

グローバル COE プログラム「アジア地域統合研究試論」 金曜セミナー 第 8 回

2008 年 2 月 1 日 5 限 (午後 4 時 20 分～5 時 50 分)
早稲田大学 19 号館 609 号室

赤尾健一 (大学院社会科学部研究科教授)

「貿易と環境持続可能性：ダイナミック・ゲームと環境経済学」

赤尾

社会科学部の赤尾と申します。今日は「ダイナミック・ゲームと環境経済学」というタイトルでセミナーを開かせて頂きます。このセミナーは GIARI の活動の一環として行われているもので、私もそのメンバーで、複合領域の「貿易と環境持続可能性」という研究プロジェクトをやっています。とはいえ、私も私がやっているのは限られたことでして、抽象的な研究がほとんどです。今日の話も、「アジアの地域統合」というこのプロジェクトの具体的なトピックと関わる話題ではなくて、もっと抽象的なことについて、いわゆる「ダイナミック・ゲーム」といわれるものと、環境経済学の関係についてお話ししたいというふうに思っています。GIARI との関係でいえば、地域統合というのは、各地域のそれぞれ独立し自らの利益を追求しようとしている主体が、制度その他の統一や調整に合意することだと、抽象的なレベルでは考えることができますと思います。そして、経済理論的には、そのような合意は、非協力ゲームの均衡として考察分析できると考えられます。そこで今日は、非協力ゲームの一分野として、ダイナミック・ゲームについて紹介します。なお、このセミナーの最後に、みなさんに質問をする予定にしておりますので、記入用のリアクション・ペーパーを 1 枚ずつとって下さい。

今日の話の基本的なテーマは、「共有地の悲劇」に関する話です。「共有地の悲劇」という言葉を聞かれたことがある方もおられると思うんですが、「The tragedy of the commons」ということで、Hardin という生態学者で、ちょっと哲学かぶれしたおじさんが、1968 年に「Science」という有名な自然科学の雑誌「Science」に論文を載せました。そのタイトルが「共有地の悲劇」です。一番有名な 1 節をここに持って来ました。下手くそな私の和訳ですが、みなさん一緒に見て頂きたいと思います。

すべての人に開放された牧草地を考えましょう。放牧をしている人たちは、みんなこの共有地で、可能な限り多くの牛を飼いたいと考えるでしょう。放牧者の人が合理的であるならば、自らの利益を最大化するようにすることですね。どういうことを考えているかは、頭の中で考えているか、それとも表立って言うかは別にして、どういうふうに考えるかという、今、これだけ牛を飼っているけれども、もう一頭、牛を増やしたら、私の効用はどんな風になるのでしょうか、という風に考える、自問自答するでしょう、ということですね。で、その答えはですね、自分が従うべき賢明な方法というのは、もう一頭牛を増やすことだと、いうふうに考える。ただそれは一人の人が考えるだけじゃなくて、この共有地を利用している全ての放牧者が考える、ということであると。その結果、どういうことが起きるかという、放牧地では全員が、「あと一頭、あと一頭」と、牛を飼おうとする。そこに悲劇がある、というふうに Garrett Hardin は言う訳です。

人々は際限なく牛を増加させるシステムにはまり込んでしまう。この共有地の社会というのは、人々は自由に牛を飼うことができる訳ですけど、自

由の存在を信じる社会では、人々は自らの最大の利益を求めて、荒廃への道を全員で突き進んで行く。共有地における自由というのは、全ての人に荒廃をもたらすんだということを **Garrett Hardin** は書いて、これがみんなに取り上げられて、有名になった訳です。タイトルは「共有地」ということになっているけれど、ここに書いてあるのは放牧地の話ですけれど、「共有地」というのは、必ずしも放牧地に限らない。これは **Hardin** 自身の論文にも書いてあることですが、この世の中にはたくさんの共有地がありますよということです。

例えば、今、地球温暖化の問題が一番、有名な問題だと思うんですけど、温室効果ガスの捨て場としての地球大気ですね。これはみんなの共有地になっている訳です。自由に使うことができます。それから同じように、大気ではなくて、河川であるとか湖沼もそうです。それから地下水をくみ上げて使うとかですね、石油や、中国とのあいだで問題となっている天然ガス、油田の問題がありますけれど、ああいう地下に埋められた資源で、みんなが自由に使えるものも「共有地」の例です。

それから、例えば、鯨のような移動性動物資源、こういうものも、「共有地」の例で、公海上では、誰が獲るかというのは、ルールがあれば別ですけど、ルールがなければ自由に獲れるということになります。

それから、さらに、「共有地の悲劇」というのは物理的なかたちで、所有権がうまく設定できなくて、「共有地」になっている例ですけど、「所有権」が物理的には設定できるけれども、制度的に、それが明確でないようなものが実際にはあります。

例えば、土地でも、その社会が私的所有を認めなくて、メンバーは自由に使っていていいですよ、ということになれば、それは「共有地」だということになります。川の水は水利権というかたちで、各地域で、使う量が決められているという話がありますけれども、もしそういう制度が無ければ、水は自由に使っていていいということになります。実際に国際河川では、上流の国が取りすぎて、下流の国に流れなくて困るという問題があると聞いています。そういう場合は「共有地」です。

それから森林も、日本の場合は国有林が 1/3 くらいあって、あと 2/3 くらいが民有林というかたちになっている訳ですけど、世界には所有権のはっきりしない森林がいっぱいある。あるいは所有権がはっきりしていても、その所有者がうまくコントロールすることができなくて、関係無い人が入ってきて、勝手に使ってしまう、というようなこともあります。

というわけで、この世の中には「共有地」と呼ばれるものがたくさんあって、で、その「共有地」の利用の仕方が、実は環境問題ということで、大きな問題になっている。この 1960 年代の、**Garrett Hardin** さんの「共有地の悲劇」というのは、まさに環境問題が表している世界だということで、よく引き合いに出される。最近また有名になっているという状況があります。

ところで、私はこの文章を引っ張りだしてきたんですが、実はこれ、**Hardin** の論文から引っ張ってきた訳ではなくて、孫引きです。実は **Partha Dasgupta** というケンブリッジ大学の環境経済学、資源経済学、理論経済学の先生がいるんですけど、その先生がこの文章を引用して、こんな風書いている。

「同じ長さの文章で、これほど有名で、かつ誤りの多い一文を見つけることは難しいだろう。」ということで、**Hardin** の論文は間違っているぞ、というふうに、**Dasgupta** は書いています。実はこのセミナーは、**Hardin** が言っていることは、「間違い」というのは言い過ぎなんだけれど、実は **Hardin** が言っていることは必ずしも正しくない。ただそれは **Dasgupta** が言ってい

る意味とはちょっと違うんですけど、Dasgupta は、既に 1980 年代の古い理論の枠組みの中で、そういうことを言っているんですけども、今日お話しするのは、もうちょっと新しい、1990 年代の終わり頃からわかってきた世界で、どうして「共有地の悲劇」というのは正しい世界ではないのか、ということを見てもらいたい、という風に思います。

