1 記憶長 2x2 ジレンマゲームにみる"やらせ"に関する考察

相良 博喜† 谷本 潤‡

† 九州大学大学院総合理工学府環境エネルギー工学専攻・修士課程
‡ 九州大学大学院総合理工学研究院・教授・工博
〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1 九州大学総合理工学研究院 都市建築環境工学研究室
E-mail: † uminchu@uminchu.jp, ‡ tanimoto@cm.kyushu-u.ac.jp

あらまし 2x2 ジレンマゲームにおいてエージェントに対戦記憶に応じた戦略を許容する，所謂，記憶長の概念を導入すると，例えば，PD では互いに協調（C）を出す R 状態が創発することが知られている．更にゲーム構造上，ジレンマが Hero，Leader に推移すると，互いに協調（C）と裏切り（D）を staggered に出す，すなわち T 状態と S 状態が交互に現出する状況が観察される．本論では，trivial およびジレンマを含む全てのゲーム構造を俯瞰し，この現象の発生メカニズムを明らかにした．すなわち，この現象は R 状態より高利得たり得るいわば“やらせ”と云うべき状況であり，記憶長概念があってはじめて創発可能なものである．また，この“やらせ”は元々のゲーム構造に依存して幾つかの様態で発生し，その生起範囲もゲームの構造により説明出来ることを Replicator Dynamics 解析により示した．

キーワード やらせ 1 記憶長 2x2 ゲーム レプリケータダイナミクス

An emergently “staged” structure beyond dilemma trap in 2x2 game world with a strategy of 2-bit memory.

Hiroki SAGARA† Jun TANIMOTO‡

† Graduate Student, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
‡ Prof., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, Dr.Eng.
E-mail: † uminchu@uminchu.jp, ‡ tanimoto@cm.Kyushu-u.ac.jp

Abstract It is recognized that a bilateral Cooperation (C), R-state in other words, emergently comes up in a 2x2 Prisoners' Dilemma game, if you assume a strategy set with a memory concept. Also, it is observed a staggered step sequence of Cooperation (C) and Defect (D), S-state and T-state in other words, in a Hero or Leader game. Observing a holistic 2x2 game world including trivial games and various dilemma games, the paper reports a specific mechanism of this phenomenon, which would be called as “staged” play that enables more profitable than R-state. This particular “staged” play can be possible by a concept of memory in agent's strategy. A deductive analysis of Replicator Dynamics reveals that the “staged” play comes to appear in various modes that relates to the original game structure.

Keyword staged play 2x2 game with a strategy of 2-bit memory Replicator Dynamics

1. 緒言

本論では，1 記憶長学習機構付き進化 2x2 ゲームにおいて，無限繰り返しゲームの構造が，一部のジレンマゲームにおいて，互いに協調（協調 vs 協調）するより利得が高くなる協調と裏切りの組み合わせ（協調 vs 裏切り）を互いに繰り返し合う状況を創発させる現象について考察する[1]-[8]．このような状況を本稿では以下“やらせ”と称する．

本論で取り扱うゲームとしては無限繰り返しを前提とする．これは，後述の通りこの前提を設けることで，1 記憶長戦略ゲームでは合計 32 戦略間の対戦利得が固定的に付与出来るため，進化ゲームのダイナミクスについて演繹的扱いが一部で可能となり，“やらせ”の発生機構を俯瞰する上で有意であろうと考えられるからである．

2. 2x2 ゲームの表記法

ジレンマゲームにおける協調(C)，裏切り(D)に対し，両プレーヤーの手 C-C,C-D,D-C,D-D を各々R,S,T,P と表記する．

著者らが示している 2 人 n 戦略ゲームの一般的パラメータ表示法[7]によれば，

$$P = x_o - 0.5\cos(45) \quad \cdots(1\text{-}1)$$

$$R = x_o + 0.5\cos(45) \quad \cdots(1\text{-}2)$$

$$S = x_o + r\cos(45+\theta) \quad \cdots(1\text{-}3)$$

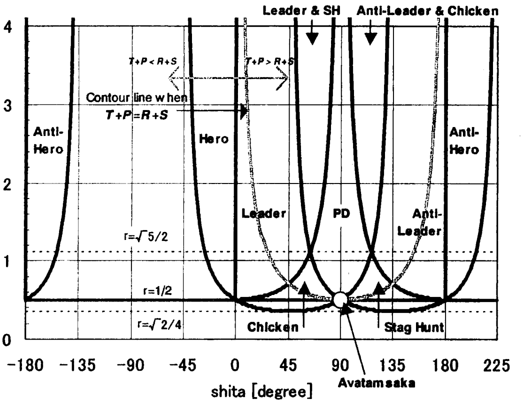

図1 θとrによる2x2ゲームの表記.
Fig.1 The scene of 2x 2 game world.

