ごみ処理問題についての一考察

和　田　良　子
経済学部助教授

平　瀬　和　基
経済学部講師

序

環境問題のひとつであるごみ処理問題について議論をする．ごみ処理問題にかんする理論（ゲーム）を紹介し，そのゲームについての実験結果を考察することが本稿の目的である．ごみ処理にかんするゲームは，外部不経済が存在する状況の一例として Shapley and Shubik （1969）によって分析されており，譲渡可能な効用を用いた枠組みで，提携合理性を満たすごみの配分が存在しないことが示されている．Hirai et al. （2004）は，扱うゲームの種類の一例として，譲渡不可能な効用を用いた枠組みでごみ処理ゲームを記述し，詳細な分析をしている．そこでは報復均衡の存在やコアの存在などが示されている．

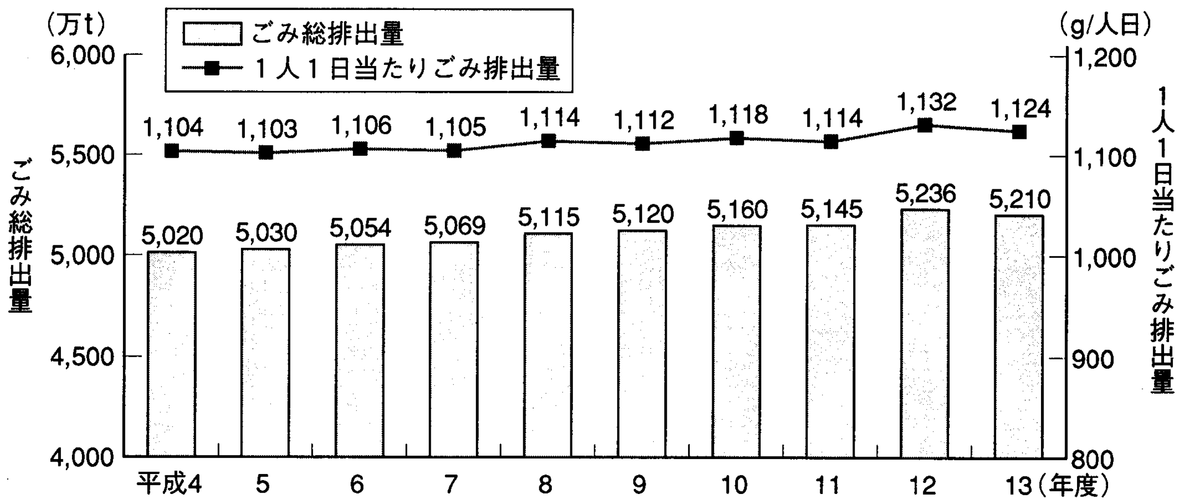
本論文はごみ処理ゲームの均衡概念として，ナッシュ均衡，強均衡，αコア，βコアについて取り上げ，どのような行動がそれらの均衡概念と関連しているのかを理論的に分析する．本稿のモデルは Hirai et al. （2004）に基づき，効用については各均衡概念の存在が証明されている譲渡不可能な効用を用いる．この理論分析を踏まえてごみ処理ゲームの実験を行う．実験で観察された行動と，理論上均衡概念に関連づけられた行動とを比較し考察を与える．本稿は以下のように構成されている．第１章ではごみ処理にかんする問題点について記述し，第２章ではごみ処理ゲームを定義し均衡概念の特徴づけを行う．第３章ではわれわれが行った実験の内容と結果を紹介する．第４章と第５章に実験結果を受けた考察を述べ，第６章に今後の課題を挙げる．

1. ごみ処理問題とシステム設計の重要性

この章ではわれわれがごみ処理問題を取り上げる理由について述べる．平成16年度「環境白書」のデータからごみ処理問題の現状を整理し，それをもたらす意思決定について推測し，制度設計の重要性について述べる．

図1－1によってごみの総排出量の推移をみると，徐々にではあるが増加傾向にある．1人1日当たりでみても，ごみの排出量は増えている．

図1－1　ごみ総排出量と1人1日当たりのごみ排出量の推移



注：「ごみ排出量」＝「収集ごみ量＋直接搬入ごみ量＋自家処理量」である。
廃棄物処理法に基づく「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」における一般廃棄物の排出量は、「ごみ排出量」から「自家処理量」を差し引き、資源ごみの「集団回収量」を加算したものとしており、その場合の平成13年度の排出量は、5,468万トンである。
資料：環境省『日本の廃棄物処理』(平成16年3月)

(出所) 環境省「環境白書」平成16年版
http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/img/219/fb2.4.1.1.gif

その理由を推測してみると，後にごみとなるものを購入することにペナルティがないことが考えられる．生活系ごみに占める容器包装廃棄物の割合は，容積比で40.7%をプラスチックが占めている．(平成13年度　環境省調べ) 肉や魚を乗せているトレーやカップ麺などの容器である．容器包装ごみに関して，情報が不十分であることによってごみが増えるというプロセスが考えられる．消費者は，トレーに自分がいくら支払っているのかという情報を与えられていない．そのため，トレーつきの消費行動を控える行為が，自分にと

って最終的に利益になることを理解するのは難しい[1]．

各人が自分のごみを減らす努力をするのは，それがすぐ自分の利益になることがわかるときだけと考えられる．現状では家計がごみを減らす努力を行うための制度的なインセンティブは与えられておらず，今後もごみの排出量は減らないと予測することができる．

ごみ処理問題における深刻な問題のひとつに不法投棄がある．不法投棄では，誰かがある場所に不法投棄を行うと，その場所に他の誰かがまた投棄するというように連鎖を引き起こすことが知られている．不法投棄はごみがグッズではなくバッズであることによっている．また投棄者を取り締まることが難しいため，動学的不整合性の問題も内在している．不法投棄によってできたごみの山は，個人のモラルや環境問題への意識に依存する方法では，ごみ処理がうまくいかないことの証左となっている．

不法投棄の件数を図1−2によってみると，平成7年度頃から急激に増え，平成14年度には一応の収まりをみせているものの，平成5年度と比べると依然高い水準で推移している．これはごみを処理するために対価を支払うことの費用が大きいことを反映している．家電の不法投棄に対しては平成16年から家電リサイクル法が，車の不法投棄に対しても平成16年から自動車リサイクル法が実施され，財を買うときにごみ処理料金を前もって支払っておくという形で解決をみようとしている．しかし，これらの法律の対象外となる旧製品も存在するため，しばらくは不法投棄が続くものと考えられる．

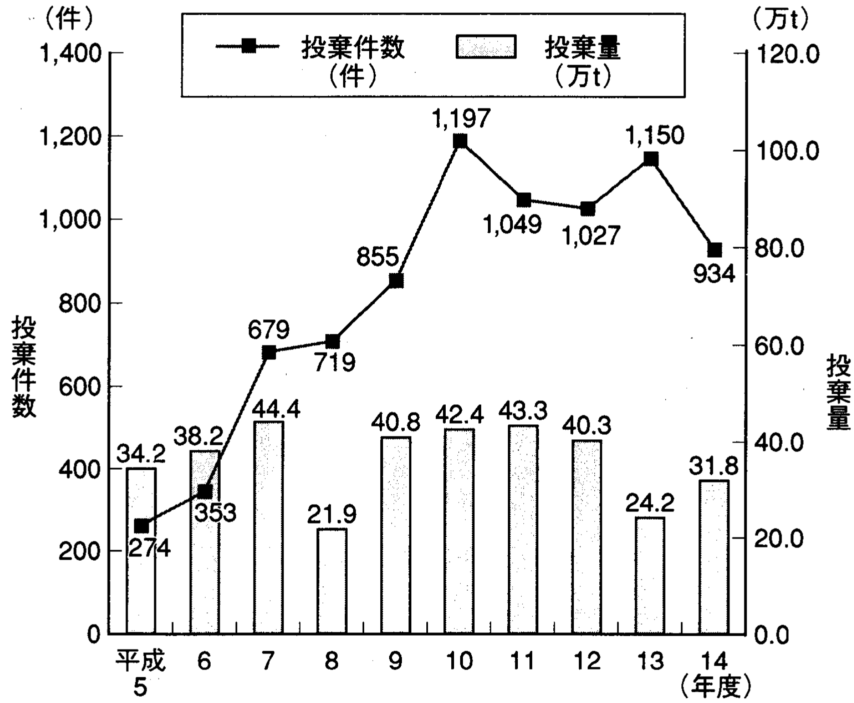
この章ではごみの問題について議論し，以下の認識をもった．

① 家計が発生させている生活系ごみは増え続けており，今後も減らないと予測できる

② ごみを処理するシステムやルールが個人のモラルに依存するような形では，コミュニティとしてのごみ処理はうまくいかない

われわれは，生活系ごみは今後も減らないという事実を所与として，ごみ処理システムを考察することが重要であると考える．そのため，第2章では，ごみ処理ゲームを定義し，均衡概念の特徴づけを行う．第3章以降では，モデルに依拠した実験を行い，主体間でどのような意思決定が行われるのかを観察することで，システム設計に重要な要件は何かを探る．