それで、その話をするために、若干、いろいろ準備が必要になってきますので、このセミナーの多くの時間は、その準備に費やすことになると思います。まず、経済理論上で、「共有地」と呼ばれるものが、2 つの言葉で区別されている、ということを知りたいと思います。

1 つは“common property resource”、もう 1 つは“open access resource”、と呼ばれるものです。“common property resource”というのは、その「共有地」を利用できる人が、有限の数で限られているメンバーを固定しているということです。そのメンバーの中では、自由に使うことができると。それに対して、open access というのは、メンバーが固定されていなくて、誰でもそこに入っていけるので、不特定多数の人が「共有地」をどんどん利用してしまう世界です。

そういった違いが“common property resource”と“open access resource”という言葉にはあるんですけど、そのメンバーが固定されているか固定されていないかというのは、どれくらい違いがでてくるのかというと、実は、その資源を利用している人の利用の仕方に大きな違いがでてきます。簡単なのは、下の方に書いてある“open access resource”です。“open access resource”はどういう風になるのかというと、要するに、そのイメージとしては、何にしましよかね、森があつて、森から木を切り出してくるイメージにしましよかね。そこに誰が入ってきて森から木を切るかわからないという状況が“open access resource”です。そうした時に、自分自身の行動がどうなるかということ、他の人が木を切って持ち出さない前に、自分が木を切って持ち出そうとする。もし自分が、悠長に構えて、この木が大きくなるまで待っていようということ、明日には無くなっているかもしれないという状況が“open access resource”です。この場合には、利用者は、どうすればよいかということ、ともかく自分の能力の限りを尽くして、早めに全部切り取ってしまう。そうしなければ、他の人のものになってしまう、という世界です。

ということで、メンバーが固定されていないような世界で、自由に使ってよいというようなものがあれば、そこで起こることは、とりあえず、出来るだけ早くそれを、その資源を使い果たしてしまおう、獲り尽してしまおう、というふうな行動になります。で、こちらはまさしく、Hardin の言っているような「共有地の悲劇」の世界になるわけです。非常に行動様式としては簡単です。

ただ、ちょっと今のは言いすぎで、正確にはここに書いてあることです。「正の利益が存在する限り、利用者が参入する」と。だから、プラスの利益があるうちは、その資源を獲り尽そうと出来るだけのスピードで獲り尽そうというのが“open access resource”です。利益がマイナスになってしまったら、獲れば獲るほど損をしますから、そこでもう人が入ってくるのは止めるわけです。だからひょっとすると、例えば放牧地の例でいうならば、牛をみんないっぱい飼おうとしていると。その放牧地は誰でも利用していいから、その草を他人の牛に食べられてしまう前に、自分の牛に出来るだけ食べさせようと考えんですけど、その行動をやっていて、もしもう一頭牛を入れたときに、牛を飼う手間の方が多くなって、利益がマイナスになってしまうんだったら、そこで、牛を飼う人は牛を飼うのをストップしてしまう、という

ことになります。ですから、最速で、資源を利用し尽くそうとするけれど、それはプラスの利益があるときですね。そういうことが“open access resource”のケースです。

それに対して、“common property resource”は、メンバーが固定されているというのが特徴です。一番簡単なケースでは、二人しかいないような世界を考えて下さい。そこに、1つの森があって、二人の人々が自由に使っているよ、と。森は、みなさん御存知のように、獲り尽してしまうとどんどん再生能力が失われて、最後は「はげ山」になってしまう。そこで一方の人が、そうならないように保っている。資源を持続的に利用しようと保っているときに、もう一方の人が、その資源を台無しにしてしまうような行為をすることは、必ずしも得なことではないわけです。相手が、持続的な行為をしてくれているんだったら、自分も持続的な行為をすることが有利になる可能性がでてきます。

今のは1つの極端な話ですけど、他の利用者が資源をどんなふうにご利用しようとするかに応じて、その各メンバーの人が、資源を利用する利用パターンで、最適なものというのが変わってしまいます。

というわけで、行動様式で見たときに、こちらの“open access resource”の方はですね、「ともかく獲って獲って獲り尽くせ」といったような簡単なものになってしまうんですけど、“common property resource”の場合は、それが微妙にいろんな可能性が出てくるんですね。今日お話ししたいと思っているのは、この「共有地の悲劇」の問題を、“common property resource”の利用の問題として見ていきたいと考えています。その場合、“common property resource”の場合は、利用者の行動が、他の利用者の資源利用パターンに応じて、自分自身の最適な戦略が変わると書いてあるんですけど、他の人の行動によって、自分の一番いい行動が変わってきて、自分の行動によって他の人も行動が変わるような状況、言ってみれば、人間と人間が直接、相互依存関係を持っているような状況というのは、「ゲーム論的な状況」と言われます。

これから、「共有地の悲劇」を“common property resource”の利用問題として見ていきたいと思っているんですけど、で、その見方っていうのはゲーム論の話になってくるということになります。みなさん、ゲーム論をご存知の方、いらっしゃいますか？あまりいらっしゃいませんよね。あの、一応、このセミナーの素材は知らない人を対象に作っていますのでご安心下さい。

ゲーム論の教科書に一番始めに書いてある話からしていきたいと思っています。まずゲーム論の教科書を開くと、「戦略型ゲーム」というようなことが書かれています。で、その「戦略型ゲーム」、ちょっと言葉が難しくして申し訳ないんですが、対称の2×2ゲームになっている。「対称2×2ゲーム」とは、登場人物が何人いるかという話ですけど、プレイヤーは二人だけです。この二人のプレイヤー、A、Bと書いてあります。この人たちは、相手の行動と、自分の行動のセットで、自分の得られる利益というのが得られる。

具体的な例はここに書いてあるものです。例えば、2×2の後ろの方の2つっていうのが、どういうふうなプレイヤーの行動があるかという、2種類しかないですよ、ということを表していて、それがここでは「破滅的資源利用」、Exと、「持続的資源利用」、SDの2つあるだけですよということですよ。二人のプレイヤーが、二つの選択肢を持っていて、相手が何をして、自分が何をするかに応じて、その人の利益がでてくるというゲームです。

それを表すのに利得行列っていうのを使うんですけど、具体的に覚えてもら

いますと、こんな格好をしているものです。今、 2×2 っていうのは、相手と自分の二人しかいないような世界で、しかも、相手の行動と自分の行動が二種類しかない、だから 2×2 なんですね。もうひとつ、ここに相手がどういう行動をして、自分がどういう行動をしたら、どれだけ自分にとっての利益が発生するかを表す数字が書き込んであります。この数字は、例えば、相手が Ex という「破滅的資源利用」ですよ。相手が「破滅的資源利用」をして、自分も同じように「破滅的資源利用」をすると、得られるものは「2」ですよ、というようなことが書いてある。