$$T = x_o + r\sin(45+\theta) \qquad \cdots(1\text{-}4)$$

のように,全ての2x2ゲームはパラメータ θ[deg]と r で表すことが出来る（x_oは解可能域がシフトするだけで P, R, S, T の相対関係上意味がないので，実質的には2パラメータとなる）. すなわち，図1である. 太線で囲われジレンマゲーム名が冠されている領域以外のエリアが，ジレンマのない trivial ゲームである. 相手のCかDかの確率を1/2としたとき，自手のCおよびDの期待利得は,それぞれ R+S と T+P で表される. 図より，T+P>R+S の領域は必ずジレンマゲームになり，trivial ゲームは必ず T+P<R+S の領域にあることがわかる.

3. ゲーム構造の定義

対称な2人繰り返しゲームを考える. プレーヤの手は C か D である. プレーヤの手を規定する戦略は，“C1010”の様に表す. 文字列の最初は，対戦の初手でCを出すかDを出すかを意味し，以下4バイトの文字列は前回対戦結果がそれぞれ P, R, S, T だったときに C を出すか（1），D を出すか（0）を意味ずる. TFT は C0101，PAVLOV は C1100 である. これは，記憶長 1（前回の相手と自手により次の自手を決める）の戦略である. 戦略総数は $2*2^4=32$ である.

プレーヤはある相手と繰り返し対戦を行い，得られた一回対戦当たりの利得をもって自分の採用した戦略の評価とする. それから，別の戦略で異なる相手と同様のシーケンスで対戦する. 同一戦略のもとで同じ相手と繰り返し対戦する期間を以下，タームと云う. 本論ではこのタームが無限長である仮想的状況を考える. 換言すると，このターム間の対戦によって得られた各戦略の評価値をもとに自らの採用戦略分布の見直しを行う. 以下，戦略分布の見直し期間をピリオドと云う（1ピリオドは32タームから成る）. プレーヤの集団は十分に大きいとする. 各プレーヤは，得られる利得が大きい戦略へと進化的に適応させていくものとする.

4. Replicator Dynamics

前章のゲーム構造を前提にすると，ゲームは2人32戦略無限繰り返しゲームと看做すことが出来る. 従って，戦略 $i(=1,\cdots,32)$ を $\mathbf{s}_i$（32次元ベクトルの i 要素のみ1でそれ以外のすべの要素が 0）で，あるピリオドにおける戦略分布を $\mathbf{s}=(s_1 \ \cdots \ s_{32})$ で表すとき，Replicator Dynamics（RD）は以下で与えられる.

$$\dot{s}_i = \left[{}^t\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{M}\,\mathbf{s} - {}^t\mathbf{s} \cdot \mathbf{M}\,\mathbf{s}\right] \cdot s_i \qquad \cdots(2)$$

