

繰り返し囚人のジレンマゲームのネットオークションへの適用と 協調行動と落札の関係の考察

久野木彩子[†] 山名 早人^{††}

^{††} 早稲田大学理工学部 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: [†]kunogi@yama.info.waseda.jp, ^{††}yamana@yama.info.waseda.ac.jp

あらまし 本報告では、ネットオークションでの効率の良い入札方法を考察するために、ネットオークションにおける協調行動と落札の関係を探る。協調行動の創発を観察するための方法としては繰り返し囚人のジレンマゲーム研究があり、Axelrodの研究以来、実世界に近いゲーム的状况を設定したシミュレーションを用いて様々な研究が行われてきた。そこで、本報告ではネットオークションに繰り返し囚人のジレンマゲームを適用する。エージェントの入札行動に繰り返し囚人のジレンマゲームの利得を適用したネットオークションモデルを構築し、エージェントの戦略と協調行動、落札額・落札回数との関係、対戦人数による変化を調査した結果、オークション序盤での協調行動が落札額を低く保ち、終盤からの継続的な裏切り行動が落札率を高めることが分かった。

キーワード e-commerce, エージェント技術, 繰り返し囚人のジレンマゲーム, ネットオークション

Discussion of the relation between cooperation and successful bid based on an online auction model using the iterated prisoners' dilemma

Ayako KUNOGI[†] and Hayato YAMANA^{††}

^{††}School of Science and Engineering, Waseda University 3-4-1 Okubo Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555
JAPAN

E-mail: [†]kunogi@yama.info.waseda.jp, ^{††}yamana@yama.info.waseda.ac.jp

Abstract In this paper, we research the relation between cooperation and successful bid to discuss the efficient bidding. The way to observe the emergence of cooperation There is iterated prisoners' dilemma as a method to observe emergence of the cooperation, they researched with the simulation which set up the game-situation near the real world, since the research of Axelrod. In this paper, we model an online auction model using the iterated prisoners' dilemma. Then we observed the relation between cooperation and successful bid. As a result, we have confirmed cooperation in opening stage lead the low bid price, and the continual defection in final stage decides the winner.

Key words e-commerce, agent, iterated prisoners' dilemma, online auction model

1. はじめに

本報告の目的は、ネットオークションでの効率の良い入札方法について考察することである。オークションに関する研究は古くから盛んに行われているが、制限時間内ならば好きなきに何度でも入札できるネットオークションでの入札者の行動について論じた研究は少なく、ネットオークションをモデル化してシミュレーションを行っているもの [4] [10] [12] と、実際のネットオークション市場を分析したもの [8] の 2 種類が存在する。しかし、従来の研究では、ネットオークションでの効率の

良い入札方法について、現実世界のネットオークションに生かせるような成果はあがっていない。

そこで、本報告では、ネットオークションにおけるエージェントの入札行動に、「協調」と「裏切り」の考え方を適用する。これは入札者間の「談合」を意味するものではない。エージェントを用いてネットオークションのシミュレーションを行い、ネットオークションでの互いに利己的かつ競争的なエージェントの入札行動における協調と裏切りが、どのように落札に結びつくかを調査する。その方法として、エージェントの入札行動に囚人のジレンマゲームで用いられる利得表を適用する。協調

の創発を観察する目的で Axelrod によって開始された繰り返し囚人のジレンマ研究 [1] は、より現実世界に近い状況を設定したシミュレーションを用いて現在も研究が行われている。個体間の利害の対立が起こるような場合に参加者の行動によってそれぞれの利得が変わるモデルである囚人のジレンマゲームの利得表をネットオークションに適用することで、互いに利己的かつ競争的な入札者の協調行動に注目した観察を行うことができる。その評価方法として、エージェントの戦略、協調と裏切りの度合いを表す囚人のジレンマゲームの利得を用いて計算した得点、落札額、落札回数との関係を考察する。

本報告では、第 2 節で繰り返し囚人のジレンマゲームの関連研究の概要について説明し、第 3 節でネットオークションの関連研究の概要について説明する。第 4 節で繰り返し囚人のジレンマゲームの利得を適用したネットオークションモデルを提案し、第 5 節で結果と考察を述べる。第 6 節で今後の課題を述べる。

2. 繰り返し囚人のジレンマゲーム

利己的な個体間で「協調がどのように進化しうるか？」という問いに対して、対象とする現象の本質を捉えてゲーム的状况を設定した上で、人工生命の手法を用いて構成的に研究するアプローチは近年成果をあげてきた。このようなアプローチが対象とするもっとも基本的なゲーム的状况が囚人のジレンマゲームであり、社会の形成に関する根源的な問いかけに答えるための枠組みとして、繰り返し囚人のジレンマゲームが頻繁に用いられている。

2.1 囚人のジレンマゲーム

囚人のジレンマゲームとは、抽象化された極めてシンプルな状況でありながら、個体間に利害の対立が起こるような多くの場面で普遍的に見られる状態のモデルである。囚人のジレンマゲームで一般によく用いられる利得表を表 1 に示す。

表 1 一般的な囚人のジレンマゲーム利得表

		B	
		協調 (Cooperate)	裏切り (Defect)
A	協調 (Cooperate)	3(R)	0(S)
	裏切り (Defect)	5(T)	1(P)

数字はプレイヤー A の利得を表す。

囚人のジレンマが発生する条件として、以下の 2 式があげられる。

$$T > R > P > S \quad (1)$$

$$2R > S + T \quad (2)$$

2.2 繰り返し囚人のジレンマゲームの研究の始まり [1]