図1-2　不法投棄件数および投棄量の推移



注1：投棄件数及び投棄量は、都道府県及び保健所設置市が把握した産業廃棄物の不法投棄のうち、1件当たりの投棄量が10t以上の事案を集計対象とした。(ただし特別管理産業廃棄物を含む事案については、投棄量10t未満を含めて全ての事案を集計対象とした。)

2：平成5～7年度の状況は平成8年度調査。平成8～10年度の状況は平成11年4月調査。平成11年度の状況は平成12年6月調査。平成12年度の状況は平成13年8月調査。平成13年度の状況は平成14年6月調査。

出典：環境省『産業廃棄物の不法投棄の状況（平成14年度）について』

（出所）環境省「環境白書」平成16年版
http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/img/219/fb2.4.1.1.gif

2．理論

2.1　モデル

この論文で扱うごみ処理ゲームを定義する．ごみ処理ゲームでは，各主体に外生的にある量のごみが与えられているときに，どの主体にどのくらいの量のごみを処理させるかを決めるという状況が考えられている．各主体の戦略は，自分のごみを誰にどのくらい処理してもらうかを決めることに対応している．ある主体の利得は，各主体がそれぞれ戦略を選んだ結果その主体に集まったごみの量に依存して決まり，集まったごみの量が増えるほど利得が下がるという仮定がおかれている．

定式化すると以下のようになる.

定義1．ごみ処理ゲームは，以下の戦略形ゲーム $G=\{N,(b_i,X_i,u_i)_{i\in N}\}$ であらわされる.

- $N=\{1,...,i,...,n\}$ は主体の集合.
- $X_i=\{x_i=(x_{i1},...,x_{in})\in\Re^n_+|\sum_{j\in N}x_{ij}=b_i\}$ を主体 i の戦略集合とする．ただし，$b_i(\in\Re_+)$ を主体 i が処分しなければならないごみの量とする．x_{ij} は主体 i が主体 j に渡すごみの量をあらわすものと解釈できる.
- $U_i:\prod_{i\in N}X_i\rightarrow\Re$ で主体 i の利得関数をあらわす．また，$u_i(x_1,...,x_n)=U_i(\sum_{j\in N}x_{ji})$ で，u_i は単調減少関数であると仮定する.

N の非空な部分集合 S を提携とよび，S であらわす．提携の集合を N と表記する．提携による戦略にかんして，便宜的に以下のような記号を用いることとする．提携 S による戦略の集合 $\prod_{i\in S}X_i$ を X_S として，その典型的な元を x_S とする．全員提携 N による戦略や戦略集合については添え字を省略し，x, X などとあらわす．i 以外の主体による提携 $N\setminus\{i\}$ を $-i$ で表記する．また，一人提携 $\{i\}$ を i と表現する.

2.2 均衡概念

この節では，ゲームの均衡概念を定義し，ごみ処理ゲーム G においてどのような戦略が均衡概念によって支持されるかを述べる．均衡概念を定義する前に，逸脱という概念を定義する．その後，ある種の逸脱がおこらない戦略の組として均衡を定義する.

定義2.（逸脱）提携 S が $x=(x_1,\cdots,x_n)$ に対して逸脱戦略 $y_S(\in X_S)$ をもつとは，提携 S の全ての構成員 j について，$u_j(y_S,x_{N\setminus S})>u_j(x)$ が成立することをいう.

2.2.1 ナッシュ均衡

定義3.（ナッシュ均衡）戦略の組 x がナッシュ均衡であるとは，全ての主体 i と X_{-i} に属する全ての x_{-i} に対して，$u_i(x)\geq u_i(x_i,x'_{-i})=u_i(x'_1,...,x'_{i-1},x_i,x'_{i+1},...,x'_n)$ が成立することをいう.

言い換えると，x がナッシュ均衡であるとは，どのような一人提携も x に対して逸脱

戦略をもたないということである．ナッシュ均衡の定義から，次の命題が成立する．

命題1．

ごみ捨てゲーム G において，戦略の組 $x=(x_1,\cdots,x_n)$ がナッシュ均衡であることは，全ての主体 i について $x_{ii}=0$ が成立することと同値である．

証明． $x=(x_1,\cdots,x_n)$ がナッシュ均衡であるとして，$x_{ii}>0$ となる主体 i が存在すると仮定する．この主体 i が $x'_{ii}=0$ を満たす戦略 x'_i を選ぶと，利得関数が単調減少関数であることより，

$$\begin{aligned} u_i((x_1,\dots,x'_i,\dots,x_n)) &= U_i(\sum_{j\neq i} x_{ji}+x'_{ii}) \\ &> U_i(\sum_{j\neq i} x_{ji}+x_{ii}) = U_i(\sum_{j\in N} x_{ji}) = u_i(x_1,\dots,x_i,\dots,x_n) \end{aligned}$$

が成立する．つまり一人提携 $\{i\}$ が $x=(x_1,\cdots,x_n)$ に対して逸脱戦略を持つ．これは $x=(x_1,\cdots,x_n)$ がナッシュ均衡であるとしたことに矛盾する．

一方，戦略の組 $x=(x_1,\cdots,x_n)$ について，全ての主体について $x_{ii}=0$ が成立しているとすると，利得関数が単調減少関数であることより，任意の i と $x''_{ii}>0$ となる任意の戦略 x''_i について以下の式が成立する．

$$\begin{aligned} u_i((x_1,\dots,x_i,\dots,x_n)) = U_i(\sum_{j\in N} x_{ji}) &= U_i(\sum_{j\neq i} x_{ji}+x_{ii}) \\ &> U_i(\sum_{j\neq i} x_{ji}+x''_{ii}) = u_i((x_1,\dots,x_{i-1},x''_i,x_{i+1},\dots,x_n)). \end{aligned}$$

つまり，どのような一人提携も，全ての主体について $x_{ii}=0$ となる戦略の組からは逸脱しない．よって全ての主体について $x_{ii}=0$ が成立しているような戦略の組 $x=(x_1,\cdots,x_n)$ はナッシュ均衡である． ◇

命題1は戦略がナッシュ均衡になるための必要十分条件を示しており，ナッシュ均衡は，処理しなければならないごみをすべて自分以外の主体に渡すという戦略で特徴づけられる．

2.2.2 強均衡

定義4．（強均衡）どのような提携も戦略の組 x に対して逸脱戦略をもたないとき，戦略の組 x が強均衡であるという．

一人提携に逸脱されない戦略の組として定義されていたナッシュ均衡と比較すると，強

均衡はより強い均衡概念となっている．

注1．強均衡はナッシュ均衡である．

どのような戦略が強均衡によって支持されるのかを考える．

命題2．

$i_1,\cdots,i_n$ を $1,\cdots,n$ の置換とする．このとき，ごみ処理ゲーム G にかんして，

- $x_{ii}=0 \qquad (\forall i \in N)$
- $x_{i_1 i_2}=b_{i_1},\ x_{i_2 i_3}=b_{i_2},\ \ldots\ ,\ x_{i_n i_1}=b_{i_n}$

を満たす戦略の組 x は強均衡になる．ただし $i_1,\cdots,i_n$ を $1,\cdots,n$ の置換とする．

証明．[2)] S を N の真部分集合とすると，S に属する主体 i と $N\setminus S$ に属する主体 j が存在して，$x_{ji}>0$ が成立する．注1より，強均衡はナッシュ均衡なので，命題1より $x_{ii}=0$ が成立している．ゆえに，X_S に属するすべての y_S に対して，

$$u_i(y_S,x_{N\setminus S})=U_i(\sum_{k\in S}y_{S,ki}+x_{ji})\leq U_i(x_{ji})=u_i(x)$$

となる．よって N の真部分集合となる S は逸脱戦略を持たない．N については利得関数の単調減少性から，x に対して逸脱戦略を持たないことが分かる．したがって，いかなる提携も x に対して逸脱戦略を持たないこと，つまり x は強均衡であることが示された．　◇

全員提携でごみの受け渡しのサイクルが形成されるような戦略の組が，強均衡によって支持されることが示された．ナッシュ均衡のときとは異なり，ここでは強均衡がこのような戦略の組によって完全に特徴づけられているわけではないことを注意しておく．他のナッシュ均衡戦略の組も強均衡になっている可能性があるというわけである．

