条件付きリスク行動の進化論的分析

岡田 勇[*1]，山本 仁志[*2]

Evolution of Conditionally Risk Behaviour

Isamu Okada[*1]，Hitoshi Yamamoto[*2]

Abstract：本研究では、エージェントシミュレーションを用いて条件付きリスク行動の適応過程について分析する。その結果、トーナメントゲームにおいては比較的高いリスクを取るリスク行動が生き残ることが分かった。さらに、ミュータントが常に侵入しうる環境において適応的であるのは、最高ではないが比較的リスクの程度の高い戦略である。この知見はプロスペクト理論が主張するような人間行動を支持するのみならず、それらの理論では説明できない合理的なメカニズムを提供している。本稿はまだ抽象性の極めて高いモデルの分析に過ぎないが、行動経済学をはじめ進化論、社会心理学、消費者行動理論といった多様な領域に重要な知見を提供しうるだろう。最後に、より一般的な解析のための拡張のアイディアについても提案する。

Keywords：エージェントシミュレーション，リスク行動，進化ダイナミクス

1. はじめに

実力が同じ個体が、異なるリスクの度合いを選択しながら競争する場合、どのようなリスク戦略が適応的であろうか。期待値が同じであり、かつリスクの度合いが異なる選択が自由であるような状況下で競争する際の適応的な戦略を分析することは広範な現実の問題に適応できる。それは原始社会の群れの中で食料を得るためにどの程度の危険を冒すのかに見られるのみならず、子供にどのような教育を受けさせるのか、将棋でどのような序盤を戦うのか、金融市場においてどのようなポートフォリオを選択するのかといった、社会的な場面に広くみられ、この進化論的な分析は、人間行動のある基本的な側面の理解につながる。

多くの場合、結果として何らかの利益を得ることによって競争が行われる。ビジネスの分野ではインターネットの巨大化により競争が激化し、一人勝ち現象が生じていることが指摘されている(Okada, 2006)が、これも利益がもたらす競争による結果である。また、自分の子供にどのような教育を受けさせるのかという重要な戦略に対して、希望する学校に進学したり、希望する会社に就職できたりするという、人の一生を左右するような重要な結果が競争によってもたらされる。つまり、入学試験や入社試験は一種のゲームとみなすことができるのだ。他にも、将棋では序盤の戦略においてどの程度のリスクを選ぶかによって、ゲームの流れは変わり、勝敗に大きな影響をもたらす。このような種類の競争では、プレイヤーの利得が対戦相手のそれよりも多いのか少ないのかによってゲームの勝者が決まると見なすことができる。そこで、本稿では、プレイヤーのリスク行動の結果が勝敗を分けるような状況の種類の競争を取り扱うことにする。

一人勝ち現象とは反対に、ゲームで得られた利得に応じてプレイヤーが結果を得るような種類の競争もある。例えば、労働者の賃金がオールオアナッシングだったら家計はパニックに陥るだろう。つまり、労働者の賃金は、労働者の努力や結果に応じて比例的配分されることが基本となる。

我々は分析の基盤として期待値が同じくじを考える。その際、定義を工夫するとリスクの度合いの異なるくじを無限に生成することができる。これを用いてプレイヤーが逐次的に複数のくじを引くモデルを構築する。プレイヤーにとって、くじの選択は逐次的であるから条件付き戦略を持つことができる。これらのくじの結果、プレイヤーはくじのリスクに応じた利得を得る。本論文では多数の集団において、任意にペアを選び、利得の大小に基づき競争するものとする。我々は、このゲームの結果にもとづく競争を基本とするリスク行

[*1] 創価大学 経営学部，〒192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236
E-mail: okada@soka.ac.jp
[*2] 立正大学 経営学部，〒141-8602 東京都品川区大崎 4-2-16
E-mail: hitoshi@ris.ac.jp

動の進化的な適応過程を扱うフレームワークを提供する。

本研究は、まだ高い抽象的な解析に過ぎないが、人々がいかにしてリスク行動をするのかに関する進化論的観点からの議論は、学際的な分野に対して効果的な理論的知見を提供することができるだろう。

