



Title	共同利用資源ゲームにおけるプレイヤーの主観的費用の進化的安定性に関する考察：プレイヤーの均衡労働量と共同利用資源の消失に注目して
Author(s)	宮下, 春樹
Citation	国際公共政策研究. 2022, 26(2), p. 39-46
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/86845
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

共同利用資源ゲームにおけるプレイヤーの主観的費用の 進化的安定性に関する考察

—プレイヤーの均衡労働量と共同利用資源の消失に注目して—*

On the evolution of the subjective cost for players in a common pool resource game

—Focusing on the equilibrium labor input of players and dissipation
of the common pool resources—*

宮下春樹**

Haruki MIYASHITA**

投稿論文

初稿受付日 2021 年 9 月 8 日 採択決定日 2021 年 12 月 16 日

Abstract

In this paper, we examined the evolution of the subjective cost for individuals who had participated in a common pool-resource game. We presumed that each player had their own subjective marginal cost while choosing their labor input to access the common-pool resource. To characterize the evolutionarily stable value of the cost parameter, we specified the production function which represents the resource extraction process, as quadratic. Similar to Wärneryd's (2012) model, we found that the evolutionarily stable value of the subjective marginal cost amongst players was less than the actual fitness value. Furthermore, we confirmed that the seriousness of the dissipation of common-pool resources increases when each player has the evolutionarily stable value of the subjective marginal cost than that of the actual fitness value.

キーワード : 共同利用資源ゲーム、間接進化アプローチ、コモンズの悲劇

Keywords : Common-pool resource game, Indirect evolutionary approach, The tragedy of the commons

JEL Classification numbers : C73, Q00

* 本研究は JSPS 科研費 JP19K23198 の助成を受けた研究成果の一部である。本論文の執筆に当たっては、筑波大学人文社会系の福住多一先生と匿名の査読者の先生に有意義なご指摘をいただいた。ここに記して謝意を表したい。

** 城西大学経済学部助教

1. はじめに

油田、漁場や牧草地など、経済活動を営む個人や企業が共同で利用している自然資源がある。それらの自然資源は、共同利用資源と呼ばれている。共同利用資源は、個人や企業が独立して利用することにより、過剰に消失することが知られている。Hardin (1968)は、これを共有地の悲劇(the tragedy of the commons)と呼んでいる。Ostrom et al. (1994)に始まる共有地の悲劇に焦点を当てたゲーム理論の研究の多くは、プレイヤーが資源を利用するために労働を投入すると想定し、モデルを構築している。以下、これらの研究で定式化されているゲームを共同利用資源ゲーム (common-pool resources game) と呼ぶことにしよう。Ostrom et al. (1994)は、ナッシュ均衡の下でのプレイヤーの均衡総労働量は、社会的に最適な水準を上回ることを示している。また、共同利用資源ゲームを模した経済実験を行い、被験者の労働量がナッシュ均衡の水準を上回ること確かめている。Atzenhoffer (2010) は、進化ゲーム理論を用いて共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する労働量の大きさを特徴づけている。進化的安定性を持つ労働量は、ナッシュ均衡の水準を上回ることを示している。Sethi and Somanathan (1996)は、資源を過剰に利用するプレイヤーに対する制裁戦略を加えた共同利用資源ゲームを導入している。進化ゲーム理論の適応動学を用いることにより、資源の維持に協力するプレイヤーと制裁プレイヤーからなる混合戦略が進化的安定性を持つことを示している。

共同利用資源を利用する個人や企業は、労働意欲の違いや職業倫理観の違いにより、労働に対し、主観的な費用を持つであろう。この費用は、彼らの労働に影響を与え、資源の消失に対しても間接的な影響を及ぼすと考えられる。Atzenhoffer (2010)は、プレイヤーの主観的な費用が共有地の悲劇に影響を与えるという予想は考慮していない。そこで、本論文では、プレイヤーの主観的な限界費用が均衡総労働量にいかに関与するかを分析する。ある環境下において、ある特定の形質が生存上有利であり、誰もがそれを身に着けるようになることを適応と呼ぶ。プレイヤーが有限人数の進化ゲームの中で生成された主観的な限界費用を持つ場合、プレイヤーが客観的な限界費用を持つ場合と比べて深刻な共有地の悲劇が起きることが示される。

