

繰り返しゲームと人間の行動

熊谷由希

要旨

非協力ゲーム理論に分類される繰り返しゲーム理論は、自分の損得しか考えない利己的な個人がどのように他者と協調し、互いにとって望ましい関係を長期に渡って築くのかを説明する。本稿では、繰り返しゲーム理論が、人間の社会活動において広く観察される互恵的な関係をどのように分析してきたのか、そしてその分析の限界を明らかにする。さらに先行研究において、長期的関係における人間の行動がどのように研究されてきたかを調べ、人間の行動に関する理論分析について考察する。

キーワード：繰り返しゲーム (Repeated games)、フォーク定理 (Folk Theorem)、複数均衡 (Multiple equilibria)、長期的関係 (Long-run relationships)、人間の行動 (Human behaviour)

I 序

我々は日々様々な意思決定を行い、行動を選択している。その際、時々状況に応じて、自らの利害を考慮に入れて、多数ある選択肢の中から最善と思えるものを選んでることが多いだろう。経済学は、このような人間の行動や意思決定を科学的に分析してきたが、特にゲーム理論は経済主体間の戦略的意思決定をその研究対象としてきた。その中でも、非協力ゲーム理論に分類される繰り返しゲーム理論は、自分の損得しか考えない利己的な個人がどのように他者と協調し、互いにとって望ましい関係を長期に渡って築くのかを説明する。利己的な人間から成る社会において、どうして人々が互いに

協調行動を取り続けるのかを説明する理論として、繰り返しゲーム理論が存在する。

繰り返しゲーム理論のフレームワークで、簡単な例を用いて、長期的な関係においてなぜ協調行動がとられるのかを見ていこう。表1が表す囚人のジレンマゲームが、2人のプレーヤーの間で一度限りプレイされたとする。

表1 囚人のジレンマゲーム

	C	D
C	2, 2	-1, 3
D	3, -1	0, 0

囚人のジレンマゲームでは、プレーヤーは利他的行動（協調行動）Cと利己的行動（裏切り行動）Dかを選択することが出来る。両者が協調すれば、各プレーヤーは2という利得を得るが、自分が協調しているのに相手に裏切られてしまったら、相手は3という高い利得を得る一方で、自分は1という損失を被る。従って、プレーヤーは裏切られることによる損失を回避しようとして、利己的行動Dを選択する。その結果、両者が利己的行動を取り、非効率的な利得(0, 0)が実現する。プレーヤー達は、自分の損得にこだわるが為に、利得(2, 2)をもたらす効率的な結果ではなく、利得(0, 0)という非効率的な結果に甘んじなければならないというジレンマに直面する。

ところが、もしこのゲームが繰り返して何度もプレイされ、プレーヤーたちが将来を重視するならば、協調的な行動が取られるようになる。この理由は、相手を裏切って利己的な行動Dを取れば、一時的には高い利得3を得るが、その後裏切った相手によって報復を受け、長期的に考えると結局は自分の損になるからである。裏切った場合の生涯の利得は、裏切らなかつた場合のものより低くなるから、合理的に考えた結果、相手を裏切らない選択をするのである。つまり、プレーヤーが同じ相手と繰り返し関係を続けるような長期的関係では、相互協調が均衡となる。

ここで注意しなければならない点としては、繰り返しゲーム理論によると、

相互協調が均衡となるとき、それ以外の行動の組み合わせも均衡となりえることである。例えば、相互協調 (C, C) が均衡となるとき、相互裏切り (D, D) も均衡となり、複数均衡の可能性が出てくる。これを示したのが、繰り返りゲーム理論において有名なフォーク定理である。フォーク定理によると、理想的な結果である相互協調と、最悪な結果である相互裏切りの間どの結果も均衡で起こりうるのである。

本稿では、繰り返りゲーム理論が、人間の社会活動において広く観察される長期的関係をどのように分析してきたのかを調べた後、その分析の限界を明らかにする。無限回繰り返りゲーム理論のモデル、戦略、均衡について説明した後、フォーク定理について見ていく。先行研究において、長期的関係における人間の行動がどのように研究されてきたかを調べ、人間の行動に関する理論分析の展望について考察する。