1.1. 先行研究

リスク行動研究の多くは実証的である。Payne(2005)はリスク行動の存在を実証的に検証している。こういった研究の多くは、実験的手法、あるいは、質問紙調査によって、人間の心理的特性を取り扱うものとなっている。なぜなら、リスク構造はしばしば非合理的に見えるからである。よく知られているように、人間はしばしば非合理にふるまう。プロスペクト理論の代表的研究である Kahneman and Tversky (1979) は、金融における意思決定において複数の代替案から人々が取るリスク行動がどうやって生じているのかについて記述している。しかし、彼らの理論はそれを経験的事実の記述として表現しており、なぜそのような事実が生じるのかといったことを説明していない。Shampanier and Ariely (2007) は無料の製品（ゼロコスト製品）が消費者に特別効果を与えていることを発見しているが、なぜゼロコスト製品が特別なのかについてのメカニズムは説明できていない。

リスク構造の理由に関する議論をした研究はあるのだろうか？経済学ではいくつかの論文がそれを試みている。Rabin (2000) は、数学モデルを用いて、もし人々の効用関数が凸な増加関数であれば、リスクアバースな態度が小さいような特性を持つことは、そのような態度が大きいための十分条件であることを明らかにしている。Diecidue and Ven (2008) は期待効用仮説を拡張して、もし何か彼らの要求水準を満足するものがあれば、消費者の効用が増加するような消費者行動の効果について解析している。しかし、こういった先行研究は経験的事実そのものを記述しようとしているに過ぎず、やはりメカニズムについては説明していない。すなわち、なぜこのような事実が生じるのだろうか。この疑問に我々は進化論的観点から答えようとする。そこで問われる問題は、どういったタイプのリスク行動が勝利するかというものである。よく言われていることだが、もし、自身の取る行動に関する合理性に関する人々の計算が不完全ならば、適応的な議論は重要であろう。すなわち、我々は、適応的なリスク行動を分析することによって、Frank (1988) のように、人々が行う非合理的行動が、実際のところ長期的には合理的になるということを理解できるだろう。

本論文は Roos and Nau (2009)を基本モデルとして拡張している。彼らはトーナメントゲームにおいて特定の戦略が有利であることを示している。しかし、その知見はより一般的なリスク行動に適用するには限定的すぎる。リスク行動の進化的な解析という目標にこたえるためには、彼らの研究をいくつかの点で拡張する必要がある。

1.2. 論文の構成

まず２節において、基本モデルを構築する。そのモデルは Roos and Nau (2009) の拡張として表現され、より一般的なリスク行動に適用される。さらに、この基本モデルの数理的な特性について解析し結果について解釈する。３節ではモデルを拡張する。それを解析することによって、より一般的なリスク行動の適応過程を詳細に議論することができる。最後に４節において、条件付きリスク行動のもう一つの拡張に関するアイディアを提供する。

2. 基本モデル

本研究はリスク行動の一例である条件付きリスク行動の進化論的観点からの適応過程について取り扱う。このアイディアを適切に拡張することで、我々のモデルはリスク行動の様々な場面に適応することができるようになる。そのため最初に、リスクゲームを順次的リスクゲームを数学的に定義し、それを用いて基本モデルを構築する。次に、そのゲームの適応過程についての数理的解析を行い、最後にその結果について解釈する。

2.1. 定義

まず、基本モデルを開発するために α-Game を定義する。α-Game とは 0.5 の確率で α 円を得るか、同じ確率で α 円を支払うかというくじである。定義から明らかなように、このゲームは期待値が０円で、α の大きさがリスクの大きさを表している（当然ながら、α は負ではない）。本稿では、単純化のため 0-Game と 1-Game のみを扱うことにする。（0-Game は確率 1 で０円を得るゲーム

である。）次に、くじに関する期待値ベクトルの記法として

$v = (x_1, p_1; \ldots; x_n, p_n)$

を定義する。ここで、それぞれ確率 p_i で x_i 円を得ることを意味する。さらに、収入は昇順に並べる、すなわち、 $x_1 < x_2 < \ldots < x_n$ であるものとする。この記法を用いるとα-Game の期待値ベクトルは $(-\alpha, 0.5;\ \alpha, 0.5)$ となる。

次に、このゲームを条件付きリスク行動の文脈に引き寄せるために n 次順次ゲームを定義する。ここで「順次」とは、プレイヤーが次のゲームの行動を決定するまでに、それまで行ったゲームの結果を知ることができるという意味である。このアイディアを使うことで、条件付きリスク行動をモデル化することができる。