Axelrod は、利己的な個体間で囚人のジレンマゲームを繰り返す場合、自然に協調関係が生まれるかどうかを探ることを目的として、繰り返し囚人のジレンマコンテストを 3 回に渡って行った。3 回のコンテストを通して、しっぺ返し戦略が優勝する結果となった。Axelrod は、協調戦略の住みにくい環境にお

いて、いかに協調が発生していくかを理論的に説き、繰り返し囚人のジレンマゲームに対処する進化論的に安定した戦略は、しっぺ返し戦略に似ていて、大抵はしっぺ返し戦略と同じ行動をとることを証明した。また、血縁選択に基づかない利他的行為についても、ゲーム的状况における互惠主義によって説明が可能となったとしている。

2.3 ゲームの条件を現実世界へ近づける試み [6] [7] [9]

Axelrod の研究 [1] 以降、繰り返し囚人のジレンマ研究では、ゲームの条件をより現実世界に近づける工夫がなされてきた。

近年の繰り返し囚人のジレンマゲーム研究では、ほとんどの研究においてノイズが導入されているが、その先駆けとなったのが [9] である。囚人のジレンマゲームを用いて、生物や人間における社会関係に関連した研究を行う場合、多少のノイズが入る状況において得られる知見こそが現実の社会に対して何らかの説明をしうるという主張は妥当といえる。

また [6] では、戦略を遺伝子表現し、突然変異を導入した繰り返し囚人のジレンマゲームの実験を行っている。各個体は自分と相手の出した手の履歴を保持し、その履歴に応じて次回の手を決定する。戦略に関する突然変異には、一点突然変異、遺伝子重複、遺伝子分割の 3 種類が導入された。実験の結果、記憶長 1 から記憶長 4 までの観察を行い、複雑な進化が起こることを示した。この実験結果には、生物進化における継続平行進化^(注1)、中立進化^(注2)、絶滅などでの研究に関わる貴重な知見を提供できた点で大きな意義があるとしている。

他にも、局所性を考慮した研究 [7] は、各個体を 2 次元平面の格子点上に配置し、対戦相手を自分の近隣に限ったものであり、近隣にいる協調的な戦略を持つ個体同士で得点を稼ぎ合うことができる点が特徴である。全個体と等確率に対戦する空間的ローカリティのないモデルに比べて多様性が増すことが期待でき、実際の生物界のモデルとしても妥当な拡張であるといえる。

2.4 N 人版への拡張 [3]

囚人のジレンマゲームは 1 対 1 で行う 2 人ゲームであるが、人間社会、あるいは生態系などに対するより妥当なモデルとするために、参加するゲームプレイヤーを増やす試みは古くからなされてきた。

Joshi は、繰り返し囚人のジレンマゲームを N 人版に拡張し、ゲーム理論的な解析を行っている。Joshi の考案した N 人版の利得は、相手の選択も自分の選択も相手に応じて変えることなくプレイヤー全員と個別に 2 人版囚人のジレンマゲームを行い、その利得を平均したものに相当する。複数の戦略の存在比率、集団の大きさ、ゲームの利得行列などをパラメータとして各戦略の適応度を計算した結果、2 人版に比べ、N 人版では協調関係が成立しにくくなることを明らかにした。これは、2 人対戦の場合は相手の戦略に応じて協調関係にもっていく手法が存在したが、多数でゲームを行う場合、参加している特定の

(注1): 進化には波があり、急激に変化するときに、ほとんど変化しない時期があること。

(注2): DNA は、進化とは無関係にランダムに変化する部分がほとんどであること。DNA と遺伝子は異なるため、遺伝子の進化を否定するものではない。

誰かだけにしつぱ返しをすることができないため、協調関係に持っていくことは難しいことが原因としてあげられる。

このようなアプローチによって、Joshi は、人間社会において血縁のない他人同士が、短期的には利他的な行為を行い合うような協調関係の成立を説明することは困難であることを主張した。

3. ネットオークション

従来のオークションの理論に関しては、Vickrey の研究 [11] 以降、さまざまな側面から研究が行われているが、最近インターネット上で普及している一定期間の好きな時点で何度でも入札できるオークションでの入札者の行動についての研究は以下に挙げる研究のみである。

[8] では、ネットオークションをモデル化し、現実のネットオークションにおける入札者の行動を単純化した典型的な 2 種類の行動様式を持つエージェント Early Bidder と Sniper を用いたシミュレーションを行うことにより、ネットオークションのダイナミックな側面について考察している。Early Bidder は、オークション序盤から積極的に入札を行うタイプのエージェントであり、Sniper はオークション終盤で比較的高額で 1 回だけ入札を行うタイプのエージェントである。[8] では、Early Bidder を 7 人、Sniper を 3 人用い、10000 回シミュレーションを行ったところ、Sniper が競り勝つ頻度が高い、Early Bidder は落札する頻度は低いが比較的安価で落札する機会が多い、という結果が得られた。Sniper の入札時刻を固定して、落札確率と価格への影響を見た実験では、時刻をより遅くすることにより、落札確率が上昇し、落札価格が減少する結果となった。このことから Sniper にとってはぎりぎりの時刻まで待つことがより良い戦略といえる。しかし、実際のオークションでは、ネットワークの不安定性や早期終了オプションといったリスクや、終了間際に時間を拘束されるコストといった要因とのトレードオフが生じると考えられる。