II 繰り返りゲーム理論

このセクションでは、繰り返りゲーム理論について考察する。はじめに、無限回繰り返りゲーム論のモデルを紹介する。その後、ゲームにおける戦略と均衡について説明し、繰り返りゲーム理論の有名な定理であるフォーク定理を考察する。

2.1 モデル

繰り返りゲームとは、同じプレイヤーが同じステージゲームを、無期間繰り返すゲームであり、以下のように定式化される¹⁾。

- プレイヤー： $i=1, 2, \dots, N$
- 時間： $t=1, 2, 3, \dots$

1) 繰り返りゲームには、ステージゲームを繰り返す回数が有限である有限回繰り返りゲームと、繰り返す回数が無限の無限回繰り返りゲームがある。本稿では、長期的関係の考察という観点から、無限回繰り返りゲームのみを取り上げる。

- 各時点 t で、以下のような同一のステージゲームがプレイされる
 - a_i : プレーヤー i の行動 (ステージゲームの純粹戦略)
 - A_i : プレーヤー i の行動全体の集合
 - $a = (a_1, \dots, a_N)$: 行動の組み合わせ
 - $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_N$: 行動の組み合わせの集合
 - $g_i(a)$: ステージゲームの利得

各プレーヤーの繰り返しゲームの利得 (生涯利得) は

$$V_i = \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t g_i(a(t)),$$

で表され、これを割引総利得と呼ぶ。ただし $a(t)$ は、第 t 期の行動の組み合わせであり、 $\delta \in [0, 1]$ は割引因子である。割引因子とは、プレーヤーが将来をどのくらい重視しているのかを示すパラメーターである。割引因子が 1 に近づけば近づくほど将来を重視する性向を持ち、反対に 0 に近づけば将来のことは気にしない近視眼的な性向を持つ。

割引総利得に $(1-\delta)$ を掛けると

$$v_i = (1-\delta) V_i = (1-\delta) \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t g_i(a(t)),$$

となり、これを平均利得とよぶ。

2.2 戦略と均衡

プレーヤーの行動は、過去に相手プレーヤーとの間に何が起こったかに依存して決まるので、過去に起こった出来事の集大成である「歴史」という概念を定義する。第 t 期までの歴史を、第 t 期の行動の組 $a(t)$ をもとにして、以下のように定義する。

$$h^t = (a(0), \dots, a(t-1)) \in A^t$$

ここでは完全観測、つまり相手が過去に取った行動を完全に観察することが出来ることを前提とする。プレーヤーたちが各期 $t=1, 2, \dots$ において観察する歴史全体の集合は、

$$\bigcup_{t \geq 1} A^t = A^1 \cup A^2 \cup A^3 \dots$$

となる。歴史の集合 H を

$$H = \{h^0\} \cup \left(\bigcup_{t \geq 1} A^t \right)$$

と表記する。ただし、 h^0 は第 0 期の歴史を表す。

プレイヤー i の繰り返しゲームにおける戦略を、歴史の集合からステージゲームの行動集合への関数 $s_i: H \rightarrow A_i$ と定義する。つまり、 t 期のプレイヤー i の行動は、それまでの歴史 h^t に従って決まるので、 $a_i(t) = s_i(h^t)$ となる。プレイヤー i の戦略全体の集合を S_i で表し、繰り返しゲームの戦略の組を $s = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ と書くことにする。戦略の組 s が決まると、繰り返しゲームの割引総利得 $V_i(s)$ が決まる。

繰り返しゲームのナッシュ均衡とは、

$$\forall i \forall s_i \quad V_i(s^*) \geq V(s_{-i}^*, s_i)$$

の条件を満たす戦略の組 s^* と定義する。添え字 $-i$ は、プレイヤー i 以外のプレイヤーを表す。つまりナッシュ均衡とは、他プレイヤーが均衡戦略 s^* を取っている時、自分だけが均衡戦略 s^* から逸脱して戦略を変えても得をしない状態を表す。

ナッシュ均衡より強い均衡概念である部分ゲーム完全均衡を定義する。部分ゲーム完全均衡とは、

$$\forall s_i \quad \forall t \quad \forall h^t \quad V_i(s^* | h^t) \geq V(s_{-i}^*, s_i | h^t)$$

