

# 不完備情報ゲームを用いた資源消費の意思決定に関する研究

## A Study of Decision-making on Resource Consumption with Incomplete Information Game

佐藤 勇気\*<sup>1</sup>  
Yuki Sato

西野 成昭\*<sup>2</sup>  
Nariaki Nishino

上田 完次\*<sup>2</sup>  
Kanji Ueda

\*<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
School of Engineering, The University of Tokyo

\*<sup>2</sup> 東京大学人工物工学センター  
Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo

This paper models decision-making about common pool resources(CPR) using incomplete information game, and analyzes by equilibrium analysis and experiments with human subject and computer simulation. As a result of these analysis, it is found that the uncertainty of the information about CPR effects on the decision-making and that the information about the other players decreases a resource consumption. Additionally, discuss the design of institutional arrangements.

### 1. はじめに

現在、資源枯渇や環境汚染などの問題に大きな関心が集まっている。このような共有資源の問題は、解決しなければならない現代社会の問題の1つであり共益と私益のジレンマが消費者の意思決定を困難にしている。各消費者が自らの利益を高めるために私益を追求すると、共益が損なわれ、結果として各消費者が低い利得しか得ることが出来ないという状況で、これを社会的ジレンマと呼ぶ。このような社会的ジレンマの関連研究はゲーム理論を用いた研究が多いが、消費者の持つ情報が完全な不完備情報ゲームを用いた情報の不確かさについては扱わないものが多い。しかし現実社会では、消費者の行動が共有資源に与える影響や共有資源の量を正確に求めることは科学的に困難であり、このような情報が不確かな環境下で消費者は意思決定を行っているといえる。また、長期的に保有する共有資源についての研究としてはBluら [Blu 03] や Walkerら [Walker 92] の研究が挙げられるが、本研究でも長期的に保有する共有資源をモデルに導入する。

そこで本研究では情報が不確かな環境下での消費者の資源消費の意思決定に着目し、不完備情報ゲームを用いて資源消費の意思決定モデルを構築する。構築したモデルを用い、実際の人間の意思決定を分析するために理論的な均衡分析と被験者実験を行うことで、情報の不確かさが資源消費の意思決定に与える影響を分析する。また長期的に共有資源を維持する要因を分析するためにマルチエージェントシミュレーションを行う。

### 2. モデル

意思決定主体である  $n$  人のプレイヤーは、環境資源を全員の共有財産として持っており（共有資源と呼ぶ）共有資源を消費することで利得を与える。共有資源は一定の割合  $g$  で回復する。モデルでは以下のようにゲームが進行する。

- 共有資源の初期値  $R_0$  が、ゲーム開始時にある確率で決定される。 $R^H, R^L$  のいずれかで、 $R_0 = R^H$  の確率を  $\delta$ ,  $R_0 = R^L$  の確率を  $1 - \delta$  とする。
- プレイヤー  $i$  が  $R_0$  に関する情報  $s_i$  を受け取る。情報  $s_i$  は  $s^H, s^L$  のいずれかで、それぞれ  $R_0$  が  $R^H, R^L$  であることを知らせている。 $s_i$  は以下の確率でプレイヤーに与えられ、 $\beta$  を情報の精度と呼ぶ。

$$p(s_i = s^H | R = R^H) = \beta \quad p(s_i = s^L | R = R^H) = 1 - \beta$$

$$p(s_i = s^L | R = R^L) = \beta \quad p(s_i = s^H | R = R^L) = 1 - \beta$$

- $k$  ターン目にプレイヤー  $i$  は  $\underline{a}$  から  $\bar{a}$  までの範囲で消費量  $a_{k,i}$  を決定し、利得  $P_{k,i}$  を得る。

$$P_{k,i}(a_{k,i}) = a_{k,i}$$

- $k$  ターン目に消費量に応じて  $k+1$  ターン目の資源量  $R_{k+1}$  は以下ようになる。

$$R_{k+1} = g(R_k - \sum_{i=1}^n a_{k,i})$$

- ターン数が最大ターン数  $\bar{k}$  に達するか、共有資源の量が 0 以下になった場合ゲームを終了する。それ以外の場合は  $k = k+1$  として 3. に戻る。