ゲーム構造を規定する利得行列 **M** は，予め全戦略組み合わせにおいて，周期定常に達する P, R, S, T の

		C0000 1	D0000 2	C0001 3	D0001 4	C0010 5	D0010 6	C0011 7	D0011 8	C0100 9	D0100 10	C0101 11	D0101 12	C0110 13	D0110 14	C0111 15	D0111 16	C1000 17	D1000 18	C1001 19	D1001 20	C1010 21	D1010 22	C1011 23	D1011 24	C1100 25	D1100 26	C1101 27	D1101 28	C1110 29	D1110 30	C1111 31	D1111 32
C0000	1	P	P	P	P	P	P	P	T	P	P	P	P	T	P	T	T	TP	TP	TP	PT	T	T	T	T	PT	TP	PT	PT	T	T	T	T
D0000	2	P	P	P	P	T	P	T	P	P	P	P	P	T	P	T	P	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T
C0001	3	P	P	P	ST	P	P	P	P	P	P	ST	ST	RT	P	RT	RT	TSP	TSP	TS	ST	TRP	TRP	TRP	RPT	SPT	TSP	ST	ST	RT	TR	RT	RT
D0001	4	P	P	TS	P	P	P	P	P	P	P	TS	P	TR	P	TR	P	PTS	SPT	TS	ST	PTR	RPT	PTR	RPT	PTS	SPT	TS	ST	TR	RT	TR	RT
C0010	5	P	S	P	P	P	S	P	P	P	S	P	P	T	S	T	T	TP	S	TP	PT	T	S	T	T	PT	S	PT	TP	T	S	T	T
D0010	6	P	P	P	P	T	P	T	P	P	P	P	P	T	P	T	P	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T
C0011	7	P	S	P	P	P	S	P	P	S	S	SRT	TSR	RT	S	RT	TR	S	S	RPTS	SRPT	TRP	S	TRP	PTR	S	S	SRT	TSR	RT	S	RT	TR
D0011	8	S	P	P	P	P	P	P	P	S	P	RTS	P	TR	P	TR	P	S	S	TSRP	PTSR	PTR	RPT	PTR	RPT	S	S	RTS	SRT	TR	RT	TR	RT
C0100	9	P	P	P	P	P	P	T	T	R	P	R	P	R	P	R	T	PT	TP	TP	PT	T	T	T	T	R	TP	R	PT	R	T	R	T
D0100	10	P	P	P	P	T	P	T	P	P	P	P	P	T	P	T	P	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T
C0101	11	P	P	TS	ST	P	P	TRS	RST	R	P	R	ST	R	P	R	R	PTS	TSP	TS	ST	RSPT	SPTR	TRS	RST	R	TSP	R	ST	R	R	R	R
D0101	12	P	P	TS	P	P	P	STR	P	P	P	TS	P	R	P	R	P	PTS	SPT	TS	ST	TRSP	PTRS	STR	RST	PTS	SPT	TS	ST	R	R	R	R
C0110	13	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R
D0110	14	P	P	P	P	T	P	T	P	P	P	P	P	T	P	T	P	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T	TP	PT	TP	PT	T	T	T	T
C0111	15	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R
D0111	16	S	P	RS	P	S	P	SR	P	S	P	R	P	R	P	R	P	S	S	RS	SR	S	S	SR	RS	S	S	R	R	R	R	R	R
C1000	17	SP	SP	STP	PST	SP	SP	T	T	PS	SP	PST	PST	T	SP	T	T	RP	RP	RP	PR	RP	RP	RP	T	PRT	RTP	PRT	PRT	T	T	T	T
D1000	18	SP	PS	STP	TPS	T	PS	T	T	SP	PS	STP	TPS	T	PS	T	T	RP	PR	RP	PR	T	PR	T	PR	RTP	TPR	RTP	TPR	T	T	T	T
C1001	19	SP	SP	ST	ST	SP	SP	RPST	STRP	SP	SP	ST	ST	RT	SP	RT	RT	RP	RP	RP	ST	RP	RP	RP	RP	RTSP	SPRT	ST	ST	RT	RT	RT	RT
D1001	20	PS	PS	TS	TS	PS	PS	TRPS	PSTR	PS	PS	TS	TS	TR	PS	TR	TR	PR	PR	TS	PR	PR	PR	PR	PR	TSPR	PRTS	TS	TS	TR	TR	TR	TR
C1010	21	S	S	SRP	PSR	S	S	SRP	PSR	S	S	RTPS	SRTP	T	S	T	T	RP	S	RP	PR	RP	S	RP	PR	PRT	S	PRT	TPR	T	S	T	T
D1010	22	S	S	SRP	RPS	T	S	T	RPS	S	S	TPSR	PSRT	T	S	T	T	RP	PR	RP	PR	T	PR	T	PR	RTP	TPR	RTP	TPR	T	T	T	T
C1011	23	S	S	SRP	PSR	S	S	SRP	PSR	S	S	SRT	TSR	RT	S	RT	TR	RP	S	RP	PR	RP	S	RP	PR	S	S	SRT	TSR	RT	S	RT	TR
D1011	24	S	S	RPS	RPS	S	S	PSR	RPS	S	S	RTS	RTS	TR	S	TR	RT	S	PR	RP	PR	PR	PR	PR	PR	S	S	RTS	TSR	TR	TR	TR	TR
C1100	25	PS	SP	TPS	PST	PS	SP	T	T	R	SP	R	PST	R	SP	R	T	PRS	RSP	RSTP	STPR	PRS	RSP	T	T	R	R	R	R	R	R	R	T
D1100	26	SP	PS	STP	TPS	T	PS	T	T	SP	PS	STP	TPS	T	PS	T	T	RSP	SPR	TPRS	PRST	T	SPR	T	T	R	R	R	R	T	R	T	R
C1101	27	PS	SP	TS	ST	PS	SP	TRS	RST	R	SP	R	ST	R	SP	R	R	PRS	RSP	TS	ST	PRS	RSP	TRS	RST	R	R	R	ST	R	R	R	R
D1101	28	PS	PS	TS	TS	SP	PS	STR	TRS	PS	PS	TS	TS	R	PS	R	R	PRS	SPR	TS	ST	SPR	SPR	STR	STR	R	R	TS	R	R	R	R	R
C1110	29	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R
D1110	30	S	S	SR	RS	T	S	T	RS	S	S	R	R	T	S	T	R	S	S	RS	SR	T	S	T	SR	R	R	R	R	T	R	T	R
C1111	31	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R	S	S	RS	SR	S	S	RS	SR	R	S	R	R	R	S	R	R
D1111	32	S	S	RS	RS	S	S	SR	RS	S	S	R	R	R	S	R	R	S	S	RS	SR	S	S	SR	SR	S	R	R	R	R	R	R	R