ネットオークションでの価格形成について実際の市場を分析した研究としては、[4]、[5]、[10]、[12] がある。[4] では、ネットオークションで同一の商品に大きな価格差が生まれる理由の 1 つとして、より多くの買い手が参加するオークションにおいては価格が高く決まる傾向があると結論づけている。また、競争的なインタラクションに対する顧客の反応を観察した結果、ネットオークションをエンターテイメントとして捉える参加者がいることを指摘している。[10] は、終了間際に急激な価格上昇が出現することを指摘し、私的価値の財は共通価値の財に比べて終了間際の時間の価格変動が急激であることを導き出した。[5] では、オークションの価格変動には、私的価値・共通価値という財に対する価値の差異に加え、入札者の性格的な構成、特に経験の差異が大きく関わっているとしている。[12] では、入札者のネットオークション経験が、首尾一貫した入札行動を導くことは確かであるが、必ずしも経験があるからといって入札者が首尾一貫した入札行動をとるわけではないことを指摘している。

4. 提案するネットオークションモデル

提案するモデルでは、入札行動を戦略として持つエージェントを用いてネットオークションのシミュレーションを行い、その入札行動に、N 人版繰り返し囚人のジレンマゲームで用いられる利得表を適用する。囚人のジレンマゲームは、個体間の利害の対立が起こるような場合に参加者の行動によって相互の利得が変わるモデルであるが、その囚人のジレンマゲームで用いられる利得表を適用することで、互いに利己的かつ競争的な入札者の協調行動に注目した観察を行うことができる。

4.1 目的

研究の目的は、ネットオークションにおいてどのような過程で入札行動が進むかを観察し、互いに利己的かつ競争的なエージェントの入札行動がどのような協調行動や裏切り行動に結びつくか、協調と裏切りの度合いを表す囚人のジレンマゲームの利得を用いて計算した得点と、落札額や落札回数との関係を考察することである。本報告の新規点は、ネットオークションの入札者の協調行動に注目した点である。また、本報告の有用性としては、利己的なエージェントが複数集まった場合に、いかに協調を導きだし、かつ、個々のエージェントの利己性を保つかを研究課題としているマルチエージェント研究 [2] の分野に結びつくと考えられる。

4.2 オークションのモデル化

提案モデルのオークションの流れについて説明する。1 対戦において、各エージェントは「入札する」「入札しない」のいずれかを選択する機会が R 回与えられる。入札する場合には最低入札単位以上の価格で入札を行う。実際のネットオークションでは、各エージェントは時間内であれば好きなときに何度でも入札できる仕組みになっているが、このモデルでは、R を時間に見立てることにより、各エージェントが同時に意思決定を行う仕組みとなっている。各エージェントが同時に入札するかどうかの選択を行うことによって、囚人のジレンマゲームを適用することができる。1 回の相互の入札行動を、表 2 の利得表を用いて評価し、その利得は、エージェントの得点として加算されていく。本報告では、この得点を「IPD (Iterated Prisoners' Dilemma) 得点」と呼ぶことにする。提案モデルでは、IPD 得点とは別に、エージェントごとの平均落札額、各エージェントの持つ評価額との平均差額、商品の落札回数がカウントされ、評価の対象となる。

4.3 囚人のジレンマゲームの適用

囚人のジレンマゲームの利得表の適用方法について説明する。このモデルにおける協調行動は「入札しない」であり、裏切り行動は「入札する」である。これは、自分が入札すれば商品を手に入れられる可能性は高まるが、誰が落札するにしろ、その入札行動によって落札額が上がることは避けられない。逆に入札しなければ落札額が低く抑えられることが予想される。しかし、最終的に商品を手に入れるためには少なくとも 1 回は裏切る必要がある。このように、協調行動だけでは勝てないゲームにおいて、どのような協調行動が起きるか、協調行動と落札額との関係を観察することが本報告の目的である。

表 2 提案モデルの利得表

		プレイヤー B	
		入札しない	入札する
プレイヤー A	入札しない	(3, 3)	(0, 4)
	入札する	(4, 0)	(2, 2)

(プレイヤー A の得点, プレイヤー B の得点)

表 2 の利得表を説明する。1 回の入札行動において、相手が入札しない場合、自分が入札すればそのまま商品を落札できる可能性が高まるため、利得は最も高い。もし逆に相手のみが入札した場合の利得は最も低い。自分も相手も入札した場合、入札額の高低によって最高額入札者が決まるため、最高額入札者になる確率を 50 % と考え、入札額の高低に関係なく利得は $4 \times \frac{1}{2}$ とする。自分も相手も入札しない場合、商品の落札額が低くなる可能性が高まるので、協調行動をとったものとみなして利得は 2 番目に高い 3 とする。表 2 で示した利得表は (1) 式 (2) 式を満たす 1 対 1 の対戦を想定した利得であるが、実際のシミュレーションでは、これを Joshi [3] によって提案されている N 人版への拡張方法を用いて参加者数の増加に対応している。

4.4 エージェントの戦略

エージェントは、表 3 の戦略を持つ。提案モデルでは、表 3 で示した戦略を複数個ずつ用意し、総当りで対戦を行う。表 3 は [8] で用いられている Early Bidder と Sniper を拡張したものである。入札確率は、各行動様式の性格と入札行動のコストを考慮し、オークション序盤から入札する Early Bidder は 10 ラウンドに 2 回から 3 回の割合、オークション終盤で勝負をかける Continual Sniper は、10 ラウンドに 7 回から 8 回の割合で入札行動を起こすよう設定する。また、入札開始時刻 T (ラウンド数) に関しては、一発勝負型の Sniper はなるべく終了間際で入札するように設定し、終盤から継続的に入札する Continual Sniper は、Sniper より早めに入札行動を起こすよう設定する。