$n = 2$ のとき､全てのゲームは表 1 に示すように６種類の戦略として表すことができる。

表 1 : n=2 における全戦略とその期待値ベクトル

No.	α of first game	α of sequential game	Expectation vector
I	0	0	(0, 1)
II	0	1	(-1,0.5; 1,0.5)
III	1	0	(-1,0.5; 1,0.5)
IV	1	1	(-2,0.25; 0,0.5; 2,0.25)
V	1	最初のゲームに勝利したら 0 そうでなければ 1	(-2,0.25; 0,0.25; 1,0.5)
VI	1	最初のゲームに勝利したら 1 そうでなければ 0	(-1,0.5; 0,0.25; 2,0.25)

本論文では、すべてのプレイヤーは自分の好きなようにゲームの戦略を選ぶことができる。それゆえ、プレイヤーの選択するリスク行動をプレイヤーの戦略と呼ぶことができる。

2.2. 適応過程

人々は特定の戦略をどのように選択するのであろうか。1 節で述べたように、戦略の適応過程を理解することは、我々が合理的なアプローチを採用できない時の最良の方法の一つである。さらに、適応過程ではしばしば進化論的な動学が用いられるが、これは競争を扱う際にも適切である。そのため、我々は本論文においてプレイヤーの戦略の学習過程について議論することにする。

進化論では、学習過程に関する数多くのモデルがある。ここでは遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）を採用する。なぜなら、目的関数である条件付きリスク行動の最適な戦略を計算によって見つけることは人間の限定合理性のために困難であるからである。その目的のため、進化論的な議論が必要だ。ＧＡは進化論的なメタファーを用いており(Goldberg and Holland, 1988)、こういった種類の進化論的観点にとっては適切な方法である。また、ＧＡには多くのバリエーションがあり、それらを使うことで多くの状況を解釈することができる(北野, 1993)。

ＧＡを用いる際は、選択圧力の決定が重要となる。北野(1993) によれば、その決定モデルとしては、ルーレット選択、期待値選択、ランク選択、エリート保存戦略(DeJong, 1975)、トーナメント戦略が主流となっている。ルーレット戦略は戦略圧力の決定モデルとしては最も基本的なものだが、個体の次世代に生き残る確率を適合度に比例するように設定する方法である。期待値選択は、比較的個体数が少ない時に用いられる方法であるため、本研究にはそぐわない。ランク戦略は本質的ルーレット戦略と同じ原理を採用しており、エリート保存戦略もルーレット戦略の拡張とみなすことができる。トーナメント戦略は集団の中で最良の個体のみが次世代に生き残り、他の個体はそのコピーとなる。

一方､別の進化過程を表現する方法として､ＲＤ（リプリケータダイナミクス）を用いた解析も、適応過程の標準的なアプローチとして存在している(Schuster and Sigmund, 1988)。ＲＤでは、次世代の個体数は集団（もしくは個人）の平均利得に依存して決定されるため、ＧＡにおけるルーレット戦略の一例とみなすことができる（定義を工夫すれば数学的に証明できる）。ところで、本稿で構築したリスクゲームにおいてはプレイヤーの期待利得は大数の法則を用いて、０円で常に等しい。すなわち、ルーレット選択は本研究においては意味を成さない選択圧力である。そこで、選択圧力はＧＡにおけるトーナメント選択に絞って議論することにしたい｡また本質的な挙動のみを考察するため、トーナメント　選択における集団の個体数を２に固定する。

最後にＧＡにおける突然変異について議論する。本稿において我々の対象は自然選択に特徴づけられる環境下にあると考えるのは自然なことである。つまり、潜在的には常に新たな戦略が発生し侵入しうるモデルを開発する必要がある。そのため、ＧＡにおける突然変異を導入したモデルを検討する。

2.3. 解析と解釈

進化過程を議論する前に、２．１節で定義した６つの戦略をトーナメントゲームに用いた結果について解析する。議論を容易にするために、戦略間の優劣を記述するための記号として、> と = の記法について定義する。X と Y を上記の６つの戦略のいずれかであるものとする。このとき X>Y であることの必要十分条件は、もし２人トーナメントゲームにおいて x が y に勝利する確率が 0.5 を超えることである。また、X=Y であることは、その確率が 0.5 に等しいことと同値である。ちなみにこの定義によれば、> は推移性を満足しない。