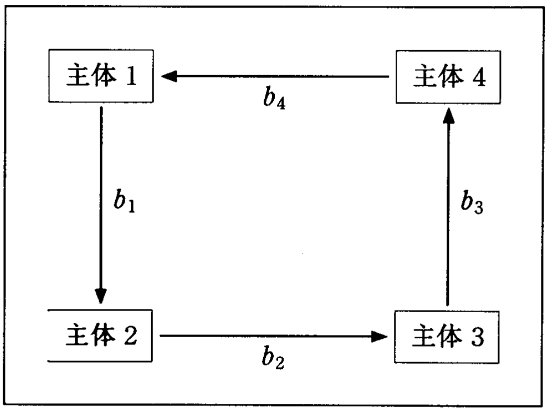


図2－1　強均衡の一例（$n=4$）

2.2.3 コア

定義5．戦略形ゲーム G の α 特性対応 V_α を以下のように定義する．

$$\begin{aligned} V_\alpha(S) &:= \{u=(u_1,...,u_n)\in\Re^n \mid \exists x_S\in X_S, \forall x_{N\setminus S}\in X_{N\setminus S}, \forall i\in S,\ \ u_i\le u_i(x)\} \qquad (S\neq N) \\ V_\alpha(N) &:= \{u=(u_1,...,u_n)\in\Re^n \mid \exists x\in X, \forall i\in N,\ \ u_i\le u_i(x)\} \end{aligned}$$

とする．

この特性対応は，Aumann and Peleg（1960）が導入した α 的状況に基づいている．$N\setminus S$ がどのような戦略を選ぼうと，提携 S のメンバーが最低でも達成することができる利得ベクトルの集合を表現したものと解釈される．

この特性対応を使って，α コアを定義する．

定義6．（α コア）戦略形ゲーム G の α コア $C_\alpha(G)$ を，以下の利得ベクトルの集合で定義する．

$$C_\alpha(G):=V_\alpha(N)\setminus\bigcup_{S\in\mathcal{N}}\mathrm{int}V_\alpha(S).$$

α コアは，α 的な状況を考えたときに，全員提携で達成される利得ベクトルの集合から何らかの提携によって逸脱されてしまう利得ベクトルの集合を除いたものと解釈できる．

α 流とは異なる特性対応を定義する．

定義7．戦略形 G の β 特性対応 V_β を

$$\begin{aligned} V_\beta(S) &:= \{u=(u_1,...,u_n)\in\Re^n \mid \forall x_{N\setminus S}\in X_{N\setminus S}, \exists x_S\in X_S, \forall i\in S,\ u_i\le u_i(x)\} \qquad (S\neq N) \\ V_\beta(N) &:= \{u=(u_1,...,u_n)\in\Re^n \mid \exists x\in X, \forall i\in N,\ u_i\le u_i(x)\} \end{aligned}$$

とする．

この特性対応は，Aumann and Peleg（1960）が導入した β 的状況に基づいている．$N\setminus S$ がどのような戦略を選ぼうと，それに対して提携 S のメンバーが適当な戦略を選ぶことで達成することができる利得ベクトルの集合を表現したものと解釈される．提携 S が $N\setminus S$ の戦略に対応することができるであろうという，α 流よりは提携 S にとって楽観的な

状況をあらわしていると考えられる.

αコアと同様にβコアを定義する.

定義8.（βコア）戦略形ゲームGのβコア$C_\beta(G)$を，以下の利得ベクトルの集合で定義する.

$$C_\beta(G) := V_\beta(N) \setminus \bigcup_{S \in \mathcal{N}} \mathrm{int} V_\beta(S)\,.$$

αコアは悲観的な予想に基づいた逸脱を許さない状況，βコアは楽観的な予想に基づいた逸脱を許さない状況，強均衡はいかなる逸脱をも許さない状況を記述していると解釈できよう.

これら3つの均衡概念については，定義から，強均衡で達成される利得の組はβコアになり，βコアはαコアに含まれるという関係が成立する．このことと命題2から，ごみ処理ゲームGにおいては，αコアとβコアが存在することが確認できる．一般的にはβコアはαコアに含まれるのだが，本論文でモデル化したごみ処理ゲームではαコアとβコアの一致が知られている.

命題3.

ごみ処理ゲームGにおいて，αコアとβコアは一致する.

証明．定義からβコアがαコアに含まれることは自明であるので，αコアがβコアに含まれることを示す．$u \in \Re^N$がβコアに属していないとすると，提携Sが存在して，任意の戦略の組zに対して，Sの戦略 x_Sが存在して，Sのすべての構成員iについて

$$u_i(y_S, z_{N\setminus S}) > u_i$$

が成り立つ.

ここで，提携Sの戦略x_SがSに属するすべてのi, jに対して，$x_{ij} = 0$を満たしているとする．利得関数U_iの単調減少性から，任意の$z \in X$と$i \in S$に対して，

$$\begin{aligned} u_i(x_S, z_{N\setminus S}) &= U_i(\sum_{k\in S} x_{ki} + \sum_{l\in N\setminus S} z_{li}) = U_i(\sum_{l\in N\setminus S} z_{li}) \\ &\geq U_i(\sum_{k\in S} y_{ki} + \sum_{l\in N\setminus S} z_{li}) = u_i(y_S, z_{N\setminus S}) \\ &> u_i \end{aligned}$$

が成立する．よって u が α コアに入らないことが証明された． ◇

ごみ処理ゲーム G においては，α 流の（悲観的な）行動予想を持つ提携によって逸脱を受けない利得ベクトルの集合は，β 流の（楽観的な）行動予想を持つ提携によって逸脱を受けない利得ベクトルの集合と一致するということである．ここからは，特に区別する必要がない限り，α コアと β コアを単にコアと呼ぶことにする．どのような戦略がコアによって支持されるのかを考える．

コアが支持する戦略については，Hirai et al.（2004）が次の命題を示している．

命題 4.

一般性を失うことなく，$b_1 \leq \cdots \leq b_n$ とする．ごみ処理ゲーム G において，

$$\sum_{j=1}^{k} b_j \geq b_{k+1} \quad (k = 1, ..., n-1)$$

が成立するとき，またそのときに限って，すべての i について $x_{ii} = b_i$ を満たす戦略の組 x によって得られる利得ベクトルがコアに含まれる．

命題の前件は，外生的に与えられるごみの量に主体間で大きな差がないという条件であるといえる．この命題でコアに支持されている戦略は，各主体は自分に与えられたごみを自分で処理するものと解釈できる．ごみの量に主体間で差が無ければ，自分のごみを自分で処理するという戦略がコアというひとつの均衡状態になりうるわけである．

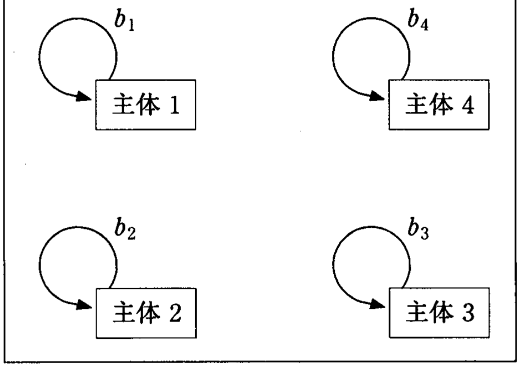


図2−2　コアの一例（n= 4）

3. 実験

2章において，ごみ処理ゲームにおけるいくつかの均衡概念とそれらに支持される戦略との関係について理論的に述べてきた．以下では実験の方法と結果について述べる．

3.1 実験のデザイン

〈実験の目的〉

第2章において提示したごみ処理モデルの検証が目的である．最初に与えられたごみを，どのように処理するか（ごみ出し）についての意思決定が，5回のセッションの繰り返しでどのように変化するかをみる．

〈実験の種類〉

被験者同士の相談が不可能な非相談実験と，各セッション前に相談が可能な相談実験を行う[3)]．どちらもトランプカードを用いた紙実験により行う．

〈被験者〉

敬愛大学の学生

非相談実験 —— 2004年度3年次和田ゼミの学生12人

相談実験 —— 同年度2年次平瀬ゼミの学生5人＋3人

〈実験実施日〉

非相談実験 —— 2005年1月12日(水)

相談実験 —— 2005年1月13日(木)

〈情報の与え方〉

被験者は実験のグループ内の構成員が誰か（最低限名前と顔が一致するという意味で）わかっている．さらに，誰からごみが来たかが被験者にわかるようにする．この情報の与え方は，不特定多数の主体同士のごみ処理でなく，お互いの顔がわかっているような小さなコミュニティ内でのごみ処理実験を想定している．

〈実験の手順〉

1. 報酬の支払い方式が告げられる.
2. 被験者は，アルファベットの書いてある紙を実験者から渡される．それにより4人の実験をするグループが決まる[4].
3. アルファベットによる被験者の認識番号と，トランプの模様は，ひとつのグループ内では一対一対応になっている．例えばグループABCDでは，Aがスペード，Bがクローバー，Cがハート，Dがダイヤである．他のグループも同様になっている.
4. 被験者はトランプを10枚渡される．それを自分の手元においても良いし，他人に渡しても良い，またそれは何枚でも良いと告げられる．意思決定をしたら，それを書いた紙とごみ10枚を実験者に渡す.
5. 実験者は紙に書いたとおりに区分けがされたごみ箱に入れていく．ひとつのグループからごみ箱にすべてカードを入れ終わったら，ごみ箱からカードを被験者に返していく.
6. 被験者は，カードの模様を見て，（自分も含め）誰からごみが来たかを知ることができる．それを結果カードに書き入れる．これで1回目のセッションが終了する.
7. 実験者はカードを回収し，再びカードの模様をそろえて，すべての被験者にごみを10枚ずつ配る.
8. 手順4から7を5回繰り返す．5回目に最終回であることが告げられる.
9. 実験結果に即した報酬が支払われる.