図2 32戦略の対戦結果シーケンス.
Fig. 2. P,R,S,T sequences of any two of 32 strategies.

シーケンスを特定しておけば，陽に定めることが出来る．図 2 はこれらのシーケンスを示したもので，M は各要素で和をとって周期で除した値（RST ならば(R+S+T)/3）となる．

RD の均衡点（$\dot{s}_i=0$ を与える点）は戦略数 n に対して一般に $\sum_{k=1}^{n} {}_nC_k$ 個存在する（$\sum$ の最後の ${}_nC_n=1$ 個は内部均衡点）と予想されるから，この場合 4.29×10^9 個となる．よって，(2)式に示した RD の均衡点を悉皆的に求め，それに対する Jacobian を解析的に議論することは不可能に近い．

5. 初期戦略分布を仮定したゲームの帰趨解析

(2)式の一般的な演繹アプローチは困難なので，初期分布を $s=(1/32\ \cdots\ 1/32)$ と仮定し，漸化式表現した(2)式に逐次戦略分布を代入することで定常戦略分布を数値的に求める．ここで，“定常戦略分布”と云ったが，得られた数値解が厳密な定常戦略分布，すなわち RD の均衡点である保証はない．数値的には，k ステップ目と k+1 ステップ目の戦略分布を表すベクトルのユークリッド距離が十分小さければ定常戦略分布と判定するが，これにはデジタル処理に伴う過誤が不可避的に生じる．従って，ここで示す定常戦略分布には，例えば，上記の判定条件を満たしながら周期的に振動する場合（2 人 3 戦略ゲームであるジャンケンゲームや C，D に加えゲーム不参加の戦略 L を許容した 3 戦略ゲーム[9]のように RD の均衡点が存在しないケース），すなわち演繹的には定常戦略分布が存在しないケースも含まれる可能性があることに注意を要する．

図 3 は $r=1.5$，図 4 は $r=0.5$ のときの，θ に対する定常戦略分布を示したものである．また，図 5，図 6 は，それぞれ $r=1.5$，$r=0.5$ の場合の，各 θ における P，R，S，T の出現頻度と社会平均利得（各戦略の得る利得を戦略分布で重み付けした値）および P，R，S，T の値と S+T>2R の条件を満たすか否かを示したものである．図中に示した DL_g，DL_r はギャンブル性ジレンマ（T>R），リスク回避性ジレンマ（S<P）[7]の発生範囲であり，図 1 で云えば，DL_g は Chicken，Leader，Hero の，DL_r は SH，Anti-Leader，Anti-Hero の範囲と一致する（PD は DL_g かつ DL_r のエリア）．