表 3 提案モデルでのエージェントの行動様式

	Early Bidder	Sniper	Continual Sniper
行動	オークション序盤より入札行動を開始し、時々刻々競り上げていく。	終了直前まで様子を見た後、終了直前に 1 回だけ比較的高い価格で入札する。	初期の時点では様子を伺い、終了時刻が迫ってから入札行動を開始する。
性格	オークションに比較的の不慣れで最終的な価格のみならず競り合う過程に楽しみを見出すタイプ	終了間際に急激な入札を行うネットオークションでよく見られるタイプ	終了間際に急激な入札を行うネットオークションでよく見られるタイプ
分類	裏切り戦略	協調戦略	協調戦略
入札開始	序盤	最終盤	終盤
入札確率	20 % ~ 30 %	1 度だけ	70 % ~ 80 %

各エージェントは評価額と限度額を持つ。評価額とは、エージェントが考える商品の価値であり、限度額とは、これ以上出すことのできない額とする。

4.5 シミュレーション条件

1 対戦は R ラウンドから構成され、各エージェントは、ラウンドごとに入札するかしないかの意思決定を行う。1 ラウンドのエージェントの入札行動に基づき、利得が計算され、1 対戦の間、IPD 得点は加算されていく。評価額は、各対戦ごとにエージェントにある一定の幅の中でランダムに割り振られる。これは [5] における、私的財と共有財の間をとったもので、ごく一般的に行われているネットオークションの特徴をふまえたものである。限度額はエージェント間で一定とする。 R ラウンドの対戦を終え、あるエージェントが商品を落札した場合、その落札額が記録される。1 対戦はランダム変数の挙動を考えて、 M 回繰り返すものとし、 M 回の IPD 得点、落札額、落札回数が評価の対象となる。なお、終了時刻直前に入札するリスクに相当するものとして、ラウンド数は $R_{max} - 2 \leq R \leq R_{max}$ の範囲で毎回ランダムに決定するものとする。自動入札制度は、囚人のジレンマゲームを適用するにあたり、本モデルでは導入しないものとする。よって、提案モデルは、落札額の観点から英国型オークションに分類される。

4.5.1 シミュレーション A 行動様式と対戦人数による落札傾向

行動様式ごとの落札傾向と、対戦人数による落札傾向の変化を探るために、表 3 で示した Early Bidder を 4 人、Sniper を 4 人、Continual Sniper を 4 人の計 12 個の戦略を持つエージェントを用いて、総当りの N 人対戦 ($N \leq 10$) を行う。この総当り戦とは、例えばシミュレーション参加者が A, B, C, D の 4 人で、3 人対戦を行う場合、A と B と C, A と B と D, A と C と D, B と C と D というように全員が全員と違う組み合わせで 1 度だけ対戦することをいう。

4.5.2 シミュレーション B 落札額と協調行動の関係

落札額と協調行動の関係を探るために、対戦人数は 12 人で固定し、表 3 で示した 3 つの行動様式の参加人数の割合を変えてシミュレーションを行う。対戦の組み合わせは表 4 に示す。協調戦略の人数に注目して、表 4 のケース a からケース h までの条件でシミュレーションを行う。協調戦略とは、オークション終盤まで入札を行わない Sniper と Continual Sniper の 2 つ

表 4 シミュレーション B 対戦の組み合わせ表

協調戦略人数	ケース	行動様式参加人数		
		Early Bidder	Sniper	Continual Sniper
0 人	a	12 人	0 人	0 人
4 人	b	4 人	4 人	4 人
6 人	c	6 人	6 人	0 人
	d	6 人	0 人	6 人
	e	6 人	3 人	3 人
12 人	f	0 人	12 人	0 人
	g	0 人	0 人	12 人
	h	0 人	6 人	6 人

表 5 最高落札額と最低落札額

落札額	N=3		N=6		N=9		N=12	
	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高
Early Bidder	6000	74000	6000	100000	16000	100000	67000	100000
Sniper	7000	53000	7000	100000	10000	100000	59000	100000
Continual Sniper	6000	49000	6000	100000	9000	100000	51000	100000

表 6 平均落札額の協調戦略数による比較

協調戦略数 C	0	6				8	12	
ケース	a	b	c	d	e	f	g	h
平均落札額	170200	137050	140860	138710	98050	20370	18310	22740

の行動様式を持つ戦略を指す。

5. 結果と考察

5.1 実験結果

本節では、提案モデルの実験結果について述べる。

5.1.1 シミュレーション A 行動様式と対戦人数による落札傾向

対戦人数 $N = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$, 最高ラウンド数 $R_{maxr} = 100$, 繰り返し数 $M = 100$ として実験を行った。評価額は 20000 ~ 60000 の範囲で対戦ごとにランダムに割り振り、限度額は 100000 とし、初期額は 5000 とした。

図 1, 図 2, 図 3, 図 4 は, Early Bidder, Sniper, Continual Sniper の 3 つの行動様式ごとに落札額を頻度分布で表した図である。図 1 は $N = 3$ の場合, 図 2 は $N = 6$ の場合, 図 3 は $N = 9$ の場合, 図 4 は $N = 12$ の場合の分布となっている。実線で囲まれた面積が大きいほど頻度が高いことを表している。

表 5 は, Early Bidder, Sniper, Continual Sniper の 3 つの行動様式ごとに, $N = 3, 6, 9, 12$ での最低落札額と最高落札額を示した表である。

