

非協力行動の観察可能性による 社会的ジレンマの解消について

西原 宏

On the Resolution of Social Dilemmas Based on the
Observation of Non-cooperative Actions

Ko Nishihara

1. 序

社会的ジレンマとは、人々が私的利益を追求することにより社会的に望ましくない結果が生じる状況である。その例は、環境汚染、環境破壊、資源の枯渇、交通問題、フリーライダー問題などに数多く見られる。社会的ジレンマが生じる原因は人々の利得構造にあると考えられており、本研究ではそれをジレンマ的利得構造と呼ぶ。これはよく知られる囚人のジレンマの利得構造を多人数の場合に拡張したものである。

ジレンマ的利得構造において、人々は社会的に望ましくない行動を採る動機を持つが、この利得構造のもとであっても何らかの追加的要素の働きによってその動機が弱められ、人々が社会的に望ましい行動を採る場合がある。これを社会的ジレンマの解消と呼ぶ。例えば、ゲームが何度も繰り返されるときには、社会的に望ましい行動が均衡行動となることがよく知られている。

本研究では、人々がジレンマ的利得構造をもつ状況の中には、社会的に望ま

しい行動が人々によって観察不可能で社会的に望ましくない行動が観察可能であるものがあることに注目する。そして、この観察可能性によって社会的ジレンマが解消する可能性を検討する。

次節では、本研究の目的を述べる。第3節から第5節では3つの観点からの分析について概説し、最終節をまとめと今後の課題にあてる。

2. 本研究の目的

人々が協力行動と非協力行動のどちらかを選ぶことができ、全員で協力行動を採ることが社会的に望ましいにもかかわらず、全員が非協力行動を採ってしまう状況が社会的ジレンマの状況である。

社会的ジレンマが起こる理由は、人々の効用関数が、他の人々がどのような行動の選択をしようと協力行動を採るよりも非協力行動を採る方が効用は高くなるという構造をもつからであるとされている。これをジレンマ的利得構造と呼ぶ。ジレンマ的利得構造をもつ効用関数のもとでは、人々が標準形ゲームとして行動選択を行うとき、非協力行動が支配戦略となる。そのために社会的ジレンマが生じると考えられている。

この説明において、標準形ゲームであるために、人々が同時手番で行動選択を行うと仮定されることに注意すべきである。しかし、社会において人々が行動選択を行うとき、室内ゲームのようにそれを取り仕切る者はいないので、選択は相前後して行われるはずである。したがって、文字通りの意味で同時手番となることはなく、同時手番であることは互いに他者の選択を知ることなく行動選択を行うことを意味すると考えるべきである。ところが人々が行動を選択するとき、行動それ自体や行動の痕跡を見ることによって、他者がその行動の選択を知ることができる場合は少なくない。そのような場合には、同時手番の仮定は成り立たず、非協力行動は必ずしも支配戦略とはならない。

本研究では、人々がジレンマ的利得構造のもとで行動の選択を行う際に、協

力行動は互いに観察不可能であるが非協力行動は観察可能である場合を考える。このような状況の具体的な事例としては、以下のものがある。

アフリカでは、これまで牛が飼われていた放牧地に利益率の高いヤギを放牧することによって放牧地が荒廃する事態が生じている。皆が牛を飼っているときそこに仔牛を追加してもそれは目立たない行為だが、誰かが仔ヤギを放牧すればそれは周囲の注意を引く行為となる。別の例としてはコモンズにおける資源の採集がある。日本には、薪炭材として落ちた枝は採集しても良いが、生えている枝は切ってはならないという不文律のある里山がある。ここでは、落ちている枝を拾ったときは、その行為は後からそこに来た人に分からないが、生えている枝を切ればその痕跡によって分かってしまう。同じようにある種の資源を保全するために伐採による収穫を禁止する不文律があるコモンズは、世界各地に存在する。また、人々がゴミを処分する場合、ゴミを適正に処理する協力行動は周囲から観察されないが、投棄するという非協力行動を採ったことは他者に観察される。

これらの事例では、人々が他者の非協力行動について情報を得られるため、状況を同時手番と見なすことはできない。そのため人々がジレンマの利得構造を持つとしても、非協力行動をとることが合理的行動とはならず、皆が協力行動を採る均衡が存在するかもしれない。この点を検討することが本研究の目的である。

非協力行動の観察可能性として本研究では、(i) 自分の前に何人が非協力行動を採ったかを各人が分かる状況、(ii) 自分の前に非協力行動を採った者がいるか否かを各人が分かる状況、の2つを考える。前者を非協力行動の採られた数が観察される情報構造と呼び、後者を非協力行動の有無が観察される情報構造と呼ぶ。前者の例としては、上述の仔ヤギの放牧がそれにあたる。それは貧しい農家の場合、1つの家では限られた数の仔ヤギしか購入できないからである。また、後者の例としては、上述した里山の例がそれに相当する。それはたつ