〈報酬デザイン〉

5回分の実験結果によって決まる．ごみ（トランプ）1枚を1点とし，1点をマイナス10円として計算し，そこに1000円を加える．簡単に考えると報酬の平均値は500円となる．100枚以上のごみをもらう者がでた場合にはマイナスの報酬にはせず，0円とする.

3.2 実験結果

非相談実験の結果と相談実験の結果を示す．相談実験の結果について述べる際に非相談実験との比較も述べる.

3. 2. 1　非相談実験の結果1 ―― 自分へのごみ出しの推移

図1から図3に，各グループにおける，被験者の自分へのごみ出しの推移に注目したグラフを示した．

図3−1

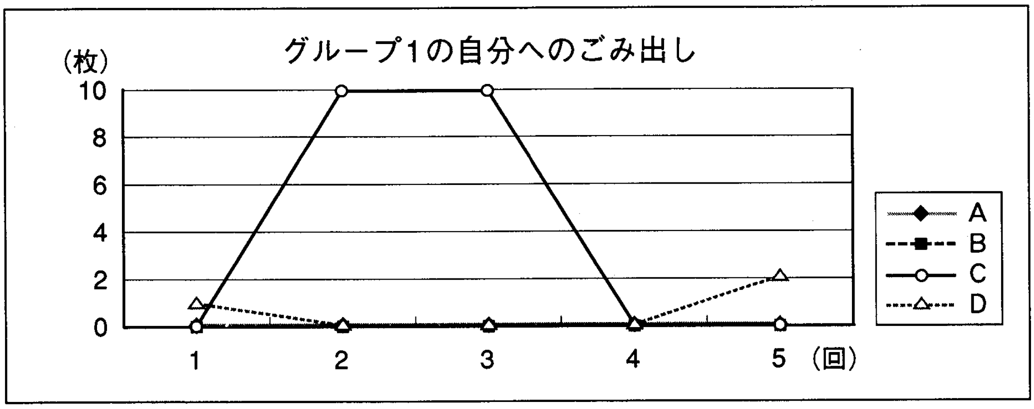


図3−2

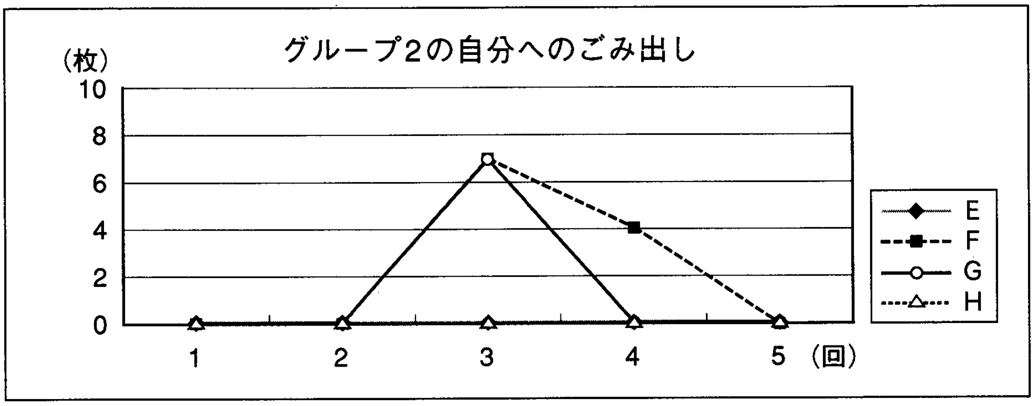
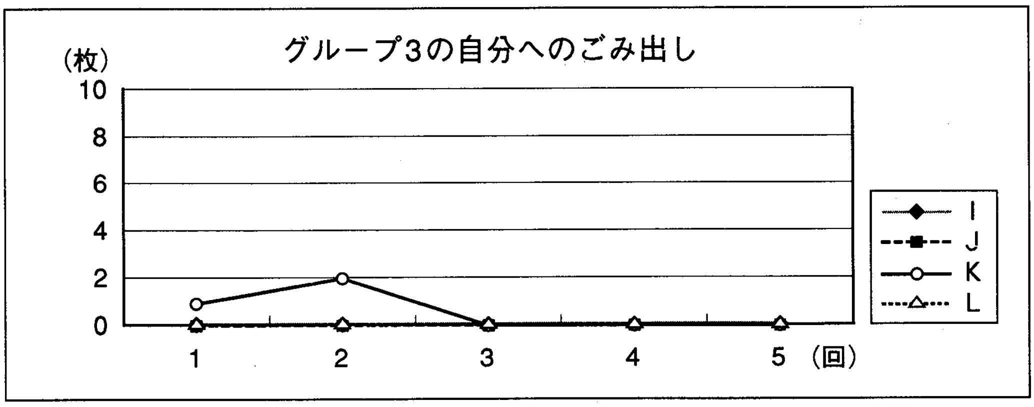


図3−3



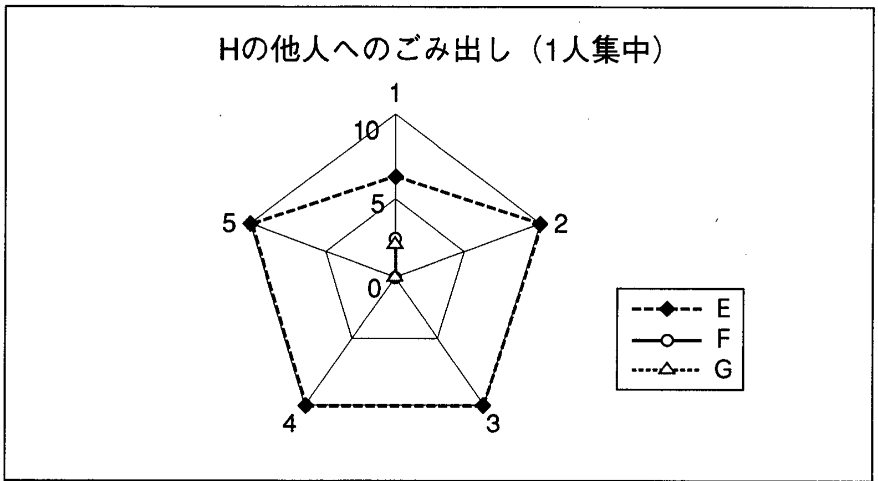
どのグループでも，４人中２人から３人が早くから自分へのごみ出しゼロを採択している．ただし，各グループにおいて１人から２人の被験者が自分へのごみ出しを途中で増やして，その後５回目に近づくにつれてごみ出しをゼロにしている．グループ１の４回目，グループ２の１回目と２回目と最終回，グループ３の３回目から５回目はナッシュ均衡が達成されている．すなわちすべての主体の自分に対するごみ出しはゼロである．グループ１のＤ以外は全員，５回目には自分へのごみ出しをゼロとしている[5)]．

3.2.2　非相談実験の結果2 ―― ごみを誰にどの程度出したかの分析

ここでは，各被験者が誰にごみを押しつけているのかに注目して分析する．レーダー図５角形の外側の１から５の数字は，右回りにセッションの１回目から５回目を意味する．レーダー軸上の数字は，ごみの枚数を示すための目盛である．図の形状により，12人のパターンは５パターンに分類した．

a）1人集中 ―― １人だけに集中してごみを出す傾向がある被験者で，F，H，Gの３人にみられた．F，G，Hは同じグループであり，GとHがEにごみを集中させている．