プレイヤー集団が次世代に残すことのできる子孫の期待値を適応度と呼ぶ。Bester and Güth (1998)は、プレイヤーの主観的な効用は戦略によって定まり、プレイヤーの適応度は、彼らの選好を示したパラメーターによって定まると想定した寡占競争モデルを導入している。既存の戦略をとる無限人数のプレイヤー集団が突然変異体の侵入を阻止して安定するための条件(Smith and Price, 1973)を適用することにより、進化的安定性を持つ選好を特徴づけている。これを間接進化アプローチ(indirect evolutionary approach)と呼ぶ。間接進化アプローチの枠組みで社会に定着する選好を分析した先行研究として、Wärneryd (2012)や Boudreau and Shunda (2012)があげられる。これらの研究では、Shaffer (1988) が導入した均衡条件を用いて有限人数のプレイヤー集団に定着する選好を特徴づけている。また、プレイヤー間の対戦を通じて社会に定着する選好は、プレイヤーの客観的な選好の水準とは異なることを示している。Wärneryd (2012)は、レントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する限界費用を分析している。プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は大きくなることを示している。Boudreau and Shunda (2012) は、レントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する賞の価値を分析している。プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ賞の価値は小さくなることを示している。

本論文の構成は次のとおりである。第2節では、Atzenhoffer (2010)に準拠する形で2人以上のプレイヤーからなる共同利用資源ゲームを導入する。そこでは、Atzenhoffer (2010)のモデルに各プレイヤ

一の主観的な限界費用のパラメーターを加える形で定式化を行う．また，資源の総利用量の特徴を示した生産関数は凹関数で与えられると想定して定式化を行う．各プレイヤーの均衡労働量は，限界費用のパラメーターに依存することが判明する．続く第3節では，Wärneryd (2012)が採用した均衡条件を用いてプレイヤー集団に定着する限界費用を導出する．生産関数のパラメーターに依存する形で進化的安定性を持つ限界費用とその限界費用の下での均衡労働量が存在することが示される．進化的安定性を持つ限界費用は，客観的な限界費用を下回ることが判明する．また，プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は高まり，客観的な限界費用の水準に近づくことが判明する．これらは Wärneryd (2012)と同様の結果となる．さらに，プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用の下でのプレイヤーの均衡労働量は小さくなることが示される．第4節では，進化的安定性を持つ限界費用の下でのプレイヤーの均衡総労働量がナッシュ均衡の水準を上回ることを確かめる．最後に第5節では，まとめと本研究の今後の展望について述べる．

2. モデル

Atzenhoffer (2010)に準拠し，共同利用資源ゲーム(common-pool resources game)を導入する．有限人数からなるプレイヤーの集団を考える．プレイヤーの集合を $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ と書く．各プレイヤーは，資源を利用するために労働を投入すると仮定する．Atzenhoffer (2010)は，プレイヤーが資源を利用しないようなケースも想定してモデルを構築している．分析を簡単にするため，我々は各プレイヤーが正の労働量をプレイする状況のみを想定する．プレイヤー i の労働量を $x_i \in (0, e)$ と書く．ただし， $e \in R_{++}$ は，各プレイヤーの最大労働量を表す．資源の総利用量は貨幣単位で表すことができ，総労働量 $X = \sum_{j \in N} x_j$ に依存した生産関数 $F: X \rightarrow R_{++}$ ， $F'(X) > 0$ ， $F''(X) < 0$ によって与えられるとする．本論文では，Ostrom et al. (1994)が提示した以下の生産関数に特定化して分析を進める．

$$F(X) = aX - bX^2. \quad (1)$$

ただし， $a, b > 0$ である．プレイヤー i の資源の利用量は $x_i F(X)/X = x_i(a - bX)$ となる．各プレイヤーは，労働に対して主観的な限界費用を持つと仮定する．この限界費用は，各プレイヤーの労働量に影響を与えるとする．プレイヤー i の費用関数を $c_i x_i$ に特定化する．ここで， $c_i \in R_{++}$ は各プレイヤーの主観的な限界費用を表す．以下では，プレイヤーの主観的な限界費用の程度は突然変異の限界費用 c' と既存の限界費用 c^* の2つのみであるとする．また，プレイヤー1の限界費用は c' であると仮定し，プレイヤー $k \in N \setminus \{1\}$ の限界費用は c^* であると仮定する．プレイヤーの主観的な効用とプレイヤー $k \in N \setminus \{1\}$ の主観的な効用はそれぞれ次式で与えられる．

$$u_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{x_1}{X} F(X) - c' x_1, \quad (2)$$

$$u_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{x_k}{X} F(X) - c^* x_k. \quad (3)$$