た1人でも数多くの枝を切ってしまうからである。非協力行動の観察可能な状況は、不確実性を伴う状況を含めて様々なものが考えられるが、本研究では、代表的なものとしてこれら2つの情報構造を考える。

上述の問題を分析するために次のような展開形ゲームを考える。まず、「自然」が等確率でランダムにプレイヤーの手番の順序を決定し、プレイヤーは「自然」の選んだ順序に従って、上述の2つの情報構造のいずれかのもとで協力行動か非協力行動の選択を行う。全てのプレイヤーが選択を行った後、ジレンマ的利得構造をもつ利得関数によって各プレイヤーに利得が与えられる。ここで、非協力行動の数が観察される情報構造が仮定される場合、このゲームを非協力行動の採られた数が観察されるジレンマゲームと呼ぶ。非協力行動の有無が観察される情報構造が仮定される場には、非協力行動の有無が観察されるジレンマゲームと呼ぶ。

これらの2つのゲームについて本研究では、ナッシュ均衡とその安定性、情報構造の有効性、進化的安定性の3つの観点から分析を行う。

3. ナッシュ均衡とその安定性

第1の分析は、ナッシュ均衡の存在と安定性に関する分析である。

非協力行動の数が観察されるジレンマゲームと非協力の有無が観察されるジレンマゲームにおいて、自分の前に誰も非協力行動を採らなければ協力行動を採り、そうでなければ非協力行動を採る戦略を考える。これを非協力対応戦略と呼ぶ。

どちらの情報構造のゲームにおいても、全員が非協力対応戦略を採る戦略の組は、利得関数が一定の不等式条件を満たすときナッシュ均衡となる。全員が非協力対応戦略を採るとき、誰も自分からは非協力行動を採らないので、プレイヤー全員が協力行動を採ることになる。このナッシュ均衡は、プレイヤー全員による協力が達成される均衡である。

このナッシュ均衡が成立する論理は、無限回繰返しゲームでトリガー戦略によって協力が達成される論理に似ている。他のプレイヤーが非協力対応戦略を採っているときの1人のプレイヤーについて考える。彼は、手番において自分の前に非協力行動を採ったプレイヤーがいないことを知る。彼が協力行動を採れば全員による協力が実現する。もし彼が非協力行動を採れば、彼の後に手番をもつプレイヤーは非協力行動を採る。そのとき何人が非協力行動を採るかは彼が何番目の手番のプレイヤーであるかによって決まるが、それは最初の手番である場合から最後の手番である場合まで、すべて等しい確率である。よって、それによる期待利得が全員で協力行動を採るときの利得を超えなければ協力行動を採ることが最適な選択となる。これが均衡条件となり、それが全員について成り立つとき非協力対応戦略の組がナッシュ均衡となる。

ここで分析している2つのゲームでは無限回繰返しゲームと異なり、ゲーム自体が最後の手番が終了したところで終了する点に注意すべきである。ナッシュ均衡の自然な解釈として、ゲームが何度も繰り返されるときに長い間に収斂する定常的な行動様式というものがある。無限回繰返しゲームにおけるトリガー戦略の組については、この解釈は困難であるが、上のゲームにおいてはこの解釈が無理なくできる。

ここで検討している2つのゲームには、上述の均衡とは別にプレイヤー全員が非協力行動を採るナッシュ均衡も存在する。それはいかなる場合も非協力行動をとるという完全非協力戦略を全員が採る均衡である。また、これらの中間的なものとして一部のプレイヤーが協力行動を採るナッシュ均衡がどちらのゲームにも存在する。非協力行動の有無が観察されるジレンマゲームでは、非協力対応戦略と完全非協力戦略の組み合わせが、利得関数についての一定の条件のもとでナッシュ均衡となる。非協力の数が観察されるジレンマゲームにおいて、自分の前に非協力行動を採った人数が k 人以下であれば協力行動をそうでなければ非協力行動を採るという戦略を考える。これを k 人非協力容認戦略

と呼ぶ。プレイヤー全員が k 人非協力容認戦略を採る状況は、利得関数が一定の条件を満たすときナッシュ均衡となる。これは、始めの k 人が非協力行動を採りその後のプレイヤーが全員協力行動を採るナッシュ均衡である。

ナッシュ均衡には、精緻化理論 (refinement theory) という理論体系がある。これは、安定性についての追加的條件を付け加えることにより、より安定性の高いナッシュ均衡を選び出そうというものである。追加的條件の強さによって、様々な安定性のレベルの均衡概念が提案されている。