６つの戦略間における勝敗関係を全て計算すると以下の関係式を導出できる。

V > (I,IV) > VI 、それ以外の戦略の組(X,Y) については X = Y (1)

すなわち、条件付きリスク行動のトーナメントゲームにおいては特定の戦略が他の戦略よりも有利である場合が存在する。これにくらべ、ルーレットゲームでは全ての戦略が無差別となり優劣が生じないので、対照的である。この結果は、トーナメントゲームでは同じ期待値を持つにもかかわらず順次的なリスクの度合いを設定する自由度を持つような戦略の中で、特定の戦略が他よりも有利であるよう戦略の存在を暗示する。この点が進化論的な拡張をする際に重要となる点である。

我々はこの結果について含意を考察する。ルーレットゲームやＲＤといった選択圧力が含意している社会的文脈とは、期待値が存在確率に比例するような文脈であるが、本稿における全てのα-Game が同じ期待値を有しているために結果はトートロジーとなる知見を引き出すに過ぎない。むしろ、トーナメントゲームにおいてはいくつかの戦略間で無差別ではなくなるといったことの方が反直観的である。この原因は、プレイヤーの利得の違いがわずかであったとしても、勝者と敗者とを明確に分けるというような特定の競争ルールが存在することにある。

我々の社会においてそのようなルールは存在するのか。例えば、サッカーゲームは、僅差であってもダブルスコアの差が付いていても、結果は勝者と敗者を分けるゲームである。人間や商品、あらゆるものをランキングするシステムも対象物を並べていく。入学試験は不合格者から合格者を区分する。商品は購入されるか売れ残って在庫に回るかどちらかである。我々は、こういった競争をトーナメントゲームを意味する社会的文脈とみなし、条件付きリスク行動における戦略の違いが与える影響を考察する。さらにより重要なことは、人間に単純な合理性では、どの戦略が有利であるのかを計算するのが困難であるということである。しかし、トーナメントゲームは我々の社会に根深く存在し、人類の歴史の多くの記録を残してきた。例えば、人類はトーナメントゲームをすることで自身のパートナーを勝ち得てきたのである。それゆえ、我々は人間は彼らがトーナメントゲームを行う時に、どのような戦略が有利であるかについて適応的に選好を持っているのではないかと予想する。

3. 順次モデルのシミュレーション

条件付きリスク行動ゲームにおける適応的な戦略の有利性について詳細にカバーするために、我々は順次性を増やしてみる。２節で議論したような２次順次のケースをｎ次に拡張するとどうなるか。そのために、まずは基本モデルをＧＡ風に記述する。プレイヤーの戦略を個体の遺伝子として定義する。理論的には遺伝子長(G)は #G = 2^n-1 となりそれぞれの遺伝子は次のような意味を持つものとする。

Gene = (1, 2(w), 2(l), 3(ww), 3(wl), 3(lw), 3(ll), ...) .

例えば、[3(wl)] という表記は、最初のゲームに「勝利(w)」して、２番目のゲームに「敗北(l)」したときの、３番目のゲームにおける戦略を表す。２節で述べたように､戦略はここでは 0-Game と 1-Game の２つしかないので、αの値が遺伝子の値に一致する。全ての戦略の数は、遺伝子で作られる表現型(T)の数となり、本稿では #T = 2^(2^n-1) となる。すなわち、 n=2 （２次順次ゲーム）では (#G,#T) = (3,8) であり、n=3 では (#G,#T) = (7,128)、n=4 では (#G,#T) = (15,32768) となる。厳密には 0-Game は勝敗がないのでこのゲームの結果は常に勝つものとすると、遺伝子 (000) と (001) は同じ戦略になる（正確には (001) は意味を持たない）ので、その分表現型は少なくなる。

本節では、まずシミュレーション結果について観察し、次に突然変異の効果について検証する。最後にこの拡張モデルから得られる知見について議論する。

3.1. 観察結果

本節で定義した拡張モデルをシミュレーションで解析する。全て観察データは異なる乱数種による１００００回の平均値を用いるものとする。最初に、シミュ

レーションで用いる変数を以下にセットする。集団数 = 2000、世代数 = 1000、突然変異確率（3．2節で使用） = 0.01。

まず、戦略の存在比の時系列結果を観察する。最初に基本モデルである２次順次ゲームの解析結果を図１に示す。図１は2．１節で示した６つの戦略の存在比の世代における推移である。関係式（1）で解析したように戦略Ｖが最も有利な戦略であり、戦略VIが最も不利である。また戦略ⅡとⅢは他の全ての戦略と無差別なため最後まで生き残ることが分かる。