図 5 からもとのゲーム構造がジレンマ性を有していても，社会平均利得は R を下回ることはない，換言すると，ジレンマゲームにあ

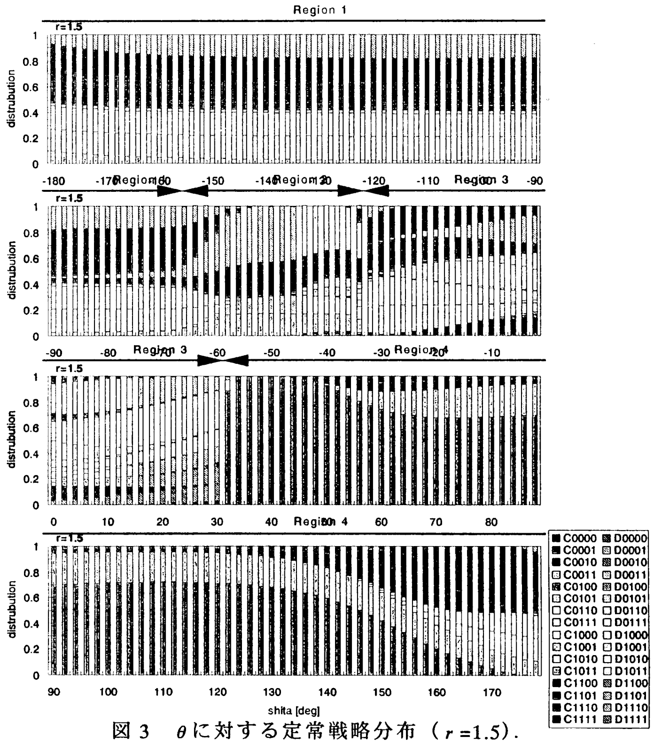

図 3　θ に対する定常戦略分布（$r=1.5$）．
Fig.3　Steady state strategy distribution at each

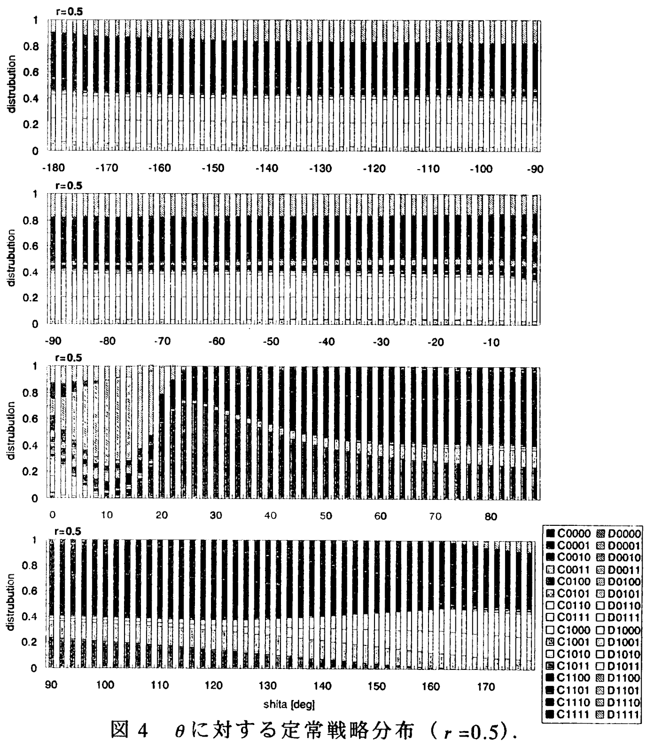

図 4　θ に対する定常戦略分布（$r=0.5$）．
Fig.4　Steady state strategy distribution at each

っても戦略の進化的適応によりゲームの帰趨は裏切り合いに陥ることなく，協調が創発されていることがわかる．更に，S+T>2R が成立している範囲のうち，θが大略 30deg を越える部分を除いたエリア（図 3 および図 5 に示した region 2 と region 3）で，社会平均利得は R を越えていることがわかる．これに呼応して R の出現頻度が下がり，代わって S と T が増えていることから，この高利得は“やらせ”によりもたらされていることが理解される．