均衡の安定性に関しては以下のような結果が得られる。全員が完全非協力行動を採るナッシュ均衡は、厳密なナッシュ均衡であり高い安定性をもつ。一方、全員が非協力対応戦略を採るナッシュ均衡は、逐次均衡であるが一般には完全均衡ではない。しかし、ナッシュ均衡となる場合のほとんどすべての利得関数において強完全均衡である。

以上の分析の結果は、非協力行動の観察可能性によって社会的ジレンマは解消する可能性があることを意味している。事例として挙げた仔ヤギの放牧による牧草地の荒廢の例では、社会的ジレンマが生じていることになるが、それはナッシュ均衡の1つが実現している状況である可能性がある。もしそうであれば、非協力行動の採られる理由が支配戦略である場合ほど強固ではないので、何らかの方法で均衡を変更できれば協力が実現する可能性がある。コモンズにおける資源の保全は、非協力行動の観察可能性によってうまく協力が実現した場合であると考えられるかもしれない。これについては、どのような歴史的経緯を経てその均衡が実現したかを検証することは興味深く、その分析は、資源の保全に失敗している状況の問題解決のために有益な示唆を与えるかもしれない。

4. 情報構造の有効性

第2の分析は協力行動の実現に対する情報構造の有効性の検討である。この

分析では、上述の2つの情報構造以外の情報構造にも目を向け、それらを含めて均衡において協力の実現に対して有効性の高い情報構造は何かを検討する。より詳しく言えば、以下のような問題を考える。

前節の分析によって、非協力行動の採られた数が観察される情報構造と非協力行動の有無の観察される情報構造においては、全員が協力行動を採るナッシュ均衡が存在することが示された。ただし、そのためには利得関数が一定の条件を満たさなければならなかった。上述の展開形ゲームの構造にはこれら以外の情報構造も考えることができ、その中のあるものにおいては、何らかの戦略的相互関係によってより弱い利得関数の条件のもとでプレイヤーが協力行動を採るナッシュ均衡が存在するかもしれない。その場合は、その情報構造は上述の2つよりも協力行動の実現に対してより高い有効性をもつということができる。このような意味において、協力行動の実現に対する有効性によって上述の2つの情報構造を一般の情報構造の中で位置づけることがこの分析の目的である。

まず、プレイヤー全員による協力の実現に対して情報構造の有効性を検討する。所与の利得関数について次の事柄が成り立つ。何らかの情報構造のもとでプレイヤー全員が協力行動を採るナッシュ均衡が存在するならば、その利得関数において、非協力行動の採られた数が観察される情報構造と非協力行動の有無が観察される情報構造のもとで、非協力対応戦略の組がナッシュ均衡となる。これにより、プレイヤー全員による協力の実現に対して、これら2つ情報構造はあらゆる情報構造の中で最も有効性の高い情報構造となる。

次に、一部のプレイヤーによる協力の実現も含めて情報構造の有効性を検討する。この場合は一般的な分析は困難であることから、情報構造と戦略の組に対称性を定義し、対称な情報構造の中で、対称なナッシュ均衡で達成できる協力に対して情報構造の有効性を検討する。ここで、情報構造が対称であるとは、全てのプレイヤーが他者の行動について同様の情報を得る状況であり、戦略の

組が対称であるとは、対称な情報構造のもとで全てのプレイヤーが同様の情報においては同様の行動を選択する状況である。分析の結果、任意の人数のプレイヤーの協力に対して、非協力的行動の採られた数が観察される情報構造は、最も有効性が高いことが示される。

これらの結果は、本研究で注目した2つの情報構造が、理論的に考えられるあらゆる情報構造との比較において、協力の実現に対してとりわけ有効性の高い優れたものであることを意味している。

5. 進化的安定性

第3の分析は、進化的安定性の観点からの社会的ジレンマの解消可能性の検討である。現実の人々は、多くの場合近視眼的であり、また、たとえ現在の行動様式が最適でないと分かっていても行動様式の変更は徐々にしか行わないことが多い。このような限定合理性とさらに社会の成員の入れ替わりを考慮したダイナミクスのもとで、社会的ジレンマの解消の可能性を検討することがこの分析の目的である。

分析の枠組みとしては、Kandori, Mailath and Rob (*Econometrica* 1993) による確率的進化ゲームを非協力的行動の有無が観察されるジレンマゲームに適用したモデルを用いる。それは次のようなモデルである。多くのプレイヤーからなる母集団を考え、彼らがランダムにマッチングして非協力的行動の有無が観察されるジレンマゲームをプレイするとする。このゲームでは各プレイヤーが4つの戦略をもつ。非協力対応戦略と完全非協力戦略については上述した。さらに常に協力的行動を採る戦略を完全協力戦略と呼ぶ。4つの戦略を何人のプレイヤーが採るかを表したものを状態と呼ぶ。各状態において各プレイヤーは、どの戦略を何人のプレイヤーが採っているか分かるとする。ただし、非協力対応戦略と完全協力戦略のみが採られるときは、これらの戦略の上の人数の分布は分からないとする。各プレイヤーは、所与の状態ですべて最適反応を採っていない場合、