なお、表 1 のパラメータを用いて均衡分析、被験者実験、シミュレーションを行った。

表 1: パラメータの設定

$n$	$R^H$	$R^L$	$\underline{a}$	$\bar{a}$	$\bar{k}$	$g$	$\delta$
3	64	32	1	5	10	1.2	0.5

### 3. 均衡分析

完備情報ゲームと不完備情報ゲームの均衡概念であるナッシュ均衡、ベイジアンナッシュ均衡を用いて均衡解を導出した。 $s^L$  のときの、各情報の精度での均衡状態の戦略を図 1 に示した。均衡での戦略とは 1 ターン目から 10 ターン目までの消費量の組を指しており、精度が 1 のときがナッシュ均衡で、1 未満のときはゲームが不完備情報ゲームとなるのでベイジアンナッシュ均衡である。

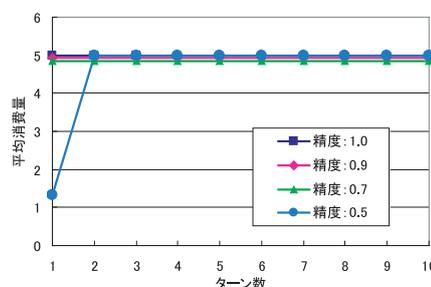


図 1:  $s^L$  での各情報の精度における均衡での戦略

ナッシュ均衡、ベイジアンナッシュ均衡では、 $s^L$  のときほぼ常に高い消費をとっている。従って、合理的な消費者で構成される社会を考える場合、資源が少ないという情報は精度にかかわらず資源消費を促すといえる。

## 4. 被験者実験

### 4.1 概要

被験者実験は、東京大学の学生 36 名を被験者として行った。最大ターン数の情報の有無、他のプレイヤーの情報の有無、情報の精度  $\beta=1.0, 0.9, 0.7, 0.5$  という設定を変えて計 16 セッション行った。実験経済学の手続きに基づき、被験者には報酬として獲得した得点 1 点につき 5 円を支払った。

### 4.2 結果

他の被験者の情報と最大ターン数の情報について知っている場合に  $s^L$  の情報を持った被験者の平均消費量の推移を図 2 に示す。

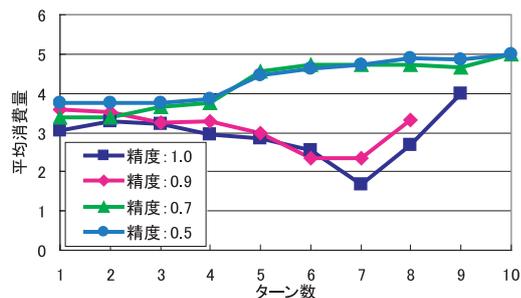


図 2:  $s^L$  での情報の精度毎の平均消費量

表 2:  $s^L$  での他プレイヤーの情報の有無と平均消費量

(精度, 最大ターン数)	他のプレイヤーの過去の行動	
	見えない	見える
(1.0, わかる)	3.02	2.66
(0.9, わかる)	3.31	3.28
(0.7, わかる)	3.95	3.56
(0.5, わかる)	4.41	4.09
(1.0, わからない)	3.13	2.09
(0.9, わからない)	2.84	2.49
(0.7, わからない)	3.25	2.83
(0.5, わからない)	3.25	3.24

図 2 が示すように、 $s^L$  を持つ場合には情報の精度が高い場合には消費量が抑えられる傾向があり、高い消費をとる均衡戦略とは違いが見られた。また表 2 が示すように、他のプレイヤーの情報がある場合は、情報がない場合に比べ、消費量が抑えられている。被験者の中には、実験の設定によらずほぼ同じ行動をとる被験者も見られた。