Wärneryd (2012)は，式(2)および式(3)の効用関数において $F(X) = 1$ に特定化することにより，レントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する限界費用を分析している．我々のモデルは， $F(X)$ を凹関数であると想定することにより，Wärneryd (2012)を拡張したものと言える．

各プレイヤーの労働量に関する一階条件により，ナッシュ均衡は $\{x_1^*(c', c^*), x_2^*(c', c^*), \dots, x_n^*(c', c^*)\} = \{(a - c'n + c^*(n-1))/b(n+1), (a + c' - 2c^*)/b(n+1), \dots, (a + c' - 2c^*)/b(n+1)\}$ となる．突然変異体プレイヤーの限界費用が高まると突然変異体プレイヤーの労働量は小さくなること

が分かる．その一方，既存プレイヤーの限界費用が高まると突然変異体プレイヤーの労働量は大きくなることが分かる． $c' = c^* = 1$ の場合，各プレイヤーの限界費用は，彼らの労働費用に影響を与えることはない．以下では，Wärneryd (2012)に準拠し，各プレイヤーの客観的な限界費用は1であると仮定する．

3. プレイヤーの進化的安定性を持つ主観的な限界費用

本節では，進化の淘汰圧を経て共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する主観的な限界費用を分析する．ある環境下において，ある特定の形質が生存上有利であり，誰もがそれを身に着けるようになることを適応と呼ぶ．また，プレイヤー集団が次世代に残すことのできる子孫の数の期待値を適応度と呼ぶ．我々は，プレイヤーの主観的な効用は戦略によって定まり，プレイヤーの適応度は彼らの選好によって定まると仮定する．適応度の高いプレイヤーの選好は，適応度の低いプレイヤーの選好よりもプレイヤー集団の中で早く再生産されると考えられる．以下では，間接進化アプローチ(indirect evolutionary approach ; Bester and Güth, 1998)を適用し，進化の淘汰圧を経てプレイヤー集団に定着する限界費用を特徴づける．Wärneryd (2012)は，間接進化アプローチを用いることにより，2人以上のプレイヤーからなるレントシーキング・コンテストのプレイヤー集団に定着する主観的な限界費用を分析している．我々は，Schaffer (1988)およびWärneryd (2012)に準拠し， $n - 1$ 人の既存の限界費用を持つプレイヤーの集団に突然変異の限界費用を持つプレイヤーが1人侵入する状況を想定する．集団内のプレイヤー達は，共同利用資源ゲームをプレイすると仮定する．突然変異の選好を持つプレイヤーと既存の選好を持つプレイヤーの対戦において，各プレイヤーは，対戦相手の適応度を参照し，適応度の高いプレイヤーの選好に適合すると仮定する．また，プレイヤーの主観的な効用と異なり，各プレイヤーの適応度は，客観的な限界費用に依存すると仮定する．突然変異体プレイヤーが $x_1^*(c', c^*)$ をとり，既存プレイヤーが $x_k^*(c', c^*)$ をとる場合の突然変異体プレイヤーの適応度を $V(c', c^*) = v_1(x_1^*(c', c^*), x_2^*(c', c^*), \dots, x_n^*(c', c^*))$ と書く．この対戦における既存プレイヤーの適応度を $V(c^*, c') = v_k(x_1^*(c', c^*), x_2^*(c', c^*), \dots, x_n^*(c', c^*))$ と書く．突然変異体プレイヤーの適応度は次式で与えられる．

$$V(c', c^*) = \frac{x_1^*(c', c^*)}{X^*(c', c^*)} F(X^*(c', c^*)) - x_1^*(c', c^*). \quad (4)$$

一方，既存プレイヤーの適応度は次式で与えられる．

$$V(c^*, c') = \frac{x_k^*(c', c^*)}{X^*(c', c^*)} F(X^*(c', c^*)) - x_k^*(c', c^*). \quad (5)$$