一定の確率で最適反応に戦略を変更するとする。この最適反応による推移において互に行き来する状態の集合を極限集合と呼ぶ。また、プレイヤーはミューテーションとして一定の確率で母集団から出て新しいプレイヤーと入れ替わるとする。新しくこの母集団に入って来たプレイヤーは、あらゆる戦略を所与の確率で採るとする。以上の設定のもとで状態の推移はマルコフチェーンとなり、定常分布をもつ。ミューテーションの確率をゼロに収束させたときに定常分布において正の確率のおかれる極限集合を長期均衡と呼ぶ。長期均衡に入る状態を進化的に安定な状態とする。

分析の結果、全員が同一の利得関数を持つ場合、全員が完全非協力戦略を採る状態のみが進化的に安定な状態となることが示される。つまりこの場合は、進化的に安定であるのは社会的ジレンマの状態のみである。全員が非協力対応戦略を採る場合の社会的ジレンマが解消される状態は、次のような理由によって進化的に安定な状態にならない。いま、非協力対応戦略を採るプレイヤーばかりの状態になったとしよう。このときミューテーションによって完全協力戦略を採るプレイヤーが次第に増えていく。それが続くといずれ完全非協力戦略を採るプレイヤーがミューテーションによって生じたとき、非協力行動に反応する者が少ないことを全員が知る。その結果、全員の最適反応が完全非協力戦略となる。こうして、プレイヤー全員が非協力対応戦略を採る状態は、いずれ全員が完全非協力戦略を採る状態に推移してしまう。

上の分析から、全員が同一の利得関数を持つ場合には協力が維持できないことがわかった。そこで、プレイヤーには利得関数の異なる2つのタイプがあって、1つのタイプのプレイヤーは非協力対応戦略を採りもう1つのタイプのプレイヤーは完全非協力戦略を採る状態を考える。このとき全員が最適反応となる選択をしているとしよう。この状態ではわずかではあっても常に一定の人数のプレイヤーが非協力行動をとるので、上述のように完全協力戦略のプレイヤーがミューテーションによって生じても彼の選択は最適反応でないのですぐに戦略

を変更してしまう。分析の結果、一定の条件のもとでは、この状態が唯一の進化的に安定な状態となることが示される。

以上の結果は、進化的に安定な状態で協力が維持されるためには、非協力行動の発生を抑え込むために非協力行動に反応する行動様式が採られつづける必要がある、そのためには、非協力行動を常にとるようなプレイヤーがわずかでも存在し続けることが必要であることを示している。

6. まとめと今後の課題

本研究では、プレイヤー間で協力行動が互いに観察されず非協力行動が観察される状況について社会的ジレンマの解消の可能性を検討した。分析の結果、ジレンマ的利得関数のもとであっても一定の条件が満たされれば、全員または一部のプレイヤーによる協力がナッシュ均衡によって実現することがわかった。

この研究の結果をすぐに現実に生じている社会問題の解決に結びつけるのは性急であろう。しかし、これによって、実際に社会的ジレンマが回避されている状況の理解の仕方として情報の観点が付け加えられたとすることはできるであろう。

協力・非協力行動の観察のされ方としては、本研究で考察したもの以外にも様々な情報構造が考えられる。その1つは、これらの行動が確率的に観察されるというものである。これについては、2人ゲームの場合に一定の条件のもとで非協力対応戦略の組がナッシュ均衡となることが示すことができる。この結果の多人数への拡張は今後の課題である。

モデルの拡張としては、人々が協力行動か非協力行動かを定める時点を一定の時間間隔の中で自分の意志で選ぶというのが考えられる。これについては、2人ゲームの場合に特定の効用関数のもとで、各プレイヤーが一様分布に従って行動決定の時点を選び、その後非協力対応戦略を採るという状況がナッシュ

均衡となることを示すことができる。これは、「自然」によって決められるとした手番の順序が内生化するを意味している。この結果の一般化も今後の課題である。

人々が互いの行動をどのように観察できるかは、各人の観察の範囲や不確実性の存在を考慮すると多様であり、本研究で取り上げた情報構造はその一部である。それらの情報構造が社会的ジレンマの解消にどのように働くかを明らかにする研究の第一歩として本研究を位置づける。