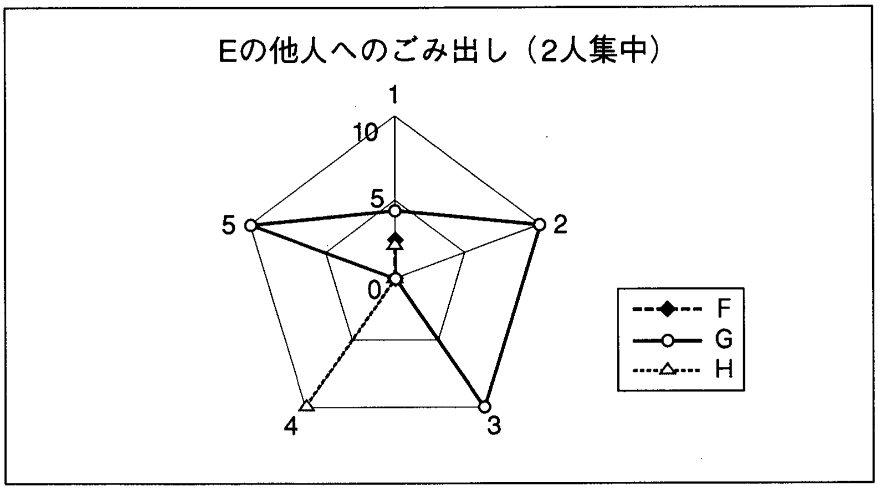
図3−4　非相談実験におけるHの他人へのごみ出し ―― 1人集中



b）２人集中 ―― ３人いる他人のうち２人に集中して10枚のごみを渡すもので，図2−5のような形状となる．被験者Eの動機はしっぺ返しである．同様に２人集中タイプで，動機がしっぺ返しであるものは，被験者B，E，Ｉにみられた．このタイプのごみ出しの理由はしっぺ返しだけでなく，被験者Jのように単純にランダムに誰かにごみ出しを集中させているものもある．何らかの理由でグループの誰かがランダムにごみを集中させはじめる

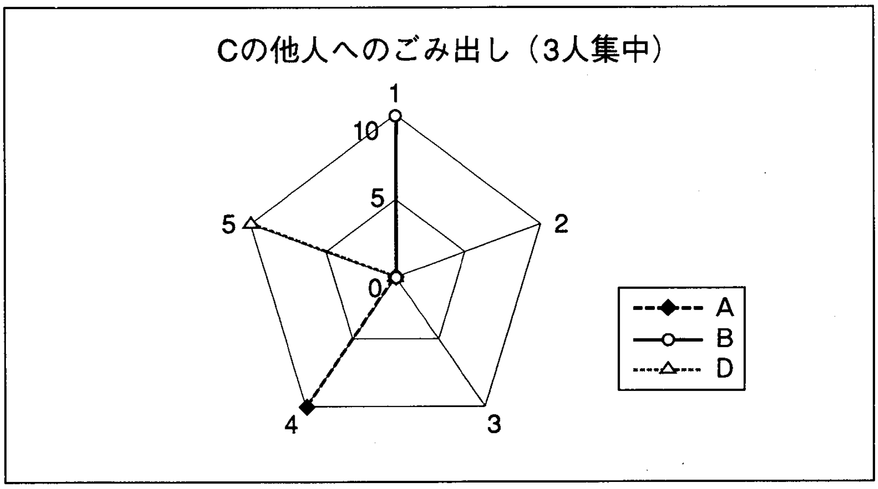
と，しっぺ返しが始まり，２人集中タイプの形状となることが観察される．

図3−5　非相談実験におけるEの他人へのごみ出し —— 2人集中



c）３人集中 —— 被験者Cのみにみられたもので，全員に１回ずつランダムに１人に10枚を集中させている．理由はしっぺ返しが１回と，前回の他人の自分へのごみ出しに依存しないランダムなものが２回である．

図3−6　非相談実験におけるCの他人へのごみ出し —— 3人集中



d）２人への分散化と集中 —— 被験者LはJとKの２人に対して，１回目と３回目にはごみ出しを分散させ，残りは集中させている．同様なパターンは被験者Kにも見られた．

e）３人への分散化と集中 —— ３人に対して分散化したゴミ出しをしたり集中させたり，複雑に変えているタイプである．被験者AとDにみられた．

図3−7　非相談実験におけるLの他人へのごみ出し —— 2人への分散化と集中

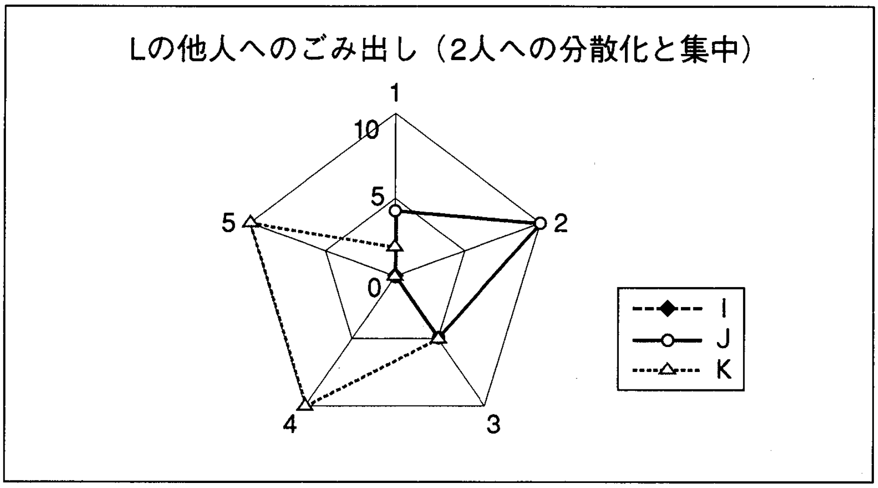
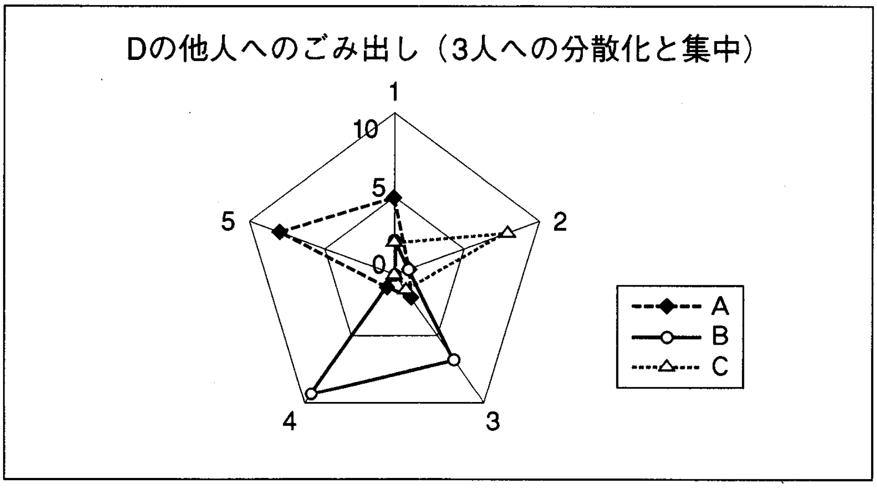


図3−8　非相談実験のDの他人へのごみ出し —— 3人への分散化と集中



3. 2. 3　非相談実験の結果 3 —— ごみ出しの具体的な性質

被験者が 1 期前の結果を受けてどのように他人へのごみ出しを決めているのかに注目して分析する．2 つのタイプのしっぺ返しが見られた．ひとつは，ゼロのごみ出しを受けてゼロを返すというタイプ（以下，ゼロ返しと呼ぶ）である．もうひとつは，大量のごみをもらって仕返しをする，普通のしっぺ返しである．これに対し，8～10枚の大量のごみを誰かに集中させるが，その相手に1期前に0～1枚しかもらっていないケースを，ランダム集中と呼んで，しっぺ返しと区別する．ゼロ返しと10−10というしっぺ返しを網掛けとアンダーラインで表示し，ランダム集中ごみ出しを網掛けで表示している．表3−1から表3−3 には代表的なごみ出しのパターンが顕著に観察される例を示す．

表3−1より，Aのごみ出しは，Bへのゼロ返しとCへのランダムなごみ出しに特徴づけられる．同様の特徴がみられたのが，GとHである．

表3−1　非相談実験におけるAの，B，C，Dへのごみ出し —— ランダム集中が多い

(回)	1期前の x_{BA} (枚)	x_{AB} (枚)	1期前の x_{CA} (枚)	x_{AC} (枚)	1期前の x_{DA} (枚)	x_{AD} (枚)
1		4		3		3
2	3	10	0	0	5	0
3	0	0	0	10	1	0
4	0	0	0	8	2	2
5	0	0	10	2	1	8