相手が「破滅的資源利用」をするけれど、自分はこの「持続的資源利用」をすると、考えれば、自分の利益は「1」である。相手がばかばか獲っているのに、自分が我慢して「武士は喰わねど高楊枝」みたいな世界であると。「1」しか得られませんよということがここに書いてあります。相手が何をしたときに自分がどうするかっていうような利益を書いてある。これは 2×2 の行列ということになるんですが、こういうのを「利得行列」というふうに呼んでいます。

今、「対称 2×2 ゲーム」といいましたけど、「 2×2 」の意味は、二人プレイヤーで、二種類の行動ってことなんですけど、この「対称」は何かというと、実は、相手が得る利得行列と、自分が得る利得行列というのが同じものですよ、ということですね。

例えば、男の人と女の人が出て、二人が恋人同士で、デートに行くのに、一方が映画館に行く、他方が野球観戦に行くと書いてあると、二人でデートするのに、一人が映画館に行って、一人が野球観戦に行ったらバラバラなんで、両方とも利得はものすごく低いわけですね。ところが、女の子は野球なんか見に行きたくないよと思っていると、男の子が行くから一応行くだけ行くというときには、「野球場に二人で行く」という行動に対する利益は、男の子は高いけど、女の子はすごく低いわけです。

こういう場合は、「対称ゲーム」じゃないわけです。相手の自得と、自分の自得が違っている場合は「対称ゲーム」とはいわない。「対称ゲーム」というのはそれが同じですよ、という、ある意味不自然なケースです。不自然だけど、最も簡単なゲームということで、ここで紹介しています。

もしかしたら、このへんのところは、みなさんちょっとは聞きかじったことがあるかもしれません。こういうふうに利得行列をだしてきて、相手がどうして私がこうしたら何か起きるのかを見るわけですけど、そのときに、両方が、最後に選ぶであろう選択のことを「ナッシュ均衡」と呼んでいます。

「ナッシュ均衡」とは、相手の行動に対して自分の行動が自分にとって一番都合のいい行動になっていて、自分にとって都合のいい行動が、また相手にとっても都合のいい行動になっているっていうように、両方にとって都合のいい組み合わせです。このケースだと、例えば、相手が、「破滅的資源利用」をするときに、自分にとって最適な行動は何かというと、自分も破滅的行動をすれば、「2」利益が出る。自分が持続的な行動をすれば、「1」得られる。ここで「2」と「1」を比べるわけです。すると、「2」の方が高いじゃないかと。そうすると、相手が破滅的な資源利用をするんだったら、私も破滅的に資源利用をしましょう、というわけです。

相手が非常に上品な方で、持続的な資源利用をしてくれる。そのときに私はどうするかということですけど、その場合は、自分が破滅的な資源利用をすれば「6」得られる。自分も持続的資源利用をすれば「4」得られる。「6」と「4」比べてどっちが高いか、こっち（「破滅的資源利用」）が高いわけですね。相手がお上品にきても、私はお下劣にいきますよ、と。言葉が悪いで

すが。破滅的にいきますよ、と。相手が破滅的にきても、私も破滅的にいくよ、と。

ということで、この場合は、自分にとって一番いい行動っていうのは「破滅的資源利用」です。先ほど「対称ゲーム」だという話をしましたが、この利得行列というのは相手も同じなんですね。だから相手と自分を入れ替えば、自分が何しようかですね、相手の人にとっていい行動とは、「破滅的資源利用」ということになるので、この場合は、相手は「破滅的資源利用」をする、そして自分も「破滅的資源利用」をする、この組み合わせが、ここでいうところの「ナッシュ均衡」です。相手の行動に対して自分が一番都合のいい行動をとっていて、自分にとって都合のいい行動っていうのは、相手を選んでその行動からみても、相手にとって選択しているものは都合のいい行動になっている。互いに都合のいいもの同士の組み合わせ、それが「ナッシュ均衡」といわれます。

この場合、「ナッシュ均衡」というのは、「破滅的 (Ex)」 - 「破滅的 (Ex)」の組み合わせになります。今のは単に数字の例なんですけど、みなさんの中には「2」とか「1」とか、「6」とか「4」とか適当な数字を書いて説明されても困ると思っている人もいると思うんです。私なんかそういうタイプなんですけど、みなさんも、ぜひそう思ってほしいと思います。こんな数字だけで、ぜひ不審に思ってほしいと思いますが、もっと一般的に書けば、ここは数字、何が入るかわからないので、記号で a 、 b 、 c 、 d と入れています。

先ほど見てきたことは何かというと、相手が「Ex」という行動をとったときに、自分がどっちとるか比べているわけですね、「 a と b 、どちらが大きいですか」とやっているわけです。さっきの例だと、 a が大きいんで、Ex を取りましたよ、ということです。SD というのを相手がとったときに、自分はどうか、これは 6 と 4 を比べている訳ですから、 d と c を比べて、どちらが大きいですか、とやっている訳です。

というわけで、 a と b を比べると、 d と c の比較っていう、この縦方向の比較をして、自分にとって、何が一番、都合がいいかを決めている。相手にとって都合のいいことを、そこから決めれば、ナッシュ均衡っていうのがわかる。そのナッシュ均衡っていうのが、ゲームの世界で、実際に得られるであろうものと考えられているわけです。その縦方向でとる、という話でいうともっと簡単にできまして、ちょっとこの辺り、数学嫌いな人は、「うわー、でてきたー」っていう感じかもしれないですけど、ものすごく簡単なこと言っています。

縦に比較するだけなんで、「 a と b でどちらが大きいか」って言っているわけだから、これ両方から b 引いてやってですね、 $a-b$ と 0 の比較でいいんじゃないかと。これは、同じ比較ということになります。こっちもですね、 d と c 比べているんで、美しさをだすために、ここで、こっち側にそろえていますけど、 $d-c$ 、これが 0 大きいか、こういうふうに書くだけでいい、ということになります。もともと「対称 2×2 」って書いてあるんですけど、symmetric であるというのが、実はこの行列のかたちが、行と列を入れ替えて、ここを境にして対称型になっている。行と列をひっくり返しても同じものができます。これがまた、「対称」なので、こんなかたちのゲームのことを、「両対称ゲーム」というふうに言います。もし、もともとのゲームが「対称 2×2 ゲーム」であれば、そのゲームは、同じ両対称の、こういう利得行列のゲームに最後、落ち着くことになります。こうやると何がいいかという、ずいぶん構造が簡単になって、ゲーム論のテキストでいうと、難しい話になってくるんですけど、結局、この対称の、反対側の