の条件を満たす戦略の組 s^* である。ただし、 $V_i(s | h^t)$ は継続利得と呼ばれ、 t 期以降のプレイヤー i の利得を表す。部分ゲーム完全均衡においては、いかなる歴史 h^t の後でも、全てのプレイヤーにとって、 s^* に従って行動するのが最適となる。つまり、仮にあるプレイヤーが、ある期 t に均衡戦略から逸脱しても、その後のプレイは均衡戦略に従ったものになる。

部分ゲーム完全均衡は、「一回逸脱の原理」によって見つけることが出来

る。つまり、相手プレイヤーが均衡戦略 s^*_i を取っているとして、一期だけ自分が均衡戦略 s^* から逸脱しても得をしない、ということが全てのプレイヤーについて保証されると、戦略の組 s^* は部分ゲーム完全均衡となる。

2.3 フォーク定理

フォーク定理とは、繰り返しゲームで様々な均衡によって達成できる利得の範囲を示したものである。長期的関係で達成できる利得の範囲を理解することによって、長期的関係でどのような行動がとられるのか、又は取られないのかがわかるようになる。

ゲームの純粋戦略がもたらす利得の組み合わせ全体の集合を

$$g(A) = \{g(a) \mid a \in A\}$$

と記す。前出の囚人のジレンマゲームの例では、

$$g(a) = \{(2, 2), (-1, 3), (3, -1), (0, 0)\}$$

からなる集合である。 $g(A)$ 内の点の加重平均全体の集合を

$$V = \text{cog}(A)$$

と書く。これは $g(A)$ を含む最小の凸集合であり、繰り返しゲームにおいて物理的に到達可能な平均利得全体の集合である。

純粋戦略に限って話を進めてきたが、以下ではプレイヤーが混合戦略を取ることも考慮する。ステージゲームにおけるプレイヤー i の混合戦略 α_i とは、ステージゲームの行動の上の確率分布である。混合行動の組み合わせ $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ が与えられると、プレイヤー i のステージゲームにおける期待利得 $g_i(\alpha)$ が導出できる。第 t 期に、相手プレイヤーが戦略 $\alpha_{-i}(t)$ を取っている下で、プレイヤー i が将来のことは考えずその期の利得だけを最大化すると、

$$\max_{\alpha_i} g_i(\alpha_i, \alpha_{-i}(t))$$

だけの利得をその期に得ることが出来る。ただし、 $\alpha_{-i}(t)$ は第 t 期に相手が取るとる行動である。相手の行動 $\alpha_{-i}(t)$ がプレイヤー i にとって最悪なもの

である場合は、プレーヤー i の利得は

$$\underline{v}_i = \min_{\alpha_{-i}} \max_{\alpha_i} g_i(\alpha_i, \alpha_{-i})$$

となる。これはミニマックス値と呼ばれ、どんな均衡においても、プレーヤーにとって最低限獲得することのできる利得水準となる。

前出の囚人のジレンマゲームの例では、ミニマックス値は、

$$\underline{v}_i = g_i(D, D) = 0$$

である。各プレーヤーのミニマックス値からなるベクトル $\underline{v} = (\underline{v}_1, \dots, \underline{v}_N)$ をミニマックス点と呼ぶ。以下の式で集合 V^* を定義する。

$$V^* = \{v \in \text{cog}(A) \mid v > \underline{v}\}$$

集合 V^* を、個人合理性を満たす達成可能な利得の集合と呼ぶ。

完全フォーク定理

プレーヤー達の利害が完全に一致しておらず、ステージゲームの純粹戦略の数が有限個である完全観測下の繰り返りゲームにおいて、割引因子 δ が十分大きければ、いかなる利得ベクトル $v \in V^*$ も部分ゲーム完全均衡として達成できる。

上記のフォーク定理は均衡概念を部分ゲーム完全均衡としているので、ナッシュ均衡を均衡概念とした場合のフォーク定理と区別するため、完全フォーク定理と呼ばれる（以下略してフォーク定理と呼ぶ）。利害が完全に一致するものがないとする条件は、NEU 条件 (Non-equivalent utility condition) と呼ばれている。これは弱い条件であり、ほとんどのゲームで満たされている。また、ここでは完全観測を仮定してフォーク定理を見てきたが、フォーク定理は相手の行動が完全に観察できる「完全観測」の場合と、相手の行動