ここで， $x_1^*(c', c^*) = (a - c'n + c^*(n - 1))/b(n + 1)$ ， $x_k^*(c', c^*) = (a + c' - 2c^*)/b(n + 1)$ および $X^*(c', c^*) = \{an - (c' + (n - 1)c^*)\}/b(n + 1)$ であるから，式(4)と式(5)はそれぞれ以下の式に置き換えられる．

$$V(c', c^*) = \frac{\{a + c' + c^*(n - 1) - (n + 1)\}}{b(n + 1)^2} \times \{a - c'n + c^*(n - 1)\}, \quad (6)$$

$$V(c^*, c') = \frac{\{a + c' + c^*(n - 1) - (n + 1)\}}{b(n + 1)^2} \times \{a + c' - 2c^*\}. \quad (7)$$

突然変異体プレイヤーと既存のプレイヤーの対戦に注目しよう．既存のプレイヤーの選好 c^* がナッシュ均衡となるのは，任意の $c' \neq c^*$ に対し， $V(c', c^*) \leq V(c^*, c^*)$ となる場合である．ナッシュ均衡とな

る選好は無限に存在する．それらのうち，突然変異体の侵入を阻止してプレイヤー集団に定着するような選好の特徴づけを試みよう．以下，これを進化的安定性を持つ選好(evolutionarily stable preferences；Bester and Güth, 1998)と呼ぶこととする．

定義 1. c^* が進化的安定性を持つ選好であるのは，次を満たす場合である：

- (1) c^* がナッシュ均衡であり，
- (2) ある $c' \neq c^*$ が存在して $V(c', c^*) = V(c^*, c')$ ならば $V(c', c') < V(c^*, c')$.

定義 1 の条件(2)は，突然変異体のみの集団に既存プレイヤーが侵入した場合，既存の選好がその集団に拡大することを意味する．進化ゲーム理論の用法に従い，これを安定条件と呼ぶことにしよう．突然変異体プレイヤーと既存プレイヤーの対戦においては，ナッシュ均衡の条件は $\forall c' \neq c^*, V(c', c^*) \leq V(c^*, c')$ に置き換えられる．突然変異体プレイヤーの適応度と既存プレイヤーの適応度の差を $\Delta V(c', c^*) := V(c', c^*) - V(c^*, c')$ と表記しよう．対戦において既存プレイヤーの適応度が $\Delta V(c', c^*)$ を最大化する場合，既存の選好 c^* をとるプレイヤーの集団に突然変異体の選好を持つプレイヤーが 1 人侵入したとしても突然変異体の選好は拡大できず，既存プレイヤーの選好は集団に安定的に定着すると考えられる．つまり， c^* が進化的安定性を持つ選好であるための十分条件は，

$$c^* \in \operatorname{argmax}_{c'} \Delta V(c', c^*). \quad (8)$$

が成り立つことである(Wärneryd, 2012)．

式(8)の限界費用の下での各プレイヤーの均衡労働量を $x^*(c^*, c^*)$ と書く．式(8)に基づく計算により，生産関数のパラメーターに依存する形で c^* と $x^*(c^*, c^*)$ が導出される．

命題 1. $1 < a < n + 1$ のとき， c^* と $x^*(c', c^*)$ が同時に存在し，それぞれ次式のようになる：

$$c^* = 1 + \frac{1 - a}{n}, \quad (9)$$

$$x^*(c^*, c^*) = \frac{a - 1}{nb}. \quad (10)$$

証明． $\Delta V(c', c^*)$ の c' に関する一階条件により，次式を得る．

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta V(c', c^*)}{\partial c'} &= 0 \\ \Leftrightarrow c' &= \frac{1}{2}(n + 1 - a - c^*(n - 2)). \end{aligned} \quad (11)$$

次に $\frac{\partial \Delta V(c', c^*)}{\partial c'}$ を c' で偏微分することにより，

$$\frac{\partial^2 \Delta V(c', c^*)}{\partial c'^2} = -\frac{2}{b(n + 1)} < 0 \quad (12)$$

となる．したがって， $\Delta V(c', c^*)$ は式(9)の c' において最大値をとる．式(11)の左辺の c' を $c' = c^*$ とおくことにより，

$$c^* = \frac{1}{2}\left(n + 1 - \frac{a}{w} - (n - 2)c^*\right) \quad (13)$$

となる．式 (13) を c^* について解くことにより，式 (9) を得る．次に式(9)の c^* を $x_1^*(c', c^*)$ と $x_k^*(c', c^*)$ の