対角線は 0, 0 が入っています。ここにプラスの値が入るか、マイナスの値が入るかだけですね、

実は、この 2×2 のゲームは整理できちゃうことになります。実際に整理したものを見てもらいたいと思うんですけど、実は、この両対称のゲームは、一般に 3 つの名前で言われているものに分類できます。一つ目が、ここにいるみなさん全員が聞いたことがあると思うんですけど、「囚人のジレンマ・ゲーム」と言われるものです。今回はまた、数値例で表していますが、**SD** というのが、持続的に資源を利用するのが望ましいんだけど、相手にとっても、最適な行動は、「破滅的利用」であり、自分にとっても「破滅的利用」であると。最悪の行動になる、というものです。そういうのを「囚人のジレンマ・ゲーム」といっているわけですね。その構造ってというのは、両対称のゲームで書くと、二人にとって、よくないものところにプラスの値がきて、よいものところにマイナスの値がくるというようなことになります。

それから、次は「タカーハト・ゲーム」という、生態学の世界で、1970 年頃から、「進化ゲーム」というものが流行りますけれど、その進化ゲームの最初にでてきたものが「タカーハト・ゲーム」です。これがどんなふうな格好になっているかという、相手が、例えば資源を破滅的に利用するという行動をとったときに、自分の行動は何がいいかと、 -1 と 0 を比べますから、「持続的資源利用」するのがよい、となります。相手が「持続的資源利用」したときに、自分の行動が何かという、 0 と -2 を比べますから、 0 がいいと。というわけで、この場合に「ナッシュ均衡」になるのはどういうものかという、相手は **Ex** を選び、自分は **SD** を選ぶという組み合わせと、相手は **SD** を選び、自分は **Ex** を選ぶ、そういう組み合わせがナッシュ均衡、互いにとって最適な組み合わせとなります。

資源利用の場合はですね、ちょっとイメージしにくいと思うんですけど、「タカーハト・ゲーム」というのは、この **Ex** のところで、相手を威圧するタカっぽい人が入って、こっちは、協調的な、服従的な行動をとるハト的な人が入る、こっちは「タカ」で、こっちは「ハト」って読んで欲しいと思うんですね。相手がタカっぽく振舞った時には、自分もタカっぽく振舞うとケンカになって、えらい目にあうと。だからハトのように振る舞いなさい。で、相手がハトのように振舞う時は、相手がハトだったらですね、自分はハトのように行けば、お上品に行動して、自分は損をする。相手が低姿勢でできたハトであれば、自分はタカになれということで、ハトならタカ、タカならハトという組み合わせが、最適なナッシュ均衡になっていますよ、というふうなことです。

三つ目のゲームが「協調ゲーム」と言われるものでして、相手が「破滅的資源利用」するんだったら、自分にとって最適な行動というのは、「破滅的資源利用」です。相手が「持続的資源利用」するんだったら、その時、自分にとって望ましいのは、「持続的資源利用」ですよ、と。相手と同じ行動をとるのが、よろしいですよというのが、最後のケースです。

実はこの三つの分類は、対角要素に入っている数字がプラスの値をとるか、マイナスの値をとるかによって、こんなふうに分けられます。横軸の $a-b$ って書いてあるのは、この部分ですね、ここに入るのがプラスかマイナスか、ってことを表しています。それから縦軸の $c-d$ と書いてあるのは、ここですね、ここにはいつている。「囚人のジレンマ・ゲーム」は、この対角要素みたいになっている。この場合だと、「囚人のジレンマ・ゲーム」はプラスの値をとっているわけですから、縦軸がプラスで、**SD—SD** の横軸の

組み合わせがマイナスで、ちょうどここにくることになります。悪いことをみんな喜んでとってしまう、ということになります。これとこっちは逆ですが、言ってみれば、よいことを、全員が喜んでとってしまうということです。まあ、数学的な構造上は、これも「囚人のジレンマ」だと言っているわけです。「囚人のジレンマ」っていうのは悪いことを喜んでやってしまう、というのは変ですけど、数学の構造としては、これは同じだと。「タカーハト・ゲーム」というのは、ここにきます。「協調ゲーム」とは、両方の軸はプラスなので、ここにきます。

こんなところが、ゲーム論のイメージということで、みなさんに御紹介したいと思っている内容です。言っていることは、相手の行動によって、自分にとって望ましい行動が変わる、自分の行動によって、相手の望ましい行動が変わる。そしてそのときに、相手の行動を前提として、自分にとって一番いい行動、で、自分のその行動を前提とした時に、相手にとって望ましい行動と、最初の相手の行動が一致している、そういう状況が「ナッシュ均衡」という言葉で言われる、二人が選ぶものになると、ということです。そういうイメージをもって欲しいと思います。

例えば「協調ゲーム」の場合は、相手が資源をいっぱい取るなら、私も取る、相手が資源を守るなら、私も守るとするのが「ナッシュ均衡」。「タカーハト・ゲーム」は、相手が資源をとるなら、私は守る。相手が資源を守るなら、私はとる、というのが「ナッシュ均衡」になる。「囚人のジレンマ」の場合は、相手が何をしようと、資源をとるのがよくなってですね、相手も資源を破滅的に利用するし、自分も破滅的に利用するっていうのが「ナッシュ均衡」になる。こんなふうに、二人の都合のいいものが、このなかで選ばれて、ゲームというものが考えられていく、考察されていく、ということになります。

このゲームの話と、最初の「共有地の悲劇」の話しを、どんなふうに結びつけるかということですが、ここから、より現実に近い、複雑なゲームの話に移っていきたいと思います。その複雑さというのは、どういうところにあるかということ、ここにでてきているものは、時間が入ってないんですね。私が持続可能な森林経営をやる、でも、あなたは破滅的な森林経営をする、というふうなかたちで言っている訳ですけど、本当は、時間の流れの中で、そういうことが起こるはずですよ。自分がどんどん獲って行って、どんどん森林は減っていく。相手の人もどんどん獲って、森林が減っていく。そういうような、時間の流れが、環境問題を考える場合には重要な要素になってくるはずですよ。そういう時間のことを、これから入れていきたい、というふうに思っています。

そこで、時間のことが入ったゲームなんですけど、代表的なゲームで、「繰り返しゲーム」と「ダイナミック・ゲーム」があります。あとダイナミックな進化ゲームがあるんですけど、ここでは触れません。「ダイナミック・ゲーム」の方は、このセミナーのですね、テーマであります、もうひとつの「繰り返しゲーム」は、先ほど書いてあったような利得行列を何度も何度も繰り返していく状況です。ちょっとイメージが湧きにくいかもしれませんが、例えば「囚人のジレンマ」というゲームですね。

「囚人のジレンマ」っていう言葉のもとになったのは、二人の泥棒が、共同して泥棒して、互いに、それぞれ取調室に送り込まれて、そこで「お前がもし、相手が泥棒をしたと自白したら、お前の罪を軽くしてやるぞ」というようなかたちで問われる。で、自分は仲間を守るために、黙秘を続けるか、それとも自白してしまうのか、相手がどう言おうと自分は自白した方がいい