図 5 は $N = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ での落札回数の割合を行動様式で比較した図である。図 6 は各行動様式の IPD 得点の平均を対戦人数で比較した図である。図 7 は $N = 12$ での各行動様式の IPD 得点の頻度分布である。実線で囲まれた面積が大きいほど頻度が高いことを表している。図 8 は $N = 12$ での各行動様式がそれぞれ落札したときの IPD 得点の頻度分布である。実線で囲まれた面積が大きいほど頻度が高いことを表している。

5.1.2 シミュレーション B 落札額と協調行動の関係

対戦人数 $N = 12$, 最高ラウンド数 $R_{maxr} = 100$, 繰り返し数 $M = 100$ として実験を行った。評価額は 90000 ~ 120000 の範囲で対戦ごとにランダムに割り振り、限度額はなし、初期額は 5000 とした。対戦人数が 12 人の場合、シミュレーション A の結果から落札額が 100000 を超えることが予想されたため、評価額はシミュレーション A よりも高く設定した。また、落札額の高騰を見るため、限度額はなしとした。

図 9 は, 1 対戦における全戦略の IPD 得点を合計したものを, 協調戦略の人数によって比較した図である。協調戦略の人

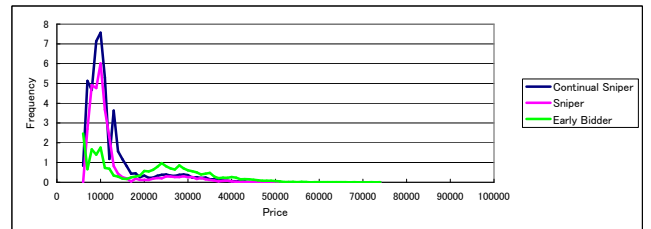


図 1 落札額の頻度分布 ($N = 3$)

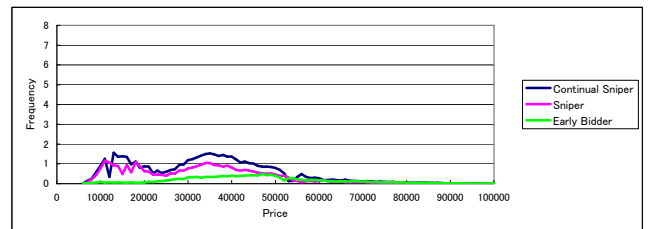


図 2 落札額の頻度分布 ($N = 6$)

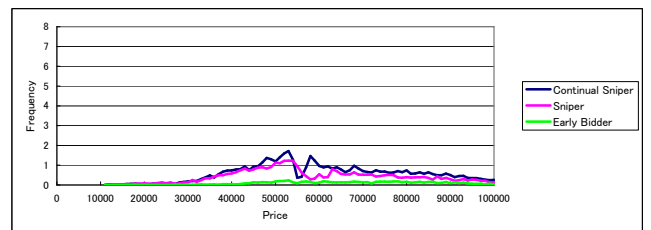


図 3 落札額の頻度分布 ($N = 9$)

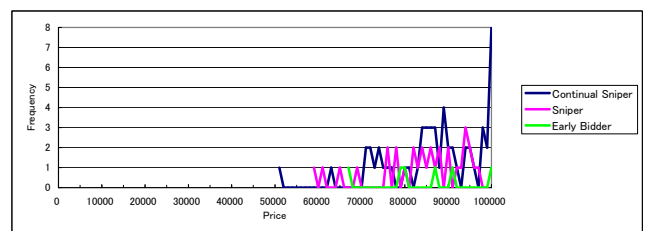


図 4 落札額の頻度分布 ($N = 12$)

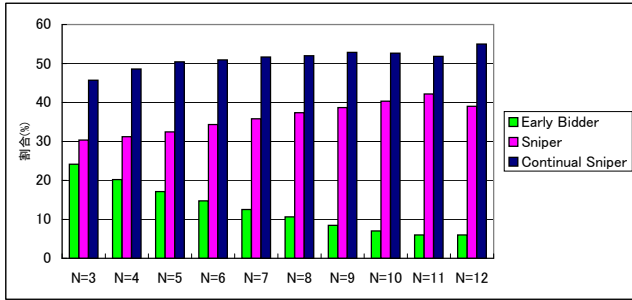


図 5 落札回数の対戦人数による比較

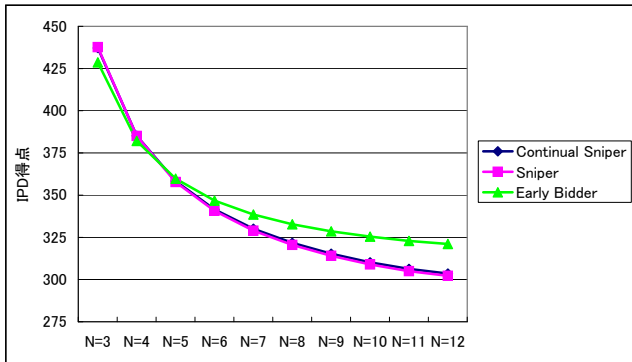


図 6 平均 IPD 得点の対戦人数による比較

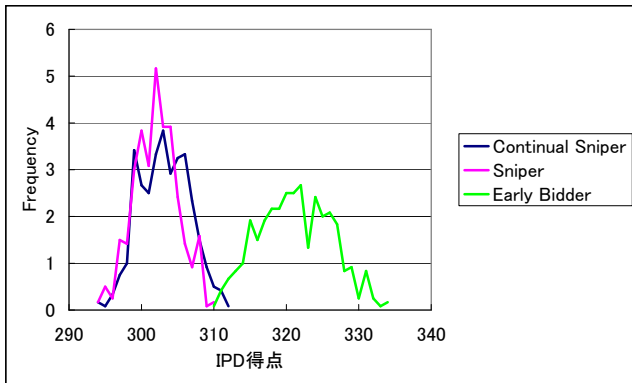


図 7 IPD 得点の頻度分布 (N = 12)

