score[平均点]を表示
print(match.cooperation()) # 各々がC(協調)を出した回数を表示
match.winner() # 勝者を表示 (引き分けの場合は False と表示される)
```

⇒ [(C, C), (C, C), (C, C), (D, C), (C, D), (D, C), (D, D), (C, D), (C, C), (C, C), (D, C), (D, D), (C, D),
[(3, 3), (3, 3), (3, 3), (5, 0), (0, 5), (5, 0), (1, 1), (0, 5), (3, 3), (3, 3), (5, 0), (1, 1), (0, 5),
協協協裏裏裏協協協裏裏協協協協協裏協協協裏協協裏協協協裏協協裏協協協裏協協裏協協裏協協裏協協
協協協裏裏裏協協協裏裏協協協裏裏協協協協裏協協協裏協協裏協協協裏協協裏協協協裏協協裏協協
(2.74, 2.64)
(36, 37)
Random: 0.5

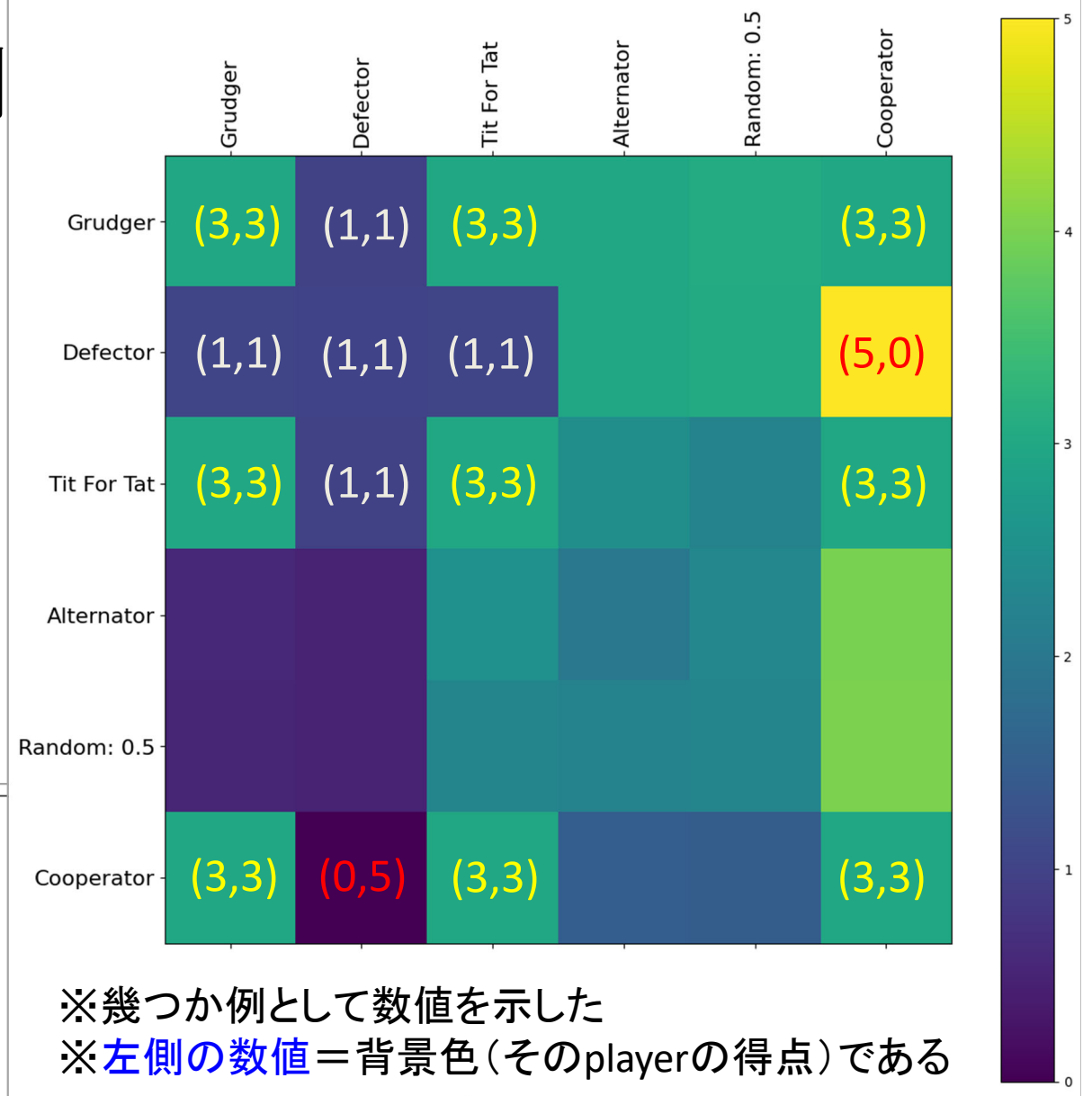
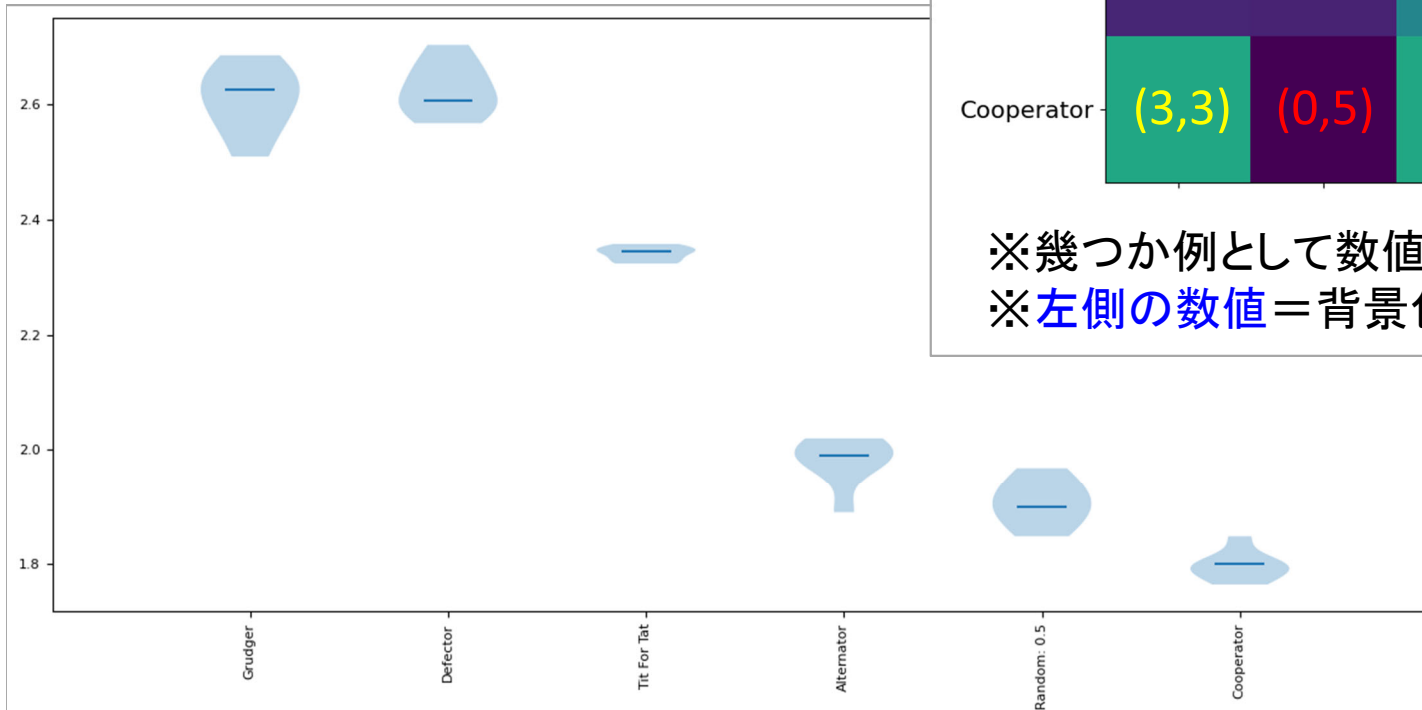
繰り返し囚人のジレンマ

- 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)

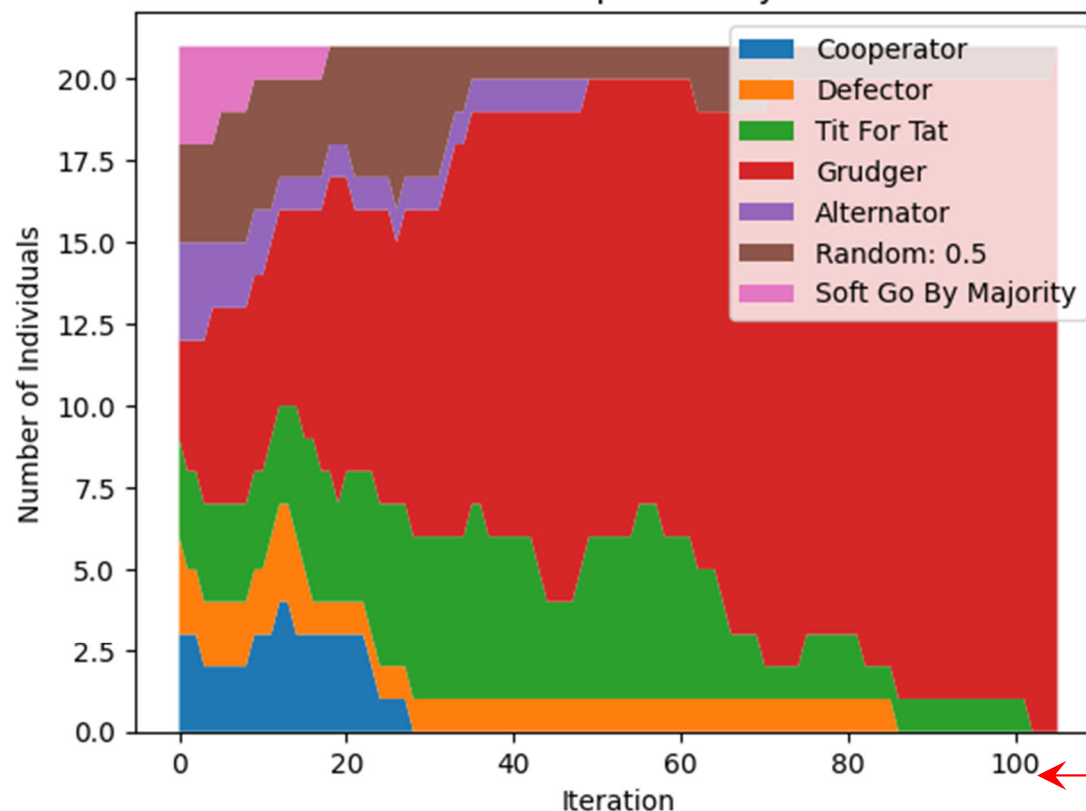
実行例と結果の図示例 (Moran Process)

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 (=3x7))