ので自白してしまう、というのが「囚人のジレンマ」なんですけど、そのゲームを、何度も何度も繰り返すと。泥棒に入ってはまたすぐ捕まって、また自白するかどうかわねると。その後、刑務所に入るはずなんですけど、ちょっと違って、また泥棒に入って、また取調室に呼ばれる。そんなことを何度も何度も繰り返して、そのたびに何かペナルティを与えられている。そういうのを繰り返している状況っていうのが「繰り返しゲーム」と言われます。

これは何か人工的ですけど、同じ状況を何度も何度も繰り返している感じなんです。それに対して「ダイナミック・ゲーム」っていう言葉で言われるときには、時間とともに、状況が変わっていくのが「ダイナミック・ゲーム」です。環境問題にひっかけて言うと、各プレイヤーが、汚染物を出している。その汚染物の出し方に応じて、どんどん環境が汚染されていくとかですね、みんな汚染物を出さなくなったために環境がどんどんよくなっていくとか。環境っていう状態が、時間とともに変化するわけですね。あるいは、資源の問題でいうと、人々が共有の放牧地を激しく利用しているために、どんどん共有地の草が減っていきってしまうような状況、それは共有地の状況が時間とともに変化しているわけです。そういうような状況を考慮して、どんな行動をとるかを考えるゲームのが「ダイナミック・ゲーム」です。

「ダイナミック・ゲーム」であれ、「繰り返しゲーム」であれ、ちょっとややこしく、言葉の違いが出てくるのが、「行動」と「戦略」というような言葉の違いです。「行動」とは、先ほどの例でいうと、Ex とか SD とかって書いてある、持続的資源利用をする、とかですね、あるいは、破滅的資源利用をする、というような、具体的な行動です。それに対して「戦略」という言葉は、「どういうふうな状況で、その行動を選ぶか」ということです。

「繰り返しゲーム」で trigger 戦略とか tit-for-tat 戦略とかがありますよ、と書いてあるんですが、これが何かというと、trigger 戦略というのは、相手が喜んでくれることを、自分がちょっと我慢してやっているという状況で、相手が裏切ったとたんに、自分も相手を裏切るぞという、協力している状況から裏切る行動へのスイッチを、相手が裏切るっていう行動をとったときに行うというような行動の組み合わせが trigger 戦略といいます。

tit-for-tat 戦略とは、相手が裏切ったら自分も裏切ると。相手が裏切らなかつたら、自分も裏切らないと、いうことですね。例えば、みなさんがデートに行くと、trigger 戦略というのは相手が遅れてきたら、その次からは二度と自分は時間どおりに行かないぞと。それはたいしたことじゃないんですけど、それが嫌で、相手は時間どおりに来るとというのが trigger です。tit-for-tat 戦略というのは、相手が遅れて来たら、次の時には私は遅れて行くと。でも、相手が時間どおりにきっちり来る時には、次は時間どおりにきっちり行くと、いうふうに、デートにわざと遅れていくか、きっちり行くかっていう行動に対して、それをどんなふうに使分けるといふ戦略です。こんなふうに、「行動」と「戦略」という言葉は、ややこしい言葉ですけど、使い分けないとはいけません。

これからやっていく「ダイナミック・ゲーム」でどういう戦略が使われるか。実は「ダイナミック・ゲーム」で使われる戦略を考えると、ものすごく複雑な戦略が考えられるんですけど、複雑なこと難しいことは、頭のいい人にとっても難しく複雑なことであるわけで、誰にも解けません。そこで、頭のいい人というのは、難しいことをできるだけ簡単に済ませることが出来る人なんです。で、ここでは、どんな戦略が経済学でよく使われているかという、「定常マルコフ戦略」と一般に言われていて、資源の問題、汚染でもいいんですけど、今、資源の問題を念頭におきますと、資源の量に応じて、

自分が、どれだけ資源からものをとってくるかというのを変える戦略ですね。資源がたくさんある時には、当然たくさん獲るとか、資源がちょっとになっても、たくさん獲るとかですね。資源がちょっとになったら、獲る量を減らそうとかですね、そういうような、資源の量で、どんな獲り方をするかを決めるというようなものが、よく使われます。汚染の問題でいえば、湖がきれいな時は、自分は湖を汚くする。で、湖が汚くなったら、自分は湖を汚染する水の量を減らすとか、湖の状態に応じて、汚染の状態に応じて、その汚染物の排出量を変える。そういう戦略が、よく想定されています。だいたいこれくらいが、今日のセミナーの「ダイナミック・ゲーム」をお話するための前段階部分になります。ここから、ちょっとだけハードになるんですけど、何か御質問ありますか。

フロア
赤尾

マルコフ戦略について、もう少し詳しく教えて頂きたいです。

マルコフは人の名前です。「マルコフ性」というような言い方をすることがあって、「マルコフ性」って言ったときには、時間とともに状態が変化する状態って書いてあるんですけど、状態に何か反応することを「マルコフ性」って言っています。時間とともに変わるもの、時間とともに変わるものを「状態」と言うんですけど、その状態に対して、行動なり、何なりの、まあ、変数が反応するようなものを「マルコフ性」という。例えば、この戦略のとり方にいろんなものがあって、さっき tit-for-tat 戦略っていうような話をしたときには、相手がデートに遅れてきたら、私はデートに遅れるとかいう話をしましたが、それは「前回デートに遅れる」ってことが入ってくるので、歴史に反応しているんですね。それから、雨の日は、私は時間どおりに行かないとかいう、変な主義の人がいるとすれば、それは天候に応じて、自分の行動が決まるということになります。それから、私は 3 月 31 日は外にはでない主義だという人がいれば、時間にも依存して行動を決める。この矢印の部分が、戦略だということになるわけですね。今ここに書いた、歴史とか時間とか天候とか書いてあるんですけど、この天候の部分が、いってみれば状態です。でも、この天候っていうのは、あんまり進化しないから、何にしましょう、例えば、汚染状況にしましょうか。大気の状態が悪いと、私はデートに遅れていくとかですね。状況ですね。マルコフ、本当は「定常マルコフ」って言った方がいいんですけど、実はいろいろややこしいことを考えて行動は決まると考えていいんですけど、汚染が行動を決めると、いうふうになると、これが「マルコフ」ということです。マルコフというのは、汚染でも何でもいいんですけど、その状態が行動を決める構造になっている。例えば、状態だけで決まるんじゃなくて、歴史も関係してくるし、暦上の時間も関係してきますよということになると、これはマルコフ的ではないわけです。だから、「マルコフ的である」という言い方をすると、それは簡単だということ。本当はとても複雑な世の中を、単純化して考察可能なものにするためのひとつの処理方法です。ただ、数学的に扱うのが容易なので、マルコフ的な構造をもつようにされています。それは、現実がそうだというよりは、都合よく話を進めるためのテクニックですね。だから、あんまり騙されないように、みなさんにはしてもらいたと思います。マルコフとか難しい言葉で言われているけれども、実はそれは言い逃れの、言い訳の言葉である、言い訳をごまかしている言葉である、ということかもしれません。今のでいいですか。