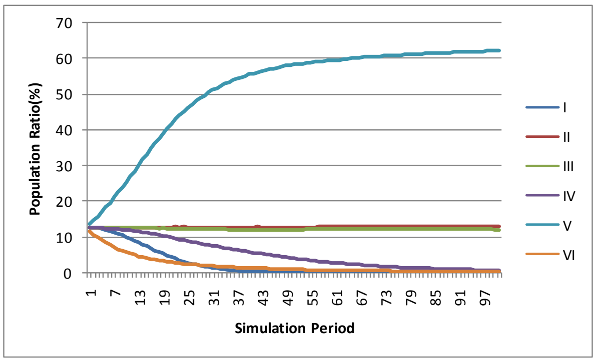

図 1：２次順次ゲームにおける各戦略の存在比の推移

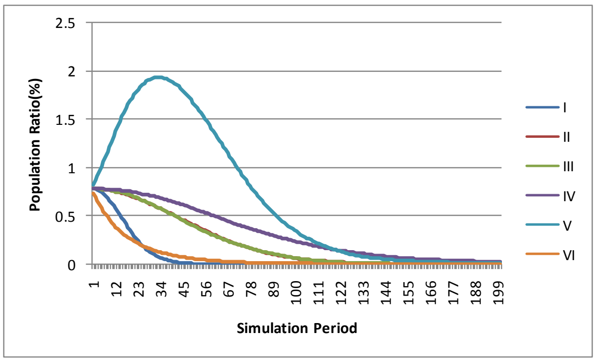

図 2：３次順次ゲームにおける戦略の存在比の推移（1）

次に、順次性を３にしたときの戦略の変化と比較する。図２は、2．１節で定義した６つの戦略を３次順次になった時に拡張した戦略の変化である。ちなみに６つの戦略を遺伝子で表現すると、それぞれ、I (常に安全戦略 (0000000))、 IV (常に危険戦略 (1111111)), II (0001000)、III (0100000)、V (0100100) 、VI (0101000) である。３次順次ゲームになると戦略の種類は全部で１２８種類になるので、戦略Ｖが最適戦略とならず、世代を経るとやがて消滅している。ではこのゲームにおける勝者はだれか。それを解析するために表２で定義する戦略の挙動を図３に示す。

表 2：３次順次ゲームにおける代表的戦略

名前	遺伝子型	期待値ベクトル
戦略 A1	(1010001)	(-3,0.125; -1,0.125; 0,0.25; 1,0.5)
戦略 B1	(1010011)	(-3,0.125; -1,0.25; 1,0.625)
戦略 C1	(1011001)	(-3,0.125; -1,0.125; 0,0.5; 2,0.25)
戦略 D1	(1011011)	(-3,0.125; -1,0.25; 0,0.25; 1,0.125; 2,0.25)
戦略 C2	(1110001)	(-3,0.125; -1,0.125; 0,0.5; 2,0.25)
戦略 D2	(1110011)	(-3,0.125; -1,0.25; 0,0.25; 1,0.125; 2,0.25)
戦略 D3	(1110101)	(-3,0.125; -1,0.25; 0,0.25; 1,0.125; 2,0.25)
戦略 E1	(1110110)	(-2,0.25; -1,0.25; 1,0.25; 2,0.25)
戦略 B2	(1110111)	(-3,0.125; -1,0.25; 1,0.625)

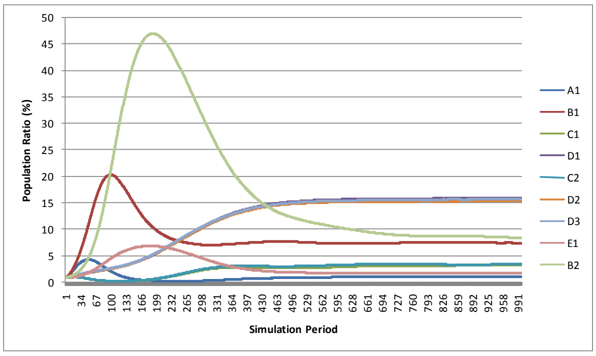

図 3：３次順次ゲームにおける戦略の存在比の推移（2）

図３によれば、B2 と B1 という２つの戦略が、比較的初期の世代 (100 < t < 200)において、有利であることが分かる。特に戦略 B2 は一時集団の半数を占めるまで成長する。しかし、これらの戦略はやがて力を失いセカンドベストの地位に甘んじてしまう。それに代わって終盤の世代になると、戦略 D1,D2,D3 がトップのシェアを獲得する。