表3−2にはゼロ返しの多かったＩのごみ出しのパターンを示す．Ｉのごみ出しは，多数のゼロ返しが特徴的である．Ｉは初回にランダムにLにごみを集中させている．４回目に10−10のしっぺ返しを行っている．同様の特徴は，B，G，H，Kにみられ，４回のゼロ返しと1〜2回のしっぺ返しを含んでいる．

表3−2　非相談実験におけるIのJ，K，Lへのごみ出し —— ゼロ返しが多い

(回)	1期前の x_{JI} (枚)	x_{IJ} (枚)	1期前の x_{KI} (枚)	x_{IK} (枚)	1期前の x_{LI} (枚)	x_{IL} (枚)
1		0				10
2	0	0	3	9	4	1
3	0	0	3	10	0	0
4	0	0	10	10	0	0
5	1	2	10	4	0	4

表3−3には，しっぺ返しが最も多いEの他人へのごみ出しを示す．そこには４回もの10−10のしっぺ返しを含んでいる．同様な特徴は被験者Lにみられ，３回のしっぺ返しがみられる．

表3−3　非相談実験におけるEのF，G，Hへのごみ出し —— しっぺ返しが多い

(回)	1期前の x_{FE} (枚)	x_{EF} (枚)	1期前の x_{GE} (枚)	x_{EG} (枚)	1期前の x_{HE} (枚)	x_{EH} (枚)
1		3		4		3
2	10	0	10	[illegible]	6	0
3	3	0	10	[illegible]	10	0
4	1	0	3	0	10	[illegible]
5	2	0	10	[illegible]	10	0

3.3　相談実験の結果

相談実験の手順は，意思決定の前に顔をあわせ，ひとことふたこと話すというものである．実際には話し合いはほとんど行われなかった．しかしながら，その結果は非相談実験とまったく様相を異にするものであった．

3.3.1　相談実験の結果１―― 自分へのごみ出しの推移と均衡の有無

相談実験においては，ナッシュ均衡はグループ２の３回目と５回目においてのみ観察された．相談実験では非相談実験に比べて，自分へのごみ出しがゼロになるのが遅く，グループ1では最終回にも自分へのごみ出しがプラスのままである被験者が２人存在する．

図3−9

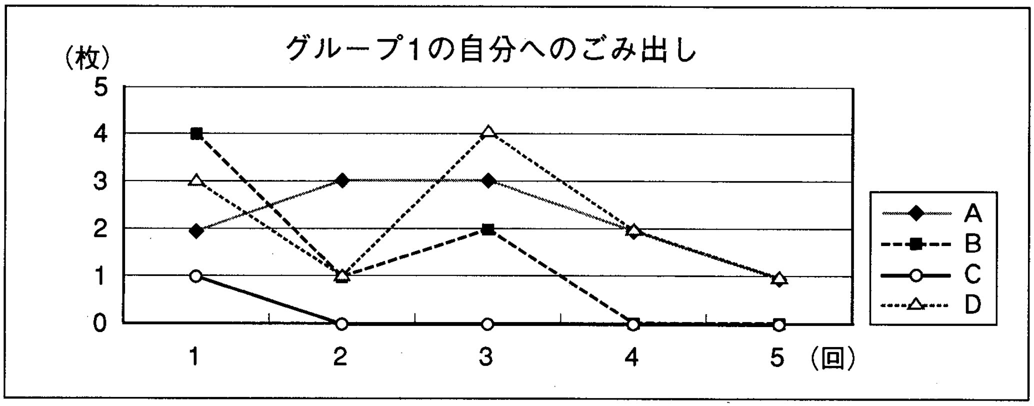
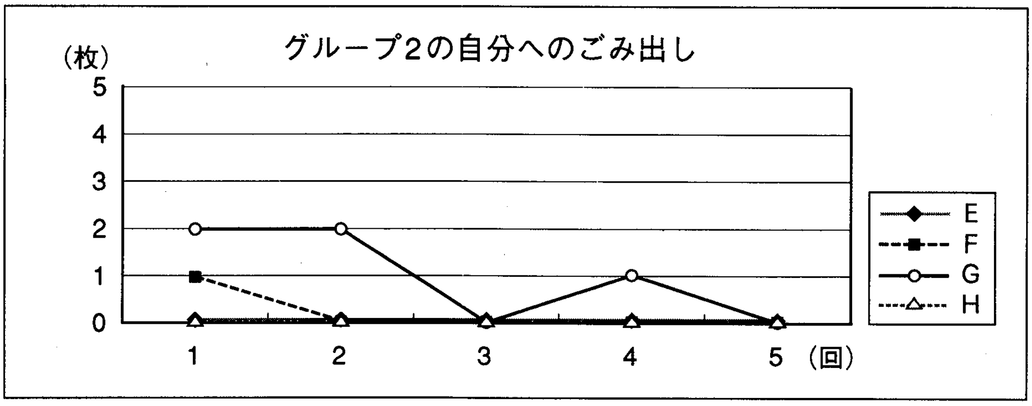


図3−10

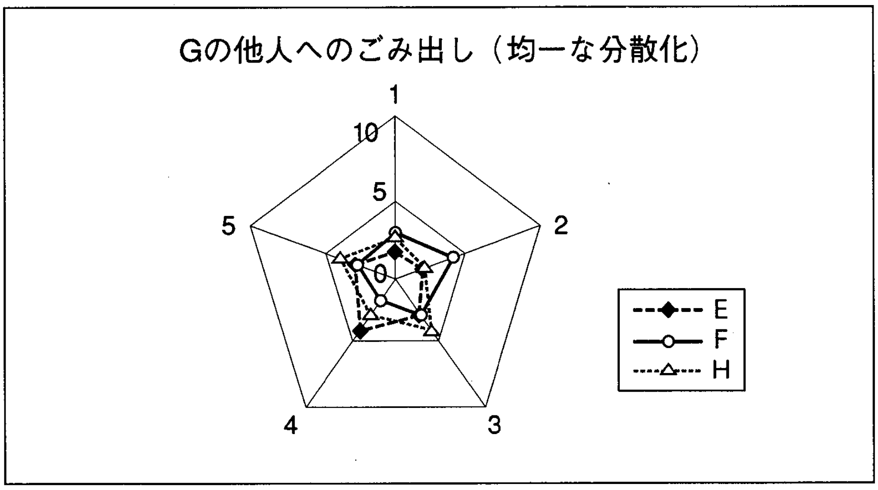


3.3.2　相談実験の結果２―― 誰にごみをどの程度出したかの分析

ここでは相談実験において，他人へのごみ出しがどのように変化していくかを，レーダー図を用いて分析する．

f) 均一な分散化 —— 5回にわたりどの対戦相手に対しても枚数を均一させて配るごみ出しである．このため，図3－11のレーダー内でE，F，Hへのごみ出し量が小さく重なり合っている．Gの他に被験者A，D，Gに典型的にみられる．このようなケースは非相談実験では観察されなかった．

図3－11　相談実験のGにおける他人へのごみ出し —— 均一な分散化



g) 分散化から集中 —— 3回目または4回目までは分散化したごみ出しをしているものの，最終回に近づくにつれてごみ出しの仕方に変化がみられ，誰か1人にやや多めにごみを集中させるか，完全にごみを集中させている．被験者B，C，Eにみられる．このタイプでは，最初は対戦相手へのごみ出しの図が真ん中で小さな重なりをもち，その後1箇所または2箇所張り出している．Cは緩やかに変化しているタイプであり，Eは比較的速やかに大きくごみ出しを変化させている．図3－13にみられるように，3回目までは比較的ごみを均一に渡しているが，4回目，5回目では，Hにごみをすべて集中させている．

h) 1人集中 —— 被験者Fは2回目から1人にごみを集中させている．非相談実験でも現れたパターンbと同じである．しっぺ返しを1回とランダム集中を4回含む．

i) ランダム集中から分散化 —— 3回目以降に分散が下がってくる．被験者Hにみられる．

相談実験では，誰かにごみ出しを集中させる傾向があらわれるのが遅かった．集中の程度も非相談のケースに比べると低い．意思決定前の相談内容が，実験における何らかの合意をうながすような内容でなかったことを考えると，興味深い結果となった．