フロア
赤尾

ありがとうございます。

意味としてはこんなことです。状態に対して反応するということですね。で、ちょっと、この辺りからハードになってきます。

ダイナミック・ゲームの典型的なモデル、しかもここでは、資源をイメージしたようなモデルを考えています。ここに書いてあると、すごく嫌な感じがすると思うんですけど、経済学の世界は、基本的に言うと、二つの要素でできています。ひとつは、人々の好みですね、私はこういうのがいいとかですね、これだけもらったら、どれだけ喜びが増えるとかですね、効用とか、選好ですね。それと、もう1つは、経済の中で、どれだけモノができるかという技術ですね、選好と技術、この二つで、経済の基礎的な部分ができます。

人々の好みとモノをつくる技術、ですね。この部分が、すでに与えられていて変わらないものとしてある、確固したものとしてあって、これ自身は疑わないで、さらに、例えば、市場を放り込んでやると、市場経済のモデルになる。それが、直接的に人々が絡み合うようなモデルにすると、ゲームになったりする。

例えば、社会学をとっている人なんかになると、人々の好みというのは、時代とともに変わっていきますよ、とかですね、これは移ろいやすいものですよ、とかいうことがあると思うんですけど、経済という *discipline* では、これは固まっている。きちんとしたものとして。技術の方も、技術進歩というメカニズム、技術進歩はどんどん変わっていくんですけど、技術進歩のメカニズムそのものはカチツとしたものが与えられていて、それ自身は動かないよとかたちで与えられている。そのこと自体は疑わずに、これはもう与えられたものとして、そのあと市場でどういうことが起こるのか、ゲーム的な構造で何が起きるのかを見ていきたいと思いますというのが、私が思っている経済学の一番基礎的な *discipline* です。

それでいくと、今、考えている世界というのは、まず選好というのがある。ここでいうと、何かというと、このグラフで書かれているものです。C というのは消費物の量です。消費物の量が増えるたびに、自分の喜びが増えていきますよ、という関係が、このカーブで書かれています。この消費物の量が増えますよっていうのは、実は、各時点、時点で得られるものです。

例えば、今年食べているものの量に対して、今年の満足はこれだけでますよ、というようなことになっています。来年どうするんだとかですね、100年後は、もう死んでいるかもしれないけど、自分たちの子供たちはどうするんだとか、資源を利用する場合に考える訳ですね。というわけで、今年の喜び、消費に対する喜びの大きさ、それから来年の消費に対する喜びの大きさ、再来年の消費に対する喜びの大きさ、これ全部を、合わせて評価したいと考えるわけです。

その評価するひとつの典型的なやり方が、こんな積分を使いましょう、ということです。何か書いてあるか、知っている人は分かるし、知らない人には分からないと思うのですが、 t というのは時間です。 t 時点での消費に対して、 t 時点での喜びが、これだけありますよと。 t 時点というのは、実はゼロから無限の将来まであって、各時点の喜びの大きさを全部足し合わせてやりましょうということですけど、足す時に、今日の喜びの大きさと、明日の喜びの大きさでは、明日の喜びの大きさの方が今日に比べて評価としては低くなるでしょう。あたかも、今日、100万円手に入れるのと、100年後に100万円手に入れるのでは、今手に入れる100万円の方が価値が高いでしょうと、いうのと同じように、喜びの大きさも現在の方が高くなるように、将来に対してウェイトをつけてやりましょう、と。

これに根拠があるかということ、根拠はなくて、こんなふうにやると、非常にすっきりと問題が解けますよというだけなんですけど、このようなウエイ

トをつけてやるというのが、典型的な経済のモデルになります。実際には、この 10 年ぐらい、このところをどうするかと議論している人が結構いるんですけど、ウエイトのつけ方を考えるっていうのは、今日の本題ではないので、省かせて頂きたいと思います。

というわけで、選好といわれている部分ですね、人々の、どんなことで喜びを得るかというのが、実は、こんな積分の関数で表されていると。各時点の喜びを、足し合わせたものですよ、というかたちで表されています。それからもうひとつ、技術ですけど、この技術は、この世界、ものすごく簡単な技術で、何か資源があって、その資源を人々はとってくる。とったものを人々はムシャムシャムシャと食べるということになっています。その資源というのは、何か技術と書くと、人間が関わっているみたいですけど、ここでは勝手に増えるだけ、人間はそれをとるだけっていうようなかたちになります。その資源の増え方というのが、実はここに書いてある、お椀を伏せたような、関数で表されます。x っていうのが、ストック量、資源の量です。縦軸はこれ、何かわからないと思うんですけど、縦軸は $f(x)$ という関数で表されていて、この関数は、資源が、例えば一年間でどれだけ増えますかということを表しています。

ここに、横軸に資源のストック量を書いています。それに対して、縦軸に、この $f(x)$ っていう関数をこんなかたちで描いているわけですけど、ここで言っているところの技術というもので、これが何表しているかということ、こっちが「増える」です。そして、影がある、こっちは「減る」です。ゼロというのは、境目になっていて、上にあったら「増える」、で、下にあったら「減る」ということを表しています。

例えば、その資源のストックの量っていうのが、最初、こんなところにあつたとしましょう。これが最初の資源のストックの量だとすると、それに対して、一年間で増える量っていうのが、このグラフで表されています。ゼロより上の領域は「増える」ことで、これだけ一年間で増えますよ、ということです。これをどんなふうに足しているかということですけど、これは瞬間で増えるようなもので、いってみれば、車のスピードみたいなものです。時速 60 キロって書いてあったら、一時間走ったら 60 キロ、でも瞬間的なので、この瞬間には、そんな進むわけじゃないです。それと同じでスピードみたいなもので、ここでこれだけ増えるといっても、一年間だったらこれだけ増えますよ、ということで、瞬間的に増える量はちょっとだけです。ちょっとだけですけど、ちょっと増えたら、またこういう点に移ると、これだけまた増えるよと、ということです。まただんだん増えると。

長ければ長いほど、瞬間的に増える量が大きくなりますから、だんだんこの辺から大きくなる。ここを超えると、瞬間的に増える量は減っていききますから、だんだん、ちょっと短くなって行って、最後、この辺に近づいてくると、ものすごく小さくなって、最後、ここに落ち着くことになります。反対に、もし、資源のストック量がこんなところにあつたら、そのときは、「減る」の方の領域に入っていますから、資源の量は減っていきます。結局ここに落ち着くことになるんですけど、こんな技術ですね、

今、考えているのは、資源を人間が勝手にとりだしてきているみたいな世界ですけど、資源の増え方というのは、このグラフで表されます。例えば、今、最初の資源の量がこれだけあって、持続可能な経営はこの資源のストック量を守りたいと、ずっと維持していきたいと思ったら、そのときは、どうすればいいかということ、資源の増える量である、これだけの量を、毎年毎年とるようにする、これ以上とってしまうと、資源は自然に増える量よりも、