右辺の c^* および c' にそれぞれ代入することにより、式(10)が導出される。ここで、 $c^* > 0$ かつ $x^*(c', c^*) > 0$ であるから、これらのパラメーターが同時に存在するのは、

$$1 + \frac{1-a}{n} > 0, \quad \frac{a-1}{nb} > 0 \quad (14)$$

の場合である。上記の不等式を a について解くことにより、 $1 < a < n+1$ となる。

□

式(9)において $1-a < 0$ であることに注意したい。プレイヤー集団の人数が大きい場合、進化的安定性を持つ限界費用は大きくなることが分かる。その一方、各プレイヤーの均衡労働量は小さくなる。また、任意の $n > 2$ に対し、 $c^* < 1$ となるから、進化的安定性を持つ限界費用は、客観的な限界費用の水準を下回る。ただし、プレイヤー集団の人数が無限に大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は、客観的な限界費用の水準に近づく。これらは、資源の総利用量が一定であると想定して分析を進めた Wärneryd (2012) と同様の結果となる。

ここで、 $F'(0) = a$ であるから、 a は各プレイヤーの労働量が0のときの限界生産力を示している。上記命題のパラメーターの制約は、次のように解釈できる。限界生産力が低いとき、各プレイヤーは労働を投入するインセンティブを失う。したがって、 $1 < a$ は、各プレイヤーの参加制約を示していると考えられる。その一方、限界生産力が高いとき、プレイヤーは労働に対して負の限界費用を持つことになる。したがって、 $a < n+1$ は、プレイヤーが負の限界費用を持たないための制約条件を示していると考えられる。

4. 社会的効率性の分析

第3節では、プレイヤーの人数が大きい場合、均衡労働量が減少することを示した。ところが、進化的安定性を持つ限界費用の下での総労働量は、各プレイヤーが客観的な限界費用を持つ場合の均衡総労働量を上回る。つまり、プレイヤーが有限人数の進化ゲームの中で生成された主観的な限界費用を持つ場合、プレイヤーが客観的な限界費用を持つ場合よりも深刻な共有地の悲劇が起きる。本節では、これを確認しよう。以下では、各プレイヤーは客観的な限界費用を持つと想定して分析を進める。このケースにおいては、プレイヤーの効用の合計は、 $F(X) - X$ となる。パレート最適な総労働量を X^{PO} と表記する。以下の最適化問題を解くことにより、 $X^{PO} = (a-1)/2b$ となる：

$$\max_X F(X) - X. \quad (15)$$

各プレイヤーが客観的な限界費用を持つ場合、各プレイヤーのナッシュ均衡の下での労働量は、 $(a-w)/b(n+1)$ となる。ナッシュ均衡の下での総労働量を X^{NE} と表記する。 X^{NE} は、各プレイヤーの均衡労働量の和であるから、 $X^{NE} = (a-1)n/b(n+1)$ となる。その一方、進化的安定性を持つ限界費用の下での総労働量を X^{ESP} と表記する。すると、 $X^{ESP} = (a-1)/b$ となる。

命題 2.

$$X^{PO} < X^{NE} < X^{ESP} \quad (16)$$

証明。任意の $n > 2$ に対し、 $1/2 < n/(n+1) < 1$ であるから、 $(a-1)/2b < (a-1)n/(n+1)b < (a-1)/b$ となる。したがって、式(16)を得る。

□

この結果は、進化的安定性を持つ労働量はナッシュ均衡の水準を上回ることを示した Atzenhoffer (2010)と類似している。進化的安定性を持つ限界費用は客観的な限界費用の水準を下回るため、プレイヤー達は資源の利用量を増やす。それにより、ナッシュ均衡の水準よりも深刻な共有地の悲劇が起きると言えよう。

ここで、プレイヤーの人数が無限大に大きくなると X^{NE} は X^{ESP} に収束することが分かる。つまり、プレイヤーの費用意識の進化的適応が引き起こす社会の状態は、プレイヤー数の増大による競争圧力の上昇がもたらす状態を示していると考えられる。