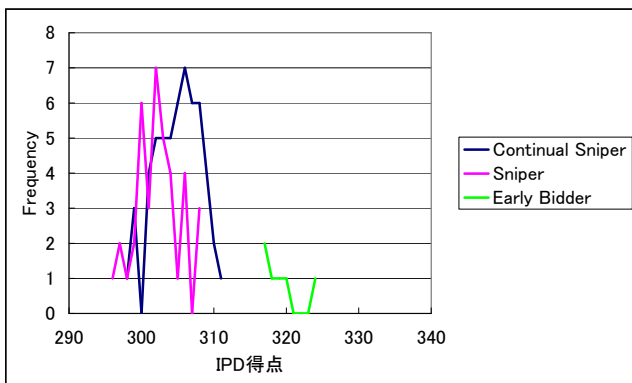


図 8 落札時の IPD 得点頻度分布 (N = 12)

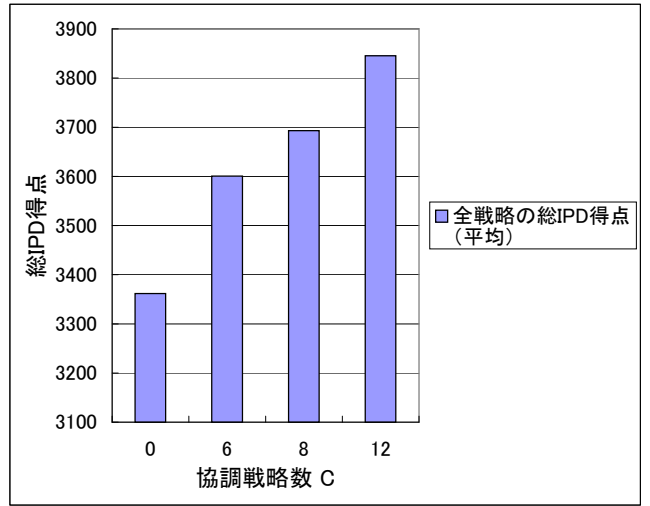


図 9 1 対戦における全戦略の合計 IPD 得点の協調戦略の人数による比較

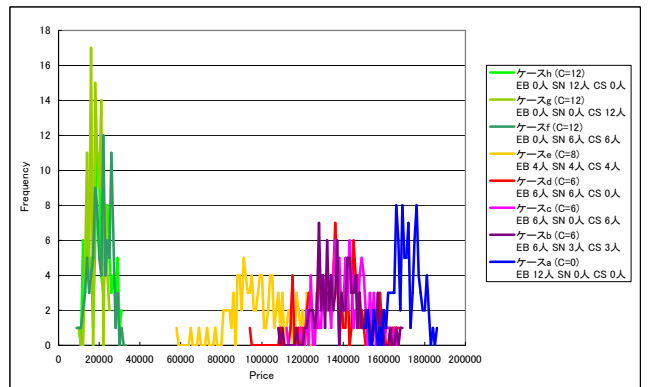


図 10 落札額頻度分布の協調戦略人数による比較

数が同じ対戦がいくつかある場合は、合計の平均をとった。図 10 は、表 4 のケース a からケース h の落札額の頻度分布である。表 6 は、協調戦略の人数によって平均落札額を比較した表である。

5.2 考察

本節では 5.1 節の結果から考察を行う。

a) 落札額と落札回数

落札額と落札回数に関する考察を行う。

図 1, 図 2, 図 3, 図 4 より、対戦人数が増加するほど落札額は上昇していることが分かる。この結果は、実際のネットオークションを分析した [4] の、より多くの買い手が参加するオークションにおいては価格が高く決まる傾向がある、という指摘と一致している。Sniper と Continual Sniper は、表 3 で定義された入札行動から、高額での落札が予想されたが、表 5 からは、Sniper と Continual Sniper が Early Bidder に比べて高額で落札している傾向は見られない。逆に、Early Bidder の方が高額で落札するケースがあることが分かる。これは、オークション序盤から活発に競り上げていくうちに高額での競争になったケースと、Sniper や Continual Sniper といった比較的高額で入札するエージェントがオークション終盤で入札し、その後、Early Bidder が Sniper や Continual Sniper の入札を上回る額

での入札を行ってそのまま高額で落札したケースが考えられる。しかし、Early Bidder の入札する割合は Continual Sniper に比べて低く、後者のケースは少ないと考えられるため、特に、Early Bidder の参加人数が多い対戦において、序盤での活発な競り合いが高額での落札に影響したものと考えられる。

図 5 より、どの対戦人数においても、Early Bidder よりも Sniper と Continual Sniper の方が落札回数が多いことが分かる。また、Early Bidder は対戦人数が増加するほど落札回数が減っているが、Sniper と Continual Sniper は対戦人数が増加するほど、落札回数も増加する傾向が見られる。Early Bidder の落札回数が少ない原因としては、表 3 の Early Bidder の入札する確率が Continual Sniper に比べて低く、オークション終盤でなかなか入札できていない点と、入札額の上げ幅が小さく、入札額の上げ幅の大きい戦略と同じラウンドで入札した場合、Early Bidder が入札できない点があげられる。Sniper の落札回数が Continual Sniper より劣る原因は、一度きりではなく継続して入札できる Continual Sniper に対し、Sniper は終盤で一度しか入札できず、自分の後で誰かが入札した場合になす術がない点があげられる。図 5 から、Continual Sniper は多人数での対戦にも強く、また少人数においても強さを発揮できることから、対戦人数に関係なく強い行動様式といえる。

b) IPD 得点と協調行動

IPD 得点と協調行動について考察する。

シミュレーション B では、裏切り戦略と協調戦略の対戦参加人数を変化させて対戦を行っているが、図 9 を見ると、協調戦略の対戦参加人数が多いほど、全戦略の IPD 得点の合計は高くなっている。このことから、IPD 得点は、全参加者の協調を導き出さないことには全体での高得点は出ないことが分かる。この結果は、囚人のジレンマの発生する条件式 (2) と合致している。