減る量の方が増えてしまうので、資源は減ってしまいます。そこで、これよりも少ない量をとると、資源の増える量の方が多いので、資源は今度、増えていくことになります。もしこの状態を保ちたいと思ったら、ここに書いてあるこの高さの量だけ、常に資源をとっていくのがよろしいと、いうことになっています。このグラフはこんなようなかたちで見てもらいたいと思います。それがここに描いてある、このグラフです。

実際には、人間がこの資源をとるわけですが、その「とる」というのを、ここではどんなふうに表示かという、自然が増やす量です。これから人間がとる量っていうのがあるんですけど、今、ここではこう描いていますね。 n というのは、共有地の中の人数です。 n 人の人がいてということです。 n 人の人が、みんな平等に、この c だけ t 時点で資源をとりますよ、というふうなことを描いています。ここは自然が勝手に増やしてくれる量で、こっちが人間がとる量です。そうすると、例えば、この値がプラスならば資源 x は増えていきます。もしこの値が、マイナスになれば、資源は減っていきます。減っていくスピードとかを含めてですね、この増えたり減ったりする部分 dx/dt 、こんなふうな記号で書いたりします。

みなさんには、自然が増やしてくれるものと、人間がとるところを引き算で引いて、それがプラスであれば増えるし、マイナスであれば減ると。その関係を表すのに、こんな式を使いますよ、というふうに見てもらいたいと思います。それが x ドット、イコールと書いてある、この式ですね。ここの「協力」と書いてありますが、どういうことかという、 n 人の人がいるんですけど、 n 人の人が、みんな平等に資源をとって、協力してとりあって、それによって資源の増える量と減る量が決まってくる。それを、その時に得られる、各時点の消費物の量ですね。そこから得られる効用を最大にするようにする、という問題。資源をみんな協力して、とって、協力するっていうのは、みんな話合っ、すべての人が望ましいと思うような、すべての人にとって得られる満足が最大になるようなレベルでとるような行動をしましょう、というのが、ここに書いてある式の意味です。

これは最適制御の問題ということになりますが、その答えがどうなるかというのをみていきたいと思います。自然は、こういうかたちで、ストックの量に応じて増えていたり減っていたりするわけですけど、それに対して、人間が協力的に行動して、もし、とるとすると、どんなとり方になってくるか、今、赤い線がちょろちょろと伸びて行きましたけど、見てもらいたいと思います。こんなかたちで資源をとることが、この問題の答えになっている。

要するに、すべての人々にとって、望ましい資源の獲り方っていうのは、この赤い線のようになります。この赤い線の意味は、例えば、資源の量が少ないレベルにあるときには、これだけを全員でとって、全員の収穫量をこれだけにしましょうと。それに対して、例えば、ここにあつたら、自然はこれだけ成長してくれる訳ですから、人間のとる量の方が少ないですから、資源ストックは増えていきます。どこまで増えていくかという、この黒い線よりも、赤い線が下にある時は、人間のとる量の方が、自然がつくってくれる量よりも少ないです。交わるころはここなんで、もし、もともとのストック量が少なければ、だんだん資源の量を増やして行って、いわば貯金をちょっと増やしていくような感じですね、最後、 x^{ρ} というところにたどりついて終わります。

このポイントは、この $f(x)$ っていう自然が増える関数の傾きが ρ という、ここにでている割引のパラメータです。これと同じようなものになると

ここで、交わることが証明できます。こんなかたちで、少ない時には、ちょっとためていって、ここまでもっていきましょか、それで、もしこの線を越えたらどうなるかっていうと、赤線の方が上にありますから、だんだん減らしていくことになります。いっぱい資源があるので、たくさん食べて、この辺まで減らしましょと、いうことです。

ここに nh^{bar} と書いてありますが、これは、人々がとる収穫物の量というのは、技術によって上限があるだろうと。その上限の大きさのことを、ここで h^{bar} と書いています。n 人の人がいるので、 $n \times h^{\text{bar}}$ が、この上限の線になります。この線を越えて収穫することは技術的に出来ないのも、もっと本当はとりたんですけど、技術が追いつかないので、ここはこの線で頭打ち、と。そして、ツーと落ちていく。これが協力的な資源の利用の仕方です。

今、考えている、これまでの話のなかにでてくるゲーム的な状況は、こういう協力の状況ではなくて、「相手がああするなら、私はこうする」、自分にとって一番都合がいいことをやろうとするので、実はこの協力的とは違う“Non-Cooperative” って書いてありますけれど、どんなふうなものになるかという、先ほどでてきた「マルコフ戦略」のなかで、どんなことが起こるかを見てみたいと思います。しかも、今、n 人のプレイヤーがいる世界を考えているんですけど、自分以外の人たちは、資源のとりかたを、こんなふうな関数で表している。この $\sigma(x)$ って書いてあるのは、資源のストック量に応じて、自分以外の人たちがどんなふう資源をとるかというようなことを表しています。これはマルコフ的なんです。x の関数になっているから、マルコフ的なんですよね。x というのは、この場合、「状態」です。ストック量、これは「状態」です。「状態」に応じて、とる量を決めているので、これはマルコフ的な戦略になっている訳です。自分以外の人たちは、こういう獲り方をするとすることは分かっている。自然もこんなかたちで増えてくれるのも分かっている。この二つの要素を考慮した上で、自分はどんなとり方をしたら、自分の満足は最大になるかということを考える。これが「ダイナミック・ゲーム」の一番簡単と言ってもいいぐらい簡単なモデルということになります。

では実際に、このモデルの答えがどんなものになるか、このモデルを解くこと自体は、みなさんがそういう話しをさせてくれるのであれば、喜んでやるんですけど、みなさんにとっては、苦痛以外の何物でもないと思いますので、ごく簡単に次のように説明させていただきます。

相手がこういう戦略でくる、そのときに、私はどんな獲り方をするのが、一番、自分の効用を最大化するかを考えた結果でてくるものが、相手の行動を前提にした、相手の戦略を前提にした、自分にとっての一番いい戦略ということですけど、その戦略を自分がとったときに、相手もみんな同じこと考えているわけですね、他の人はこういうことするとき、自分がどうやるのがベストかと考える訳です。そのときに、自分の戦略がでてくるはず。他の人が、この $\sigma(x)$ を使っている。それに対して、私はどんな戦略を使うのがいいかと。自分の戦略のことを、 $h(x)$ と書くと、この戦略は、実は、他の人がやっている戦略と同じであるならば、その時には、他の人からみても、自分はこれを使っていて、そのとき私の戦略はこれだと。その戦略は実は他の人と同じだと。ということは、相手の人に対する自分の一番いい行動、戦略になっているし、自分の戦略を前提にすると、相手の戦略も、相手にとって一番いい戦略になっているということで、ナッシュ均衡を構成することになるわけです。