S+T>2R の範囲で“やらせ”の戦略が，単に協調して R の利得を得る戦略を抑えて進化することは，首肯出来るが，ここで，疑問点が 2 つ出てくる．一つは，region 2 と region 3 では，図 3 の定常戦略分布の差異，図 5 の社会平均利得のθ変動特性からして，同じ“やらせ”でも異なる構造が背後にあるように推量される点である．また今一つは，region 4 のθが小さい側の領域は，S+T>2R を満たしているのに何故“やらせ”が生じないのか，換言すると region 3 はなぜ 30deg を越える部分が欠損しているのか，と云う点である．以下では，これらの点につき考察を進める．

“やらせ”を現出させる，すなわちあるプレーヤが S と T とを平均的に出すことで平均利得としては R を上回る状態を現出させるには，2 つの方法が採り得る．一つは，ターム，すなわち同じ相手と同戦略で対戦する中で，S と T とを入れ違い交互に（若しくは周期的に）出すパターンで，以下これを type1 と呼ぶ．今一つは，あるプレーヤの戦略分布中のある戦略が，同一ピリオド中に，多様な相手プレーヤ戦略と対戦する中で flat rate でみると S と T とが平均的に出現しているパターンで，これを以下 type2 と呼ぶ．つまり，type1 は特定の戦略組み合わせで生起するパターン，type2 はその時点の社会成員全員と対戦することで結果的に"やらせ"状況が発生するパターンである．

type1 を現出させるには，図 2 から 2 通りの対戦組み合わせが考えられる．すなわち，***01（*は wild card で第 1 カラムは C か D か，第 2 カラム以降は 1 か 0 かを意味する）同士が対戦する場合，加えて**011 と**101 とが対戦する場合である．前者は，ST のシーケンス，すなわち 2 周期の“やらせ”を生起させる．後者は，RST のシーケンス，すなわち 3 周期の“やらせ”を生起させる（利得の低い P を含む SRSP，PST のシーケンスは考えない）．定常戦略分布における***01，**011，**101 の割合を r =1.5 の場合を図 7，r =0.5 の場合を図 8 に示す．非ジレンマ域かつ S+T>2R の条件を満たす region 2 の領域では高頻度であることがわかる．このことから，region 2 の領域の“やらせ”は type1 に起因するものであるものと推論される．

これに対して region 3 の“やらせ”はどのような構造に依拠して発生するのだろうか？図 3 のθ=0deg で，極端に低頻度のものを除き，定常に達した戦略分布に存在するものを戦略#（図 1 の行番号）順に上げてみると，D0000（#2），C0010（#5），D0010（#6），D0100（#10），C0110（#13），D0110（#14），C0111（#15），C1010（#21），D1010（#22），C1101（#27），D1110（#30），C1111（#31）となる．まず，この中には上記した type1 の“やらせ”を発生させる要素は存在しない（C1101 は**101 だが**011 はない）．そして，これらの戦略間の対戦結果を図 2 で観察すると，以下のことに気が付く．すなわち，戦略#の小さい戦略は，多くの T と少数の P（例えば，D0000 を表す図 2 の第 2 行を上記の戦略との対戦要素だけ抜き出して見てみると確認出来る），戦略#の大きい戦略は，R が多く，次いで S，若干の T がバランスされて存在する，との利得構造になっている．一方で，図 3 を定常戦略分布と見るなら，M

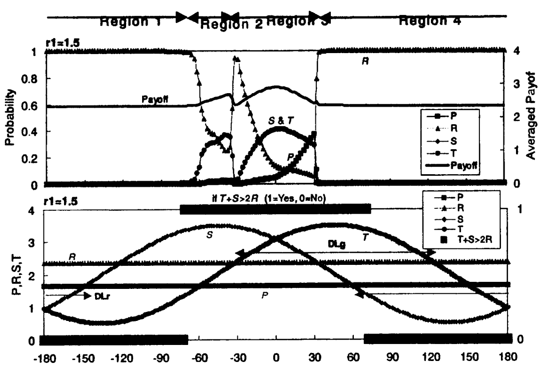

図 5　r =1.5 における P，R，S，T の出現頻度と社会平均利得（上段），P，R，S，T の値と S+T>2R となるθ範囲（下段）．

Fig.5　Frequencies of P, R, S and T, and population-averaged payoff in case of r =1.5 (upper). Actual values of P, R, S and T, and θ-range of S+T>2R (lower).