## 5. 制度設計に関するシミュレーション

### 5.1 シミュレーションの設定

計算機実験では 8 種類のエージェント (ランダム, 常に最大消費, 序盤節約, 終盤節約, 均衡での戦略, 被験者実験の結果, 協力的しっぺ返し, 非協力的しっぺ返し) を用意し、これらのエージェントを 2 人, Q 学習で学習する学習器エージェントを 1 人として、設定を変えて結果を比較した。Q 値は、入力  $E_k$  を  $k, s$ , 過去の 3 人の消費量の合計  $\sigma$ , 他の 2 人のプレイヤーの 1 ターン前の消費量  $a_{2,k-1}, a_{3,k-1}$  とし、出力をそのターンの消費量  $a_1$  とし、以下の手順で学習をする。

1.  $Q(E_k, a_1)$  から  $\epsilon$ -Greedy 選択で行動  $a$  を決定する。
2. 各エージェントの意思決定から環境を更新し、1 を繰り返す。
3.  $k = k_0$  で、最大ターン数に達するかもしくはで資源が尽きてゲームが終了する場合は以下のように Q 値を更新する。

$$Q(E_k, a_1) \leftarrow (1-\alpha)Q(E_k, a_1) + \alpha(b + \gamma \max Q(E_{k+1}, a_1))$$

$k = 1$  から  $k = k_0$  までとし、つまり、ゲーム開始から終了までにとられた行動についての全ての Q 値を更新する。ただし、 $b$  は学習機がそのゲームで獲得した利得の和である。

設定の違いは以下のような利得関数の違いである。

- type1: これまで通り  $P_{k,i}(a_{k,i}) = a_{k,i}$
- type2: 消費量が多い場合には利得を減らす場合

$$a_{k,i} < 3 \text{ のとき} \quad P_{k,i}(a_{k,i}) = a_{k,i}$$

$$a_{k,i} \geq 3 \text{ のとき} \quad P_{k,i}(a_{k,i}) = 1 + a_{k,i}/2$$

- type3: 資源が尽きたときに負の報酬を与える場合。

$k_0$  で資源が尽きた場合、 $\alpha(\bar{k} - k_0)$  の負の報酬を与える。 $\alpha = 3$  とした。

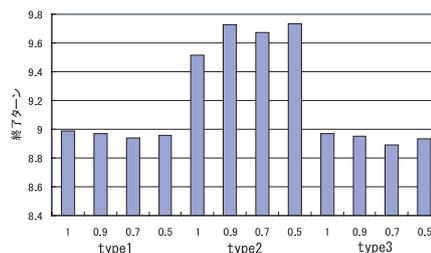


図 3:  $R^H$  での各設定での平均終了ターン数  $t_{ave}$

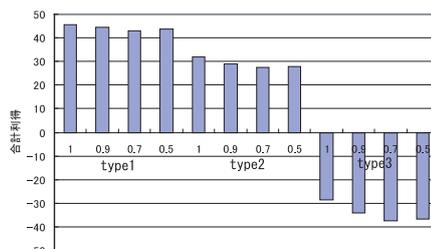


図 4:  $R^L$  での各設定での平均合計利得  $\sum P$

### 5.2 結果

図 3 は各設定での平均収量ターン  $t_{ave}$  を、図 4 はプレイヤーの合計利得  $\sum P$  を示している。図 3, 図 4 から、type2 ではプレイヤーの利得は下がるが資源はより長く維持されており、共有資源の維持に消費者への課税が有効であることを示唆している。

## 6. 終わりに

情報の不確かさを導入した共有資源の消費意思決定モデルによって、情報の不確かさの程度が消費者の意思決定に影響を与えることを示した。特に資源の維持を目的とした制度設計の観点から見ると、資源の量が少ない場合には信頼性が高い情報を与え、資源の量が多い場合には信頼性の低い情報を与えること、互いに消費者の消費行動が見えるような環境を作ること、高い消費量をとる消費者への課税を行うことが有効であることが示唆された。

## 参考文献

- [Blu 03] Blu, L and Cabrera, S and Capra, C and Gomez, R: A Common Pool Resource Game with Sequential Decisions and Experimental Evidence, Experimental Economics, 2003.
- [Walker 92] Walker, J and Gardner, R: Probabilistic Destruction of Common-pool Resources: Experimental Evidence, The Economic Journal, 1992.