が不完全にしか観察できない「公的不完全観測」の場合で証明されている²⁾。

(完全) フォーク定理によって、繰り返しゲームにおいて部分ゲーム完全均衡によって達成できる利得の範囲がわかる。フォーク定理によると、プレイヤーの割引因子が十分大きい時、繰り返しゲームには無数の均衡がある。言い換えるならば、プレイヤーたちが長期的視野を持ち将来を重視するならば、個人合理性を満たす達成可能な利得のどれもが均衡として実現し得るのである。つまり、長期的関係においてどのような戦略も均衡で取られることになるのだ。

フォーク定理は複数ある均衡のうち、どの均衡が実際起こるかには言及しない。多様な均衡が起こり得ると分析するが、これは裏を返せば、長期的関係において実際にどの均衡が起こるかについては明言しないのである。プレイヤーたちが将来を重視するからと言って、全てのプレイヤーが協調行動を取り、効率的な均衡が起こるわけではないのだ。前出の囚人のジレンマゲームでいうと、割引因子が大きい時、効率的な利得 $(2, 2)$ をもたらす均衡 (C, C) と、非効率的な利得 $(0, 0)$ をもたらす均衡 (D, D) のどちらも起こり得ることになる。

III 長期的関係における人間の行動

長期的関係において、なぜ一定の行動が取られるようになるのか。繰り返しゲーム論は、均衡状態そのものを研究対象とする一方で、均衡に至る調整過程についてはあまり重視してこなかったと言える。これに対し、進化ゲーム論は繰り返しゲーム的状况を分析するが、繰り返しゲーム論とは異なり、均衡に至る調整過程を特に重視する。その理由として、神取 (2015) は以下

2) フォーク定理の証明については、Fudenberg and Maskin (1986), Abreu, Dutta and Smith (1994), Fudenberg, Levine and Maskin (1994) を参照。Fudenberg and Maskin (1986) は full-dimensionality という強い条件を用い、Aumann and Shapley (1994), Rubinstein (1979), Abreu, Dutta and Smith (1994) は、NEU 条件を用いて証明をした。公的不完全観測下のフォーク定理は、Fudenberg, Levine and Maskin (1994) によって証明されている。

の点を指摘した。

- 繰り返シゲーム論の分析に対する疑問。繰り返シゲーム論において、均衡ではプレイヤーは相手の取る戦略を完全に知っており、この知識をもとに最適な戦略を選択する。この前提は非現実的であるといえる。
- 人間の行動が定常な状態である均衡に行き着くまでには、時間がかかる。この調整過程を分析するべきである。
- 繰り返シゲーム論には均衡が無数にあるので、均衡に至るプロセスを分析することによって、どの均衡が実現するか分かる。

繰り返シゲーム論は、均衡に至る過程より、均衡そのものに注目して人間社会を分析しようとする。その分析的限界にも関わらず、均衡を使って人間の行動を分析することの有用性も大きいと、神取（2015）は指摘する。その理由の一つとして、人間は常に必ず均衡に従って行動するとは限らないが、社会で広く繰り返シ観察される行動パターンは均衡になっている可能性が高い点が挙げられる。長期的関係では、プレイヤー達の行動が変化し続ける場合か、あるいは、ある一定の行動（例えば協調行動）が維持されている場合が考えられる。協調行動が維持されているとは、相互協調が均衡になっていると言い換えることが出来る。このように考えると、均衡そのものに注目して人間社会を分析しようとする繰り返シゲーム論のアプローチには高い有用性がある（神取 2015）。

進化ゲーム論では、Smith (1982) の提唱した進化的安定戦略 (evolutionary stable strategies, ESS) という概念を用いて、均衡の変遷と実現を分析する³⁾。例えば、Nowak and May (1992) は、繰り返シゲームを用いず、一回限りの

3) 例えば、Boyd and Lorberbaum (1987), Kim(1994), Bendor and Swistak (1997)。

囚人のジレンマゲームにおいて協調均衡が進化し実現することを示した。ただしこのモデルでは、プレイヤーの移動が完全に制限されており、限定的な状況下での分析結果となっている。また、一回限りのゲームということより、長期的関係における人間の行動に関する洞察を得ることはできない。