3.2. 突然変異

2．2節で議論したように、突然変異が存在する環境も検証する必要がある。本稿では単純化のため、突然変異は遺伝子レベルではなく個体レベルで生じるものとする。図４は図３のシミュレーションに突然変異を導入したバージョンである。突然変異なし（図３）と比較すると、初期の世代において有利となった戦略は、終盤の世代までそのアドバンテージを維持し続けていることが分かる。それと比べ図３ではやがてトップシェアを獲得する戦略は、図４では日の目を見ない。

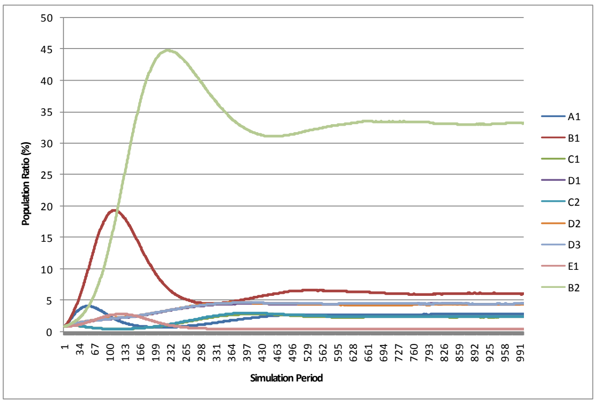

図 4 : 突然変異が導入された３次順次ゲームにおける戦略の存在比の推移

3.3. 議論

ここで拡張モデルのシミュレーションについて議論する。まず、トーナメントゲームにおいては、相対的に高いリスクを有する戦略が最も適していることを明らかにした。しかし、最も高い程度のリスクを持つ戦略 (1111111) は初期の世代において消滅してしまっているので、ベストのリスク度合いは中間的な位置にあることが分かる。さらに、突然変異が生じる環境においては最適な戦略は、さらにリスキーであることも明らかとなった。これらは重要な知見を引き出しうるものでとても興味深く、詳細な検討を試みたい。

次に、上記の創発現象の発生メカニズムについて議論する。突然変異が生じない環境においては、戦略 B1 が初期の世代において急激に拡大していく。なぜなら、その期待値がゼロを超える確率が 0.625 と高く、そのため全集団の半分を超える戦略に勝利することができるからである。その結果、戦略 B1 が t=100 において２０%のシェアを有するまでに成長する。そして、多くの戦略が絶滅する。そのあと何が生じるか。２．３節で定義した記法に基づくと、以下のような関係式が分かる。

Dx > B2 > B1 かつ B1 = Dx (x=1,2,3). (2)

戦略 B2 はほとんど多くの戦略と無差別か有利であり、なおかつ戦略 B1 に勝利するという稀有な特徴を持っている。つまり、これは進化的に安定な戦略(ESS (Maynard Smith and Price, 1973))の同様の特性を持っている。そのため、B2 は t=200 において集団の４７%ものシェアを占めることができる。

戦略 B2 がトップを取った後、モデルは面白いドラマを迎える。関係式（2）で示したように、戦略 Dx は突然変異がない環境では B2 を殺すことができる。ちょうど、恐竜の時代が終わり、それほど強力ではない哺乳類が栄えたように。この現象はしかし、突然変異が存在する環境では生じない。なぜならそのような社会では、常に様々なエイリアンが侵入するため、それらに Dx は勝利できないからである。

ところで、最初にリスクを取って勝利した場合はそのあとは保守的になるような戦略は、なぜシェアを獲得することができないのか？そういった戦略の一つは戦略 A1 であるが、この戦略の推移はこの問題の答えのヒントになるだろう。図３より明白なことに、確かにこの戦略は初期の世代の時には一時的にシェアを拡大することができている。しかし、関係式（3）によれば、A1 は初期に支配的な B1 や B2 には勝利することができない。ただし Dx には勝利できるので決して絶滅はしない。

(B1,B2) > A1 > Dx (3)