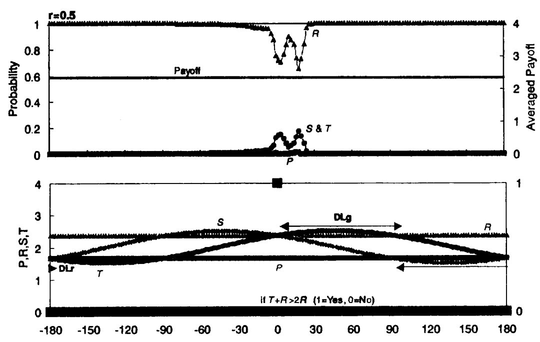

図 6　r =0.5 における P，R，S，T の出現頻度と社会平均利得（上段），P，R，S，T の値と S+T>2R となるθ範囲（下段）．

Fig.6　Frequencies of P, R, S and T, and population-averaged payoff in case of r =0.5 (upper). Actual values of P, R, S and T, and θ-range of S+T>2R (lower).

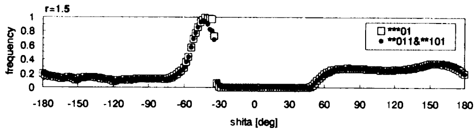

図 7　r =1.5 における戦略***01,
**011, **101 の頻度.
Fig.7　Frequencies of strategies of
***01, **011 or **101 in case of

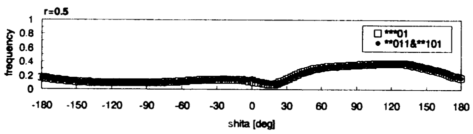

図 8　r =0.5 における戦略***01,
**011, **101 の頻度.
Fig.8　Frequencies of strategies of
***01, **011 or **101 in case of

の j 行要素と定常戦略分布との内積は，全ての行について同じにならなければならない（均衡に達しているのだから RD 上自明）．以上のことから推論すると，region 3 では上述した type2 の“やらせ”が発生していると考えられる．

どうして region 2 と region 3 で上記のような差異が出現したのかについては，以下のような推論が可能である．両者の差異は図 5 および図 1 の比較参照から分かるようにジレンマ性の有無にあるから，region 2 では進化上，ジレンマ性の克服と云う制約がない分，単一の対戦ターム内で“やらせ”を出現させ得る（type1）戦略群が適応的に majority を占めた．しかし，region 3 ではジレンマ性克服の過程でそれらは淘汰されてしまい，その代わり，“やらせ”のメリット（S+T>2R）を享受するために，ピリオド内でみると，平均的には“やらせ”が発生していたように見える type2 の“やらせ”を創発させた，と考えられる．

最後に，region 4 の θ が小さい側の領域は，S+T>2R を満たしているのに，なぜ“やらせ”が生じないのか，について，以下，演繹的に考察する．

図 3 の θ =40deg 前後で C0100（戦略#9）が戦略分布の全てを占めている．そこで，均衡点 s_9（32 次元ベクトルの第 9 要素のみ 1 でそれ以外のすべての要素が 0）について(2)式の Jacobian を演繹的に求めてみると，その 32 個の固有値の構成は，0（7 重），$-\frac{1}{\sqrt{2}}$（9 重），$-2-\frac{1}{2\sqrt{2}}$（1 重），$-\frac{1}{2\sqrt{2}}+r\cdot cos(45+\theta)$（9 重），$-2-\frac{1}{2\sqrt{2}}+\frac{1}{2}\cdot\left(4-\frac{1}{2\sqrt{2}}+r\cdot cos(45+\theta)\right)$（6 重）となる．これから固有値の一部が正とならない条件は，

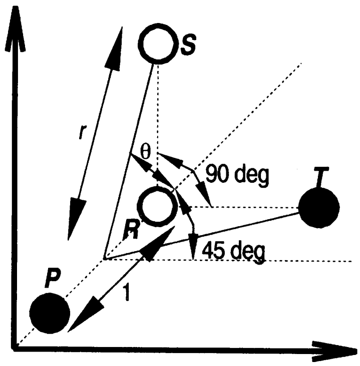

図 9　全固有値が負となる閾値．
Fig.9　The threshold situation of all the eigen values are negative.