Fudenberg and Maskin (1990) は、繰り返しゲームに進化的安定戦略という概念を導入して、協調行動が進化し相互協調が均衡として実現することを示した。フォーク定理が示すように、プレイヤーが将来を重視するとき、理論上は様々な均衡が起りえる。ところが、実際これらすべての均衡の中でも、最も起り得そうなものとそうでないものが存在し、最も起り得そうな均衡とは、実現する利得が最も効率的なものだろう。そうであるならば、そのような均衡がどのようにして起こるのだろうか。Fudenberg and Maskin (1990) は、このような問題提起の後、繰り返しゲームにおける進化的に安定した戦略の起こる原因を探り、長期的に効率的な均衡がどのように実現するかを理論的に分析したのである。

彼らのモデル分析では、システムから戦略がランダムにマッチされ、無期限繰り返しゲームが行われる。もし、ある戦略がシステムの中で上手く作用すると、つまりその戦略がもたらす平均利得が他のものと比べて高いならば、その戦略を取ろうとするプレイヤーの数がそのシステム内部で増加する。一方で、平均利得が低い戦略を取るプレイヤーの数は減少する。戦略が進化的安定になるのは、いかなる変異体によってもその戦略が侵されないときである。進化的安定戦略とは、それ自身に対して最適戦略になっている。戦略 s が進化的安定とは、戦略 s が変異体 s' に比べて高い比率で存在するグループ内で、 s から得る利得を上回るような s' が存在しない時である。もしプレイヤーたちが小さな確率で「間違い」を犯し、実際取った行動が意図したものとは違うとき、社会や経済システムにおいて唯一の戦略が進化的安定になり、効率的な均衡が実現すると示された。

Fudenberg and Maskin (1990) が協調という行動が進化的に選択されると示した一方で、Park and Sabourian (2011) は金融市場における投資家の群衆

行動に注目し、プレーヤーによる学習行動が金融市場において特定の行動を引き起こす役割があると示した。投資家達の群衆行動は、金融市場のダイナミズムを理解する手がかりとして長く経済学者たちの間で研究されてきた。群衆行動とは、経済主体が適切な判断をするより、他の競合相手に後れを取らないように他者が取っている行動を模倣する結果生じる集合的な行動を指す。

2008年の世界金融危機は、米国における2007年のサブプライムローン問題や2008年のリーマンショックが引き金となったが、これら問題の一因として群衆行動が挙げられる。金融機関、投資家、証券業者などの経済主体による群衆行動が、金融市場での金融商品の価格の乱高下を招き、結果的に世界金融危機を引き起こしたと指摘されている。金融市場において金融商品の価格がその価値を決定づける情報を反映しているならば、株式取引は常に公正な価格で取り引きされ、投資家が株式を安く買うことも高く売ることもできない。

この効率的市場仮説と、群衆行動による金融商品の価格の乱高下は相容れないものであり、群衆行動とは人間の動物的本能に基づくものとししばしば説明される。ところが、Park and Sabourian (2011) は、合理的な投資家による社会的学習が群衆行動を引き起こすと分析した。他者の行動を観察することによってプレーヤーが信念と行動を変えていく合理的社会学習 (rational social learning) が可能ならば、投資家たちの群衆行動は効率的市場でも起こり得ることが示された。

実際に人が繰り返してステージゲームを経験するにつれ、協調行動が発展するのか、フォーク定理の示す複数均衡は実証的にも成立するのか。多くの実証研究が、長期的関係における相互協調の可能性や均衡の実現について検証している。Bo and Frechette (2011) は、協調行動が経験を通じて選ばれるのかというテーマを実証的に調べた。協調行動が均衡戦略でない場合の実験では、被験者が経験を重ねるにつれて協調行動が減少し、先行研究である Meyer and Roth (2006) における一回限りの囚人のジレンマゲームの実証結

果と同じになった。一方で、協調行動が均衡戦略である場合の実験でも、経験を重ねるにつれて必ずしも協調の度合いが増すわけではなく、長い経験の後でも低い協調の度合いにとどまることもあり得ることが判明した。実験の結果、実際に相互協調が起こるには、協調行動が均衡戦略であることが必要条件だが、十分条件ではないと判明したのである。

さらに、この実験では協調行動が均衡戦略でありまたリスク支配的 (risk-dominant) な戦略である時、経験を積むにつれて協調行動が選ばれていくかを調べた。リスク支配性はコーディネーションゲームにおいて、均衡選択の尺度となる。一回限りのコーディネーションゲームの実験結果では、利得支配的かつリスク支配的な行動が選ばれる傾向にあると示されることが多いが、彼らの研究では、繰り返しゲームにおいてこれらの条件が協調が高頻度で起きるための十分条件ではないことが示された。