そのようなリスク行動に関する敏感な知見は行動経済学だけではなく、進化論や社会心理学、消費者行動理論などにも有益な議論を提供することができるだろう。たとえば、プロスペクト理論では、人間は高い利益を得た時にはリスクを取らなくなり、その逆も生じると主張している。我々の研究では彼らの議論では不可能なメカニズムを明らかにすることができる。

4. 拡張へのアイディア

本研究で構築したモデルには拡張の余地がある。ここではそのいくつかのアイディアについて指摘する。

まず、本研究では 0-Game と 1-Game のみを取り上げたが、これを多様な α-Game に拡張することが考えられる。例えば、４種類のゲーム、すなわち、$\alpha = 0, 1/3, 2/3, 1$ のゲームでは、プレイヤーの戦略を表現する遺伝子は以下のように定式化できる。

Gene = (1(２ビット),2(w)(２ビット),2(l)(２ビット), ...)

２次順次の場合は、遺伝子長は６ビット、表現型は６４種類ある。予備実験を行った結果、戦略(1,1/3,1)、(1,0,1)、(2/3,2/3,1) が最終的に支配的になることが分かった。さらに、８種類のゲームに関する予備実験結果によれば、支配戦略は (1,3/7,1) となっている。

他の拡張としては、リスクの度合いは連続化する方法が考えられる。気付いたかもしれないが、３節で出てきた戦略 Dx (D1,D2,D3) は全て同じ期待値ベクトルを持っていた。これはつまり、最適戦略を探すということは、もっとも適切な期待値ベクトルを見つけるという研究に置き換えることができるかもしれないことを意味する。その場合は、期待値がゼロである任意の期待値ベクトルを確率密度関数として表現するようなワンショットのリスクゲームを解析して進化的に安定

な戦略を見つけだすことに帰着できる。しかし、そこで見つけ出した期待値ベクトルが、特定の条件付きリスク行動から導出できるかどうかは別問題である。その場合は、一種の逆問題を解く必要があるだろう。

このような拡張を注意深く行うことで、最適な条件付きリスク行動に関するより意義深い議論をすることができるだろう。こういった研究は、恐らく人間はなぜリスキーなのかといった本質的な問いに迫る可能性を持っているといえる。

謝　辞

本研究の一部は以下の助成を受けて行われており、著者は謝意を表する：科研費（基盤（B）22330111）、科研費（基盤（C）20500222）、科研費（基盤（C）22500235）、科研費（基盤(C)22510160）。

文　献

(1) DeJong, K., An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems. Ph. D. Thesis, University of Michigan, 1975.
(2) Diecidue, E., and J.V.D. Ven, Aspiration level, probability of success and failure, and expected utility. International Economic Review, 49(2), 683-700,2008.
(3) Frank, R.H., Passions within Reason. New York: Norton,1988.
(4) Goldberg, D.E., with J.H. Holland, Machine Learning 3. Kluwer Academic Publishers, 95-99, 1988.
(5) Kahneman, D., with A. Tversky, Prospect theory: An analysis of decisions under risk. Econometrica, 47, 313-327,1979.
(6) 北野宏明, 遺伝的アルゴリズム、産業図書,1993.
(7) Maynard Smith, J. with G.R. Price, The logic of animal confict. Nature 246, 15-18,1973.
(8) Okada, I., Consumption Distribution of Information Goods by Channel Effects: A Simulation and Empirical Study. Proceeding of 2006 International Symposium on Knowledge-based Economy & Global Management, Taiwan, 150-160, 2006.
(9) Payne, J.W., It is whether you win or lose: The importance of the overall probabilities of winning or losing in risky choice. Journal of Risk and Uncertainty, 30, 5-19,2005.
(10) Rabin, M., Risk aversion and Expected-Utility theory: A calibration theorem. Econometrica, 68(5), 1281-1292,2000.
(11) Roos, P., with D. Nau, Conditionally Risky Behavior vs Expected Value Maximization in Evolutionary Games. In Sixth Conference of the European Social Simulation Association (ESSA 2009), 2009.
(12) Schuster, P., with K. Sigmund, Replicator dynamics. J. of Theoretical Biology, 100(3), 533-538,1983.
(13) Shampanier, K., with N. Mazar, D. Ariely, Zero as a Special Price: The True Value of Free Products. Marketing Science, 26(6), 742-757,2007.