図 6 から、対戦人数が増えるほど IPD 得点が低下していることが分かる。この結果は、 N 人版囚人のジレンマゲームにおいて、対戦人数が増えるほど協調が成立しにくくなる現象に合致している。また、対戦人数が 3 人、4 人のときは、オークション終盤まで協調する戦略の方が平均して高得点をあげているが、5 人以上の場合はオークション序盤から裏切る戦略の方が平均して高得点をあげている。これは、同じ行動様式を持つ戦略を 4 つずつ用意したため、 $N = 3, 4$ での対戦の場合、協調戦略同士だけで対戦する機会が多くあり、参加者全員での協調期間が長く続いて高得点が出たものと考えられる。一方、 $N \geq 5$ の場合は、裏切った回数が多い場合に IPD 得点は高得点になるといえる。

図 7、図 8 は、12 人が一度に対戦した全員対戦での結果である。図 5 から分かるとおり、100 回の対戦中、Continual Sniper が約 55%、Sniper が 39%、Early Bidder が 6% 落札する結果となった。図 7 から、3 つの行動様式で IPD 得点の分布に開きがあることがわかる。Early Bidder は 3 つの行動様式の中で一番 IPD 得点が高い。しかし、同じ Early Bidder の中でも、入札確率の高い戦略の方が、入札確率の低い戦略よりも IPD 得点

が低くなっていた。これは、Early Bidder はオークション序盤から裏切り行動である入札行動を起こすため IPD 得点は高くなるが、より独占的に裏切ることが出来ればより高い IPD 得点を出すことができることを表しているといえる。Sniper はオークション終盤でたった一度裏切り行動をとることしかできないため、他の参加者の協調を期待するほかない。よって、結果的に裏切られてばかりのため IPD 得点は低下している。Continual Sniper も、Sniper と同様、ゲーム終盤までは他の参加者の協調を期待するしかなく、オークション終盤で何度か裏切ったとしても、その何度かの裏切り程度では IPD 得点の大勢には影響がないため、Sniper とあまり変わらない IPD 得点となっているものと考えられる。

c) 落札回数と協調行動

落札回数と協調行動の関係を考察する。

IPD 得点が高い Early Bidder は、図 5 を見ると落札回数は少ない。また、図 8 から、Early Bidder は、IPD で高得点を出した場合でも落札できていないことが分かる。図 6 から、 $N \geq 5$ の場合は、裏切った回数が多い場合に IPD 得点は高得点になるといえるが、オークション序盤でいくら裏切り行動を行ったとしても落札の成否には関係なく、結局のところ、オークション終盤での入札行動が落札の成否を決定していると考えられる。また、協調戦略である Sniper の落札回数は、同じ Continual Sniper に比べると劣る。このことから、オークション終盤での継続的な入札行動が落札率を高める要因となっていることが考えられる。

d) 落札額と協調行動

落札額と協調行動の関係を考察する。

図 10 から、協調戦略数が多いほど、落札額は低くなっていることがわかる。Early Bidder の序盤からの度重なる入札行動は、落札額を上げる原因となっていると考えられる。

表 6 から、同じ協調戦略数同士での平均落札額の違いを比較する。対戦に参加した戦略が全て協調戦略のとき、平均落札額が最も低いのは、ケース g の Continual Sniper 12 人を対戦させた場合である。それに続いて平均落札額が低いのは、ケース f の Sniper 12 人を対戦させた場合である。3 つの中で最も平均落札額が高いのは、ケース h の Sniper 6 人と Continual Sniper 6 人を対戦させた場合である。Continual Sniper 12 人の対戦の方が Sniper 12 人の対戦よりも平均落札額が低い理由としては、Continual Sniper の方が入札額の上げ幅が小さいことがあげられる。Sniper と Continual Sniper が混合して対戦を行う場合に、他の 2 つのケースに比べて平均落札額が高くなっている理由としては、Sniper が入札する以前に Continual Sniper が入札を行っており、ある程度価格が上がったところで Sniper が高額で入札を行ったという点と、Sniper の高額での入札の後に、その入札額を上回る額で Continual Sniper が入札を行ったという点の 2 点があげられる。

対戦に参加した戦略の半数が協調戦略のとき、平均落札額が最も低いのは、ケース b の Early Bidder 6 人と Sniper 6 人の組

み合わせである．それに続いて平均落札額が低いのは，ケース d の Early Bidder6 人と Sniper3 人と Continual Sniper3 人の組み合わせである．3 つの中で最も平均落札額が高いのは，ケース c の Early Bidder6 人と Continual Sniper6 人の組み合わせである．ケース c の平均落札額が 3 つの中で最も低い理由としては，協調者数が 12 人の場合は高額での入札が落札額を上げる原因となっていたが，この場合は，高額での入札よりも，競り合う回数の多さが落札額の上昇に影響していると考えられる．