IV まとめ

繰り返しゲーム論は、利己的な人間がどうして他者と相互協調するのかを示し、現実の人間社会で広く観察できる協調的行動に対して理論な説明を与えた。ところがその分析には決定的な弱点も内在する。ゲーム理論の一分野である繰り返しゲーム論は、均衡に至る過程より、均衡そのものを分析するという、ゲーム理論自身が持つ弱点を持つ。ところが、人間の行動や長期的関係を考える時、均衡に焦点を絞るという分析方法には、有用性が大きいことが多い。しかし、実際にどの均衡が実現するのか、つまり実際にどのような行動が人々によって取られるのか、という話になると繰り返しゲーム論は説明力を失ってしまう。

フォーク定理が示すように、プレイヤーが将来を重視するとき、個人合理性を満たす達成可能な利得のどれもが均衡として成立し、無数の均衡が存在する。相互協調が均衡となる時、同時にその他の協調的ではない行動の組合せすべてが均衡となってしまうのである。長期的関係において、なぜある特定の行動が取られるようになるのか。このテーマについては多くの研究がな

され、進化ゲーム論的アプローチに加え、行動経済学的分析や実証研究も多い。実証研究には、従来の理論的アプローチでは見落としているような示唆が含まれている可能性もある。長期的関係における人間の行動を分析する研究が、今後も続いていくことが予想される。

(筆者は関西学院大学商学部助教)

参考文献

- [1] Abreu, D., Dutta, P. K. and Smith, L. (1994), “The Folk Theorem for Repeated Games: a NEU condition”, *Econometrica*, 62, pp. 939-948.
- [2] Aumann, R and Shapley, L. (1994), “Long-term Competition: a gametheoretical analysis”, in Megiddo, N. ed., *Essays in Game Theory*, New York: Springer-Verlag.
- [3] Bendor, J. and Swistak, P. (1997), “The Evolutionary Stability of Cooperation”, *American Political Science Review*, 91, pp. 290-307.
- [4] Bo, P. D. and Frechette, G. R. (2011), “The Evolution of Cooperation in Infinitely Repeated Games: experimental evidence”, *American Economic Review*, 101, pp. 411-429.
- [5] Boyd, R. and Lorberbaum, J. P. (1987), “No Pure Strategy is Evolutionarily Stable in the Repeated Prisoner’s Dilemma Game”, *Nature*, 327, pp. 58-59.
- [6] Fudenberg, D., Levine, D. and Maskin, E. (1994), “The Folk Theorem with Imperfect Public Monitoring”, *Econometrica*, 62, pp. 997-1039.
- [7] Fudenberg, D. and Maskin, E. (1986), “The Folk Theorem in Repeated Games with Discounting or with Incomplete Information”, *Econometrica*, 54, pp. 533-554.
- [8] Fudenberg, D. and Maskin, E. (1990), “Evolution and Cooperation in Noisy Repeated Games”, *American Economic Review*, 80, pp. 274-279.
- [9] Kim, Y. (1994), “Evolutionary Stable Strategies in the Repeated Prisoner’s Dilemma”, *Mathematical Social Science*, 28, pp. 167-197.
- [10] Meyer, Y. B. and Roth, A. E. (2006), “The Speed of Learning in Noisy Games: Partial Reinforcement and the Sustainability of Cooperation”, *American Economic Review*, 96, pp. 1029-1042.
- [11] Nowak, M. A. and May, R. M. (1992), “Evolutionary Games and Spatial Chaos”, *Nature*, 359, pp. 826-829.
- [12] Park, A. and Sabourian, H. (2011), “Herding and Contrarian Behaviour in Financial Markets”, *Econometrica*, 79, pp. 973-1026.
- [13] Rubinstein, A. (1979), “Equilibrium in Supergames with the Overtaking Criterion”, *Journal of Economic Theory*, 21, pp. 1-9.
- [14] Smith, M. (1982), *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press.

- [15] 神取道弘 (2015) 『人はなぜ協力するのか—繰り返しゲーム理論入門』、三菱経済研究所。