$cos(45+\theta)<\frac{1}{r}\cdot\frac{1}{2\sqrt{2}}$ となる．この条件は図 9 に示すように Leader ゲームの領域で，S-R-T の角度が丁度 90deg になる閾値を越えて θ が大きくなれば，全ての固有値は非正となって，s_9 は安定均衡解になる（厳密に云うと，他の極が安定均衡となる可能性があり，s_9 がユニークであるか否かは不明だが，少なくとも初期分布が $s=(1/32\ \cdots\ 1/32)$ の場合にはダイナミクスは s_9 に吸引される）ことを示している．すなわち，この閾値を超えて θ が大きくり，ギャンブル性ジレンマ DL_g が大きくなると，ジレンマ耐性に優れた C0100（相手が協調してくる以外は一切協調しない）しか生き残れなくなる．逆に云うと，この閾値を下回ってギャンブル性ジレンマ DL_g が小さくなると，type2 の“やらせ”を可能にする戦略群が生き残れる可能性が出てくる．

6. 結論

1 記憶長戦略 2x2 ゲームの利得構造を様々に変化させる場合，S+T>2R の関係が成立するときに生じる“やらせ”状況，すなわち，互いに協調して R を得るより D と C を互いに出し合ってより高利得を得るメカニズム，について考察し，以下の点を明らかにした．

S+T>2R かつゲーム構造が trivial の場合には，単一戦略間の対戦で S と T を交互に出す“やらせ”が現出する．

S+T>2R かつゲーム構造がジレンマの場合には，他戦略全てと対戦することで S と T をうまく織り交ぜる戦略群が適応的に進化する．

S+T>2R であっても，ゲーム構造のジレンマ性が強くなり，$cos(45+\theta)<\frac{1}{r}\cdot\frac{1}{2\sqrt{2}}$ となると，（2）の“やらせ”を創発させる戦略群は淘汰され，ジレンマに robust な戦略だけが生き残り，社会平均利得としては，“やらせ”のうまみを取り得ずに R へと低下してしまう．

本論の考察から，以下のことが推量される．

2x2 ゲームにおいては，一方が T を得れば他方は必ず S となるから，S と T を互いに同頻度で出現させる以外に両者にとって公平な状況はあり得ない．このことと“やらせ”発生の基本要件 S+T>2R を考えると，最も効率的“やらせ”とは，S と T を交互入れ違いに出し合うことで両者の出現頻度を 50%にする状況である．「交互」，「入れ違い」を考えるなら，この状況下では記憶長は本論で検討したように 1 以上は意味がないように思われる(記憶長 1 以上は verbose 情報になる)．しかし,本論で検討したような記憶長 1 の全 32 戦略が等頻度で存在する状況からはじめた Replicator Dynamics では，上記のような理想的“やらせ”状況は現出しないことも確かである．この点については，更なる検討が必要だと考える．

文　献

[1] Rapoport,A., Guyer,M.; A taxonomy of 2x2 games, Gen. Systems 11, pp.203-214 (1966).

[2] Axelrod,R., Dion,D.; The further evolution on cooperation, SICENCE 242, pp.1385-1390 (1988)

[3] Nowak,M.A., May,R.M.; Evolutionary games and spatial chaos, NATURE 359, pp.826-829 (1992).

[4] Nowak,M.A., Sigmund,K.; A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner's dilemma game, NATURE 364, pp.56-58 (1993).

[5] Loberbaum,J.; No strategy is evolutionary stable in the repeated Prisoner's Dilemma, J. Theor.Biol. 168, pp.117-130 (1994).

[6] Maynard Smith,J.; Evolution and the Theory of Games, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1982).

[7] 相良博喜　谷本潤：ジレンマゲームにおけるジレンマ性に関する考察　情報処理学会論文誌;

[8] Browning, L. and Colman, A.: Evolution of coordinated alternating reciprocy in repeated dynamic games, Journal of Theoretical Biology 229, pp.549-557 (2004).

[9] Hauert, C., Haiden, N., Simund, K.; The dynamics of public goods, Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B 4(3),pp.575-587 (2004).