図3−12　相談実験のCの他人へのごみ出し —— 分散化から集中へ1

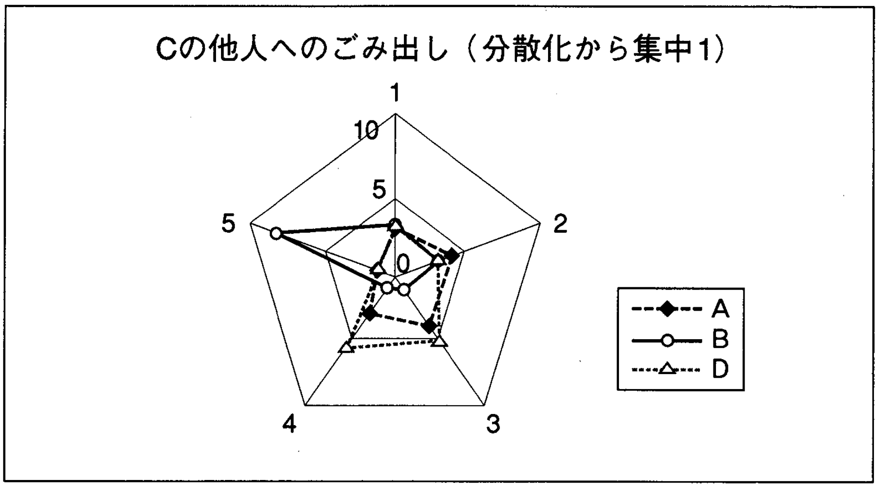


図3−13　相談実験のEにおける他人へのごみ出し —— 分散化から集中へ2

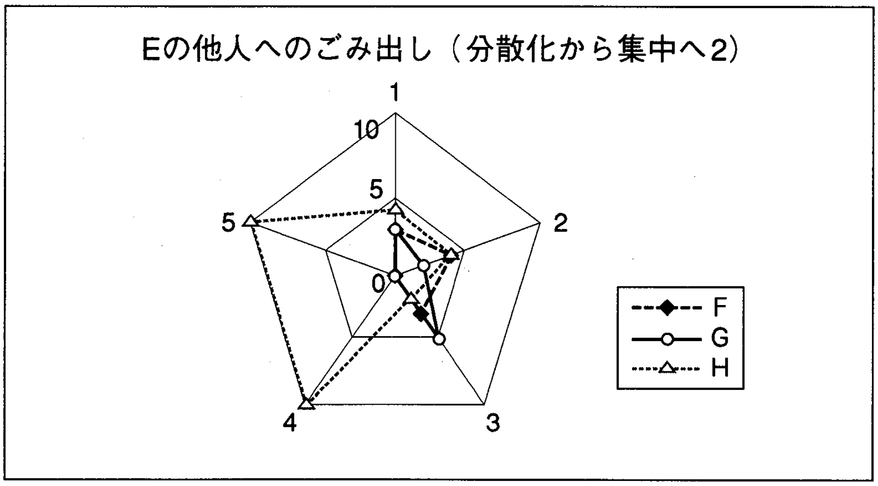


図3−14　相談実験におけるFの他人へのごみ出し —— 1人集中

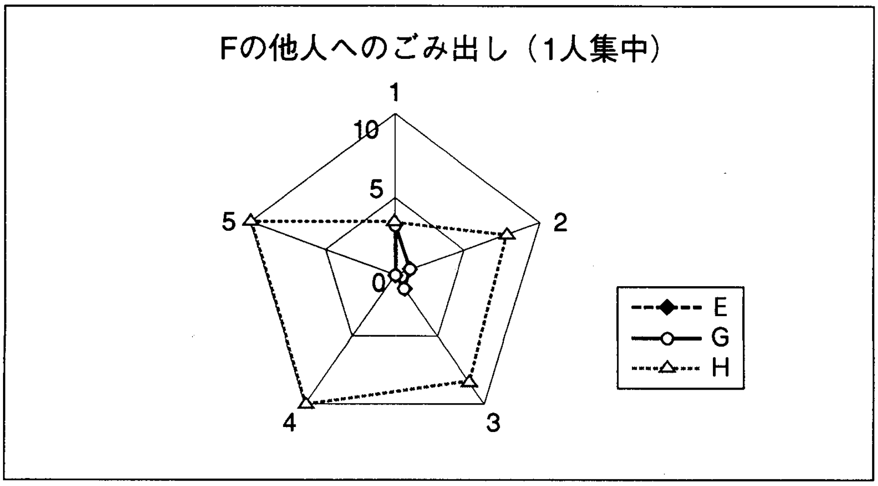
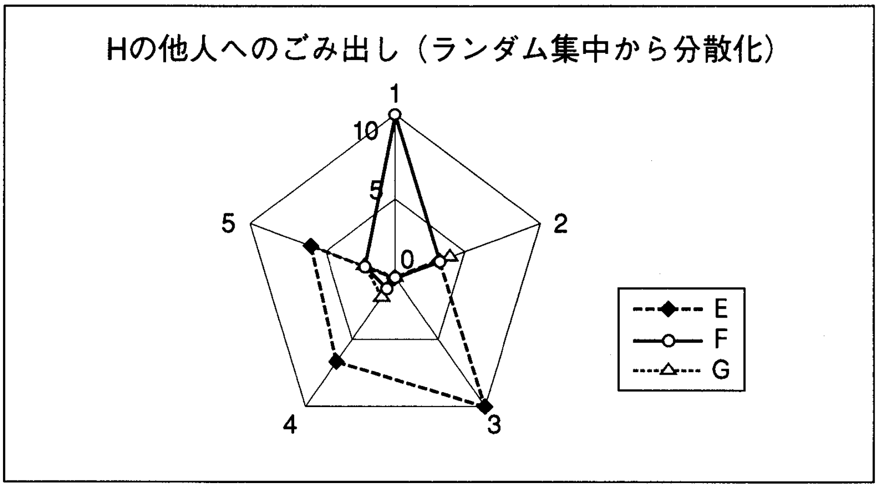


図3−15　相談実験におけるHの他人へのごみ出し —— ランダム集中から分散化



3.3.3　相談実験の結果３ —— ごみ出しの具体的な性質

被験者が１期前の実験結果を受けてどのようにごみ出しを決めているのかをみると，相談実験では，非相談実験で頻繁にみられた10-10のしっぺ返しによるごみ出しはほとんどみられなかった．

AからHまでの８人のうち，しっぺ返しを行ったのはFとEのみで，しかもそれぞれセッション５回中1〜2回のみである．

表3−4　相談実験におけるFのE, G, Hへのごみ出し —— 2回のランダム集中を含む

(回)	1期前の x_{EF} (枚)	x_{FE} (枚)	1期前の x_{GF} (枚)	x_{FG} (枚)	1期前の x_{HF} (枚)	x_{FH} (枚)
1		3		3		3
2	3	1	3	1	10	[illegible]
3	4	1	4	1	3	8
4	3	0	3	0	0	10
5	0	0	2	0	1	10

非相談実験では12人中７人においてみられたランダム集中ごみ出しも，相談実験では８人中３人であり，BとF，Ｉにそれぞれ１回ずつみられるにとどまった．表3−4 には，ランダム集中ごみ出しとしっぺ返しの両方がみられたFのごみ出しの特徴を示す．

相談実験で最も一般的なケースは，しっぺ返しではなく，前回受け取ったごみの枚数にあまり依存しない分散化したごみ出しであった．（表3−5）被験者A，C，G，Hにおいてみられた．

表3−5　相談実験におけるGのE，F，Hへのごみ出し —— 1期前のE，F，Hへのごみ出しに依存しない

(回)	1期前の x_{EG} (枚)	x_{GE} (枚)	1期前の x_{FG} (枚)	x_{GF} (枚)	1期前の x_{HG} (枚)	x_{GH} (枚)
1		2		3		3
2	3	2	3	4	0	2
3	2	3	1	3	4	4
4	5	4	1	2	0	3
5	0	3	0	3	2	4

表3−6には，Hのごみ出しの特徴を示した．Hは3回目と4回目にはFから8枚という数を続けてもらっているのに，まったくしっぺ返ししていない．前回のごみ出しに依存しないという相談実験の特徴を示している．

表3−6　相談実験におけるHのE，F，Gへのごみ出しの特徴 —— しっぺ返ししない

(回)	1期前の x_{EH} (枚)	x_{HE} (枚)	1期前の x_{FH} (枚)	x_{HF} (枚)	1期前の x_{GH} (枚)	x_{HG} (枚)
1		0		10		0
2	4	3	3	3	3	4
3	4	10	8	0	2	0
4	2	7	8	1	4	2
5	10	6	10	2	3	2

実験結果全体を概観すると，非相談実験では1回目は比較的分散してはじまるものの，そのあと急速に誰かにごみを集中させ，その後のしっぺ返しとまたその応酬が続くというパターンが多かった．しかし相談実験では，しっぺ返しをしないか，小さな数によるしっぺ返しにとどまり，分散化させるごみ出しをしながら最終回に向かうパターンが多数派を占めた．2つの実験が異なる結果をもたらした要因として，以下の可能性が考えられる．