5. ディスカッション

共同利用資源ゲームのプレイヤー集団に定着する主観的な限界費用を分析した。プレイヤー集団の人数が大きくなると進化的安定性を持つ限界費用は大きくなり、客観的な限界費用に近づくことが示された。他方、プレイヤーの均衡労働量は小さくなることが示された。資源を利用するプレイヤーの人数が増えると各プレイヤーの資源の取り分は少なくなり、プレイヤーの主観的な限界費用は大きくなると考えられる。その結果、プレイヤー達は労働量を小さくすることで効用を高めようとする。式(6)に注目すると、既存の限界費用を持つプレイヤーの適応度は、自分の限界費用が高まると小さくなり、突然変異体プレイヤーの限界費用が高まると大きくなる。同じように式(7)に注目すると、突然変異体プレイヤーの適応度は、自分の限界費用が高まると小さくなり、既存プレイヤーの限界費用が高まると大きくなる。進化的安定性を持つ限界費用が存在する理由は、各プレイヤーの主観的な限界費用が彼らの適応度に与えるこれらの反対効果が互いに打ち消し合うためである。第4節では、進化的安定性を持つ限界費用の下でのプレイヤーの均衡総労働量は、プレイヤーが客観的な限界費用を持つ場合のナッシュ均衡の水準を上回ることを示した。Atzenhoffer (2010)は、共同利用資源ゲームには、プレイヤー達が総労働量を大きくすることにより、各プレイヤーの効用が下がる外部性があることを見出している。また、各プレイヤーが労働量を大きくすることにより、各プレイヤーの効用が下がる外部性があると述べている。これらの外部性が働くことにより、プレイヤーは効用を高めるために労働量を大きくすると言える。その結果、進化的安定性を持つ労働量はナッシュ均衡の水準を上回るのである。我々の定式化した共同利用資源ゲームにおいてもこれらの外部性がある。さらに、第2節で導出したナッシュ均衡に注目すると、突然変異体プレイヤーの限界費用が高まると既存プレイヤーの労働量が大きくなり、各プレイヤーの効用は下がる。反対に既存プレイヤーの限界費用が高まると突然変異体プレイヤーの労働量が大きくなり、各プレイヤーの効用は下がる。このようにプレイヤーの主観的な限界費用は、プレイヤーの効用を下げる効果を持つため、進化的安定性を持つ限界費用の下での均衡総労働量は、ナッシュ均衡の水準を上回ると考えられる。本論文の結果は、経済学に留まらず心理学や環境科学の分野にも新しい視点を提供するものになるだろう。

本論文では、資源の総利用量の特徴を示す生産関数は凹関数で与えられると想定して分析を進めることにより、Wärneryd (2012)のモデルの拡張を試みた。他の生産関数を用いて本論文のモデルを拡張した場合にも Wärneryd (2012)および本論文と同様の結果が導かれるかどうかは興味深い問題となるだろう。本論文では、突然変異の限界費用を持つプレイヤーの人数は1人であると想定して分析を進めた。さらに、Atzenhoffer (2010)と異なり、既存の限界費用を持つプレイヤーと突然変異体の限界

費用を持つプレイヤーはそれぞれ正の労働量を選択すると想定してモデル化を行った。Schaffer (1988)は、既存の戦略をとるプレイヤー集団が 2 人以上の突然変異体の侵入を阻止する条件を導入している。Wärneryd (2012)は、レントシーキング・コンテストのプレイヤーが努力をプレイしないケースも想定して分析を進めている。今後は、これらの先行研究を参考にして、本論文のモデルをより一般的な視点から分析していきたい。

＜参考文献＞

- Atzenhoffer, J. (2010) “A Note on imitation-based competition in common-pool resources,” *Environmental and Resource Economics*, **47**(2), 299—304.
- Bester, H. and Güth, W. (1998) “Is altruism evolutionarily stable?,” *Journal of Economic Behavior and Organization*, **34**(2), 193—209.
- Boudreau, J. W. and Shunda, N. (2012) “On the evolution of prize perceptions in contests,” *Economics Letters*, **116**(3), 498—501.
- Hardin, G. (1968) “The tragedy of the commons,” *Science*, **162**(3859), 1243—1248.
- Ostrom, E, Gardner, R, and Walker, J. (1994) *Rules, Games and Common-Pool Resources*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Smith, J. M. and Price, G. R. (1973) “The logic of animal conflict,” *Nature*, **246** (5427), 15—8.
- Sethi, R. and Somanathan, E. (1996) “The Evolution of Social Norms in Common Property Resource Use,” *The American Economic Review*, **86**(4), 766—788.
- Schaffer, M. E. (1988) “Evolutionarily stable strategies for a finite population and a variable contest size,” *Journal of Theoretical Biology*, **132**(4), 469—478.
- Wärneryd, K. (2012) “The evolution of preferences for conflict,” *Economics Letters*, **116**(1), 102—104.