この結果から，落札額を上昇させる大きな原因として，裏切り戦略の参加があげられる．裏切り戦略の特徴は競り合う回数多さであり，これが落札額を上昇させている．他の原因としては，入札額の上昇幅が大きい点があげられる．

5.3 考察のまとめ

本節では，5.2 節での考察をまとめる．

序盤から低額で継続的に入札を行う裏切り戦略は，終盤から比較的高額で入札を行う協調戦略が参加するオークションでは，全体の 1 割～2 割程度しか落札することができない．協調戦略の中で比べてみると，一発勝負型の Sniper よりも継続入札型の Continual Sniper の方が，落札率は高いことが分かった．Sniper のような終盤での一発勝負型戦略は，[8] で述べられているように，いかにオークションの最後の最後で入札できるかによって落札成功率が変わるため，運に頼る部分が多いことが理由としてあげられる．

また，裏切り戦略がオークションに参加する場合，落札額が飛躍的に高くなる傾向があることが分かった．Early Bidder の落札率は，頻繁に入札行動を起こすことで上がると考えられるが，頻繁な入札行動が落札額の大幅な上昇を招くことが予想されるため，たとえ落札できたとしても不本意な落札額になる可能性がある．序盤から頻繁に入札して無駄に落札額を上げるより，落札額の面と実世界での入札行動のコストの面から考えて，頻繁に入札するのは終盤になってからの方が効率が良いと予想される．

以上から，オークション序盤での協調行動が落札額を低く保ち，終盤からの継続的な裏切り行動が落札率を高めることが分かった．オークション序盤では沈黙し，終盤から継続的に入札を行うことが効率良い入札方法だといえる．また，Early Bidder のような序盤から積極的に入札を行うエージェントが参加しているオークションでは，落札額が高額になることが予想されるため，もし同一の商品が他に出品されているのならば，序盤から競り上げが行われてないオークションを選んで参加した方が，落札額をより安く抑えられると考えられる．

6. ま と め

本報告の目的は，ネットオークションでの効率の良い入札方法について考察することである．オークションに関する研究は盛んに行われているが，制限時間内ならば好きなときに何度でも入札できるネットオークションについて論じた報告は少なく，従来の研究では，ネットオークションでの効率の良い入札方法について，現実世界のネットオークションに生かせるような成

果はあがっていない．そこで本報告では，互いに利己的かつ競争的なエージェントの入札行動における協調と裏切りが，どのように落札に結びつくかを調べるために，入札行動に囚人のジレンマゲームで用いられる利得表を適用したモデルを提案した．

3 つの典型的な行動様式を持つエージェントを用いて行ったシミュレーション結果から，エージェントの戦略，協調と裏切りの度合いを表す囚人のジレンマゲームの利得を用いて計算した得点，落札額，落札回数の関係を考察したところ，オークション序盤での協調行動が落札額を低く保ち，終盤からの継続的な裏切り行動が落札率を高めることが分かった．オークション序盤では沈黙し，終盤から継続的に入札を行うことが効率良い入札方法だといえる．また，序盤から積極的に入札を行うエージェントが参加するオークションでは落札額の高騰が予想されるため，もし同一の商品のオークションが他にも行われているのであれば，序盤から競り上げが行われてないオークションを選んで参加した方が，落札できた場合に落札額をより安く抑えられると考えられる．

今後の課題としては，行動様式・戦略の増強と，頻繁な入札を行う際の実世界でのコストを表すパラメータの追加，時間延長システムの導入など，実世界でのネットオークションに近づけるための工夫が必要だと考えられる．そのためには，入札者の行動様式や，行動様式別の参加の割合など，実際のネットオークションを分析することも必要である．また，利得表の再考や，複数回の入札を繰り返した時点での総合的な利得や落札価格の予想を行うモデルの提案も考えられる．

文 献

- [1] R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, 1984.
- [2] 伊藤孝行, 新谷虎松, "マルチエージェントシステムのための実装技術とその応用," *人工知能誌*, 12 巻, 1 号, 1997.
- [3] N.V. Joshi, "Evolution of cooperation by reciprocation within structured demes," *Journal of genetics*, vol.66, no.1, pp.69-84, 1987.
- [4] 国領二郎, "ネットオークションにおける顧客間インタラクションと価格形成," *経営情報学会秋季研究発表大会*, 1999.
- [5] 黒澤聡, 前川徹, "インターネットオークションにおける入札者の行動分析," *情処学論 電子化知的財産・社会基盤*, No.14, 2001.
- [6] K. Lindgren, "Evolutionary phenomena in simple dynamics," *Artificial Life II*, pp.295-312, 1992.
- [7] K. Lindgren, M.G. Nordahl, "Evolutionary dynamics of spatial games," *Physica D*, vol.75, pp.292-309 1994.
- [8] 水田秀行, "マルチエージェントシミュレーションとダイナミックオンラインオークション," *情処学論 知能と複雑系*, No.123, 2001.
- [9] M.A. Nowak, K.Sigmund, "A strategy of win-stay lose-shift that outperforms TIT-FOR-TAT in the prisoner's dilemma game," *Nature*, vol.364, no.6432, pp.56-58, 1993.
- [10] A.E. Roth, A. Ockenfels, "Last minute bidding and the rules for ending second-price auction - theory and evidence from a natural experiment on the internet(draft)-," Working Paper, Harvard University, 2000.
- [11] W. Vickery, "Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders," *Journal of Finance*, vol.16, pp.8-37, 1961.
- [12] R.T. Wilcox, "Experts and Amateurs The role of Experience in Internet," *Journal of Finance, Marketing Letters* 11.4, pp.363-374, 2000.