① 相談実験では意思決定前に話し合うチャンスがあり，顔を合わせたときに誰かに集中させたりしないという暗黙の意志決定がなされた．

② 顔合わせにより，前の期に誰からごみが来たかという結果に固執しなくなるという意味で冷静になる機会を与えられた．

4．理論モデルと実験結果の対応

モデルの均衡概念に指示される戦略が実験において観察されるかどうかを調べた結果は以下のとおりである．

① 自分のごみを他人に毎回処理させるナッシュ均衡は，非相談実験においては相談実験よりも頻繁に観察された．

② Aのごみをすべてが処理し，Bのごみをすべてが処理し，Cのごみをがすべて処理し，Dのごみをがすべて処理するという形の強均衡は観察されなかった．

③ すべてのごみを各自が自分で処理するという形のコアも観察されなかった．むしろ，はじめは自分のごみを少し自分の手元に残しているが，徐々に他人に多くごみを出す傾向がみられた．

①について，非相談実験では，ナッシュ均衡を，セッション数のべ15回中７回と半数程度観察することができた．相談実験では，ナッシュ均衡が観察された回は，セッション数のべ10回中２回と少ない．

③について，実験において自分が処理したときには失う得点を小さくするなど，利得構造に変化をつけなければ自分でのごみ処理への動きはみられないのでないかと考えられる．

上に述べたような強均衡やコアが観察されるように，情報の与え方や対戦相手の与え方などの条件を変えた実験を行いたいと考えている．これについて第６章において詳述する．

5．インプリケーション

この実験では誰が自分に対してごみを捨てたのかがわかっているため，グループ内の１人がごみを他人にまとめて押しつけようとすると，しっぺ返しを通じてその動きが急速に広がった．この結果は，現実の世界でのごみ出しについて，誰かがルールを守っていないことがわかると，自分もルールを守ることをやめるという不法投棄のような行為に通じることであると解釈できる．

相談実験と非相談実験における結果が異なる様相を示したことからも，ひとつの示唆を

得ることができる．構成員同士がコミュニケーションを取れば，ごみ処理についての話し合いをしなくても，誰か1人にごみを集中させるようなことがおきない素地を作ることを示唆している．このことから，ごみの押しつけ合いやルール違反をなくすには，広報活動により教育をしようとするよりも，コミュニティの構成員が全員集まる機会を作ることが有効であると予想される．さらにコミュニティ内での話し合いを行い，ごみ出しのルールを作ったり罰則を決めたりすれば効果が高まると考えられる．

6. 今後の課題

今後は以下の条件での実験を考えている．

① 毎回実験の構成員を変える実験 —— 理論モデルに即した実験は，1回ずつ独立したものであるが，今回の実験は5回連続していたため，被験者にとっては有限繰り返しゲームになっていた．繰り返しを意識させないように，構成員を毎回ランダムに割り当て直す，または被験者1人に対してコンピューターのエージェントを用いた実験する．

② 誰が実験の構成員であるかわからない方法での実験 —— 今回の実験では，小さなコミュニティ内のごみ処理問題を想定し，実験のグループ構成員は誰が相手なのかがわかる状態で実験を行った．コミュニティが小さくとも誰が構成員であるかわからないケースではどのようなことが起きるかを観察する．

③ 誰からごみが来たかわからない実験 —— 今回の実験では，誰が自分にごみを出したかがわかったため，多くのしっぺ返しがみられた．誰がごみを自分に渡したかについての情報が，今回の実験結果を決定づける重要な要素であった可能性は否めないため，この情報を制限して実験し，比較する必要がある．

④ 人数を増やす実験 —— 今回の実験は少ない人数での実験だったので，コミュニティが大きくなった状況を想定し実験をする．

⑤ 実験回数を増やすか，いつ実験が終わるかわからない連続した実験 —— 無限繰り返しゲームの均衡概念との比較をすることが可能になる．

⑥ 利得を変化させた実験 —— ナッシュ均衡以外の均衡が観察されるような利得構造に関心があるので，利得を変化させた実験を試みたい．

注

1) 容器包装をなくすことにより，どの程度節約できるかを試算してみる．環境省「環境白書」平成16年度版によると，ごみ排出量のうち容器包装ごみが24％を占めている．ごみ処理事業経費は年間１人当たり20,500円となっている．容器を完全に排除することは現実的ではないが，単純計算すると容器包装の排除で年間１人当たり4920円を節約できることになる．

2) この定理の証明はHirai et al.（2004）に基づいている．

3) 和田ゼミでの実験では，相談できない状況を作った．被験者は遠い席に離され，意思決定の時に話し合いができないよう，柵が作られている．平瀬ゼミの実験では，相談可能な状況を考える．実験の各セッション前に被験者同士が話し合いをすることは可能だが，意思決定時は，話し合わないよう告げられている．

4) この手順は匿名性のためではなく，本実験前に１度だけ行うテスト実験の結果を引きずらないようにするための措置である．

5) グループ１のDのみが，５回目に自分への正のごみ出しをしている．Dはもらったごみの４回目までの累計が9枚と非常に小さかったことから，最終回であるにもかかわらず，ごみを自分に出す気持ちになったものと推測できる．

参考　実験のインストラクションとごみ出しシート

2005/01/

学籍番号　　　　　　　　　名前

実験中の呼び名（金色のカードのアルファベットです）

1．カードはごみを意味します。1枚がマイナス10点です。
2．実験は4人で行います。
3．ごみのカードを自分で処理する用に手元に残すか、他人に押しつけて処理させます。自分も含めて誰に何枚ごみを処理させるのかを決めて、ごみ出しシートに枚数を書き入れます。
4．実験は全員がごみを出し終わったら終わりです。先生から自分のところに残ったごみを渡されます。自分の出したごみを除いて、誰から何枚ごみが来たか、結果を書いてください。それが他の人の自分へのごみ出しです。次の実験の参考にします。
5．実験は5回あることを考えて、5回の実験後に自分のごみの合計が最小になるように考えてごみ出しを決めてください。
6．毎回のごみの合計にマイナス10円をかけて、それに1000円を足した分が実験の報酬です。
7．報酬は実験後、本日現金で支払われます。
8．実験中は、実験者（先生）に許可されない間は口を利かないこと。口を利いたら報酬は支払われません。

テスト実験

ごみ出しシート

私に○をつけ，他の人は記号の下に呼び名を書き入れる	スペード ♠	クローバー ♣	ハート ♥	ダイヤ ♦
テスト回のごみ出し（ごみの枚数）				

結果シート　　　　　　　　　　　　↓○をつけ，呼び名も書き入れる

自分の記号は ♠ ♣ ♥ ♦	実験後にもらった自分のごみの枚数(A)	自分で手元に残した枚数(B)（自分へのごみ出しシートをみて書く）	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名 からきたごみの枚数（C)	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名 からきたごみの枚数（D)	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名 からきたごみの枚数（C)
テスト回の実験結果					

2005/01/

学籍番号　　　　　　　　　　　　　名前

実験中の呼び名（アルファベット）

ごみ出しシート（3人の場合、ダイヤの人はいませんから、斜め線で消してください。）

私に○をつけ，他の人は記号の下に呼び名を書き入れる	スペード♠	クローバー♣	ハート♥	ダイヤ♦
第1回				
第2回				
第3回				
第4回				
第5回				

結果シート　　　　　　　　　　　　↓○をつけ，呼び名も書き入れる

自分の記号は ♠ ♣ ♥ ♦ ○をつけること	実験後にもらった自分のごみの枚数(ア)	自分で手元に残した枚数(イ)（自分へのごみ出しシートをみて書く）	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名　からきたごみの枚数（ウ）	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名　からきたごみの枚数（エ）	♠ ♣ ♥ ♦ 呼び名　からきたごみの枚数（オ）
第1回					
第2回					
第3回					
第4回					
第5回					
合計	(カ)				
キ＝カ×－10					
ク＝1000＋キ					

参考文献

Aumann, R. J., B. Peleg, (1960) "Von Neumann-Morgenstern solutions to cooperative games without side payments," *Bulletin of the American Mathematical Society.* **66**, 173-177.

Hirai, T., T.Masuzawa, M. Nakayama, (2004) "Credible Deviations and Retaliations in a Class of Strategic Games," *KUMQRP Discussion Paper Series DP2004-012,* 1-12.

Nakayama, M., (1998) "Self-Binding Coalitions," *Keio Economic Studies.* **35**, 1-8.

Scarf, H., (1967) "The core of an n-person game," *Econometrica.* **35**, 50-69.

Scarf, H., (1971) "On the Existence of a Cooperative Solution for a General Class of N-Person Games," *Journal of Economic Theory.* **3**, 169-181.

Shapley, L. S., M. Shubik, (1969) "On the Core of an Economic System with Externalities," *American Economic Review.* **59**, 678-684.

環境省「環境白書」平成16年版.