というわけで、今から考えるのは、“Non-Cooperative”と書いているのは、相手がこういう戦略を使ったときに、自分もこういう戦略をとることがベストになるような戦略を探していきましょうと、いう問題です。その戦略の問題ですが、右上の方に小さくでているのが協力の方の解ですね。それに対して、今から見ていく「共有地の悲劇」で起こること、「非協力解」を見ていきたいと思います。

ひとつでてくるものはですね、「最速枯渇戦略」と書いてあるんですけど、どんなものかという、こんな感じです。 \bar{n} というのは、全員が自分の能力の限りで資源を枯渇するという世界です。自然が増える量というのはこれですから、これよりも高いところを常に通っていきますから、どんな資源の状態から始まっても、常に自然よりもたくさん量を獲ってしまいます。しかもそれは、人々がもっている技術の最高のスピードで資源を獲ることになりますから、「最速」って書いてあります。「最速枯渇戦略」。これは有限時間のうちに、もうゼロに、ストック量がなくなってしまいます。これが、ひとつのナッシュ均衡を構成することになります。要するに、他の人が、みんな能力の限り、資源を獲っているような状況で、私にとっての望ましい状況ってというのは何かというと、自分も同じように能力の限りで資源をとること。まさに、Hardin の「共有地の悲劇」の世界が、この、common property resource の問題でもでてくる、ということです。

ところが、これで話は終わらないですよ。他にも、ナッシュ均衡がでてくる。MPNE って書いてあるのは上の Markov perfect Nash equilibrium ですが、こんなものもあります。資源のストック量が、ものすごく大きいときは、さっきと同じで最速のスピードで資源を枯渇させる。でも、 x^{ρ} って書いてある、この「協力解」の最後に落ち着くポイント。ここまできたところで、ジャンプするんです。ちょっと落ちるわけです。このルートから外れます。外れて、そこからは、資源の量に応じて、獲る量がみんな減っていくわけです。少ないときには、あまり獲らないようにしましょうね、でも多いときには獲っていきましょう。交差するこのポイントが、このナッシュ均衡の時の、資源の最後に落ち着く状態になります。こういうものが、さっきのモデルのナッシュ均衡としてでてきます。

他にも、例えば、こういうケースもナッシュ均衡としてでてきますよ。今二つ線引いていますけど、実は、この線のあいだの、どのポイントもありうる、ということです。ここまでは、赤線と同じなんですけど、この下はジャンプして、どんなふう落ちていくかは、ちょっと自由にとれると、いうようなことです。

というわけで、共有地の資源の利用の仕方っていうのは、実は、いっぱいあってですね、まあ、こういうのを連続体の濃度 っていう言い方をしますが、数え切れないくらい、いっぱい可能性があるということです。薄く色を塗ったところに入る範囲でいろんなことが起こりうる、ということです。とういうのが、先ほどの問題のナッシュ均衡としてでてくるということです。

実はその中に、社会的に最適な定常状態、ここもポイントなんですけど、このポイントに落ちたらここでもう止まってしまいますから、さっきの協力解と同じ値をとることになるんですけど、そこまではいかないんです。少しは上にいかないといけない、ということなんですけど、少し上に落ちるだけなんです。というふうなナッシュ均衡も存在するということです。少し上というのはどういうことかという、自然がこの状態のときに増やしてくれる量に対して、ごくわずかだけ多い量をみんな獲ると、いうのが共有地で起

こりうる。ごくわずかであるというのは、資源の減り方は、ものすごくゆっくりだということです。数学的にいうと、このスピードは無限に小さくできる、ただし、ゼロにはならない。ですから、この近くで、ものすごく長い時間、共有地でみんなが協力していないのにも関わらず、とどまることが理論的には可能である。そうすると、この「みんなで協力しあっている」という解と、ほとんど変わらない答えが、この周辺ではでてくる、ということになります。

というわけで、いろいろな答えがでてくるということですね。タイトル、「共有地の悲劇」とつけているんですけど、実は、先ほどの、もう一回これをだしましょうか、「最速枯渇戦略」という、みんなで破滅的な資源利用、自由な世界の共有地では、みんなで荒廃の道を進むという Hardin 的な世界と、それから、Hardin 的な世界にならずに、どこかで資源が維持されるというパターンは、実は共存するんだということをちょっと確認してみたいと思います。

理論的には共存するっていうことは分かっているんですけど、ここでは具体的なモデル、「パラメトリック・モデル」を、先ほどの選好部分の関数型とか、技術の部分の関数型とかを与えてやってみてみます。そうすると、どんなものがでてくるかという、これがさっきの「最速枯渇戦略」と書いてあるものですね。横軸は、 \bar{n} ということ、その「共有地」を利用している人が、全体でどれだけの資源をとるだけの能力をもっているかというものがこっちにでています。 n というのはプレイヤーの数ですね。その「共有地」を利用している人の数です。だいたいこんなかたちで、「最速枯渇戦略」をとるのがでてくる。それから、この Sorger は、さっきの結果を証明した人なんですけど、その Sorger さんの考えた均衡戦略、枯渇しないよというような戦略が、存在する範囲がこんなふうに書けます。

どっちもそうなんですけれど、存在する範囲とは、資源を採取する能力が高まれば高まるほどですね、今度はプレイヤーの数が減らないと存在しない。つまり、この Sorger の strategy と書いてあるのは、こっちの方がいい strategy なんですけど、この持続可能な strategy が均衡戦略として存在する範囲は、この資源を採取する能力が高まれば高まるほど、だんだん右下がりになってくる。その境界線、右下がりになっています。その意味は、人数が減らないと最適なものはでてこないよ、ということですね。同じことは、この「最適枯渇戦略」については、あんまり人数が少ない状況では、そういう「共有地の悲劇」は起こらない。しかも、資源を採取する能力が高まると、その人数はある程度少なくとも、こういう嫌な戦略がナッシュ均衡を構成することがある、と。

あともう1つ重要なことは、この二つの領域が重なりあっているということです。かなり広い範囲で重なりあっているというのが分かります。要するに、ひとつの世界でこういうことも起こりうるし、こういうことも起こりうるという範囲です。資源が、破滅的に利用されることもあれば、どこかで、持続可能に利用されることもありうる、ということです。社会学では「コモンズ論」というものがあるそうで、私はあまり知らないんですけど、そうすると、良いコモンズとか悪い共有地とか言っても、実はひとつの共有地で両方起こりうる可能性があるということですね。

それから、二つのものが起こりうるってことは、今までは、いい利用をしていたけれど、どこかで突然、「最速枯渇戦略」に切り替わる可能性もある。すごくうまくいっているコモンズが、なぜか資源を破滅的に利用し始める。その理由を探してもよく分からない。実際理由はないというのが、理論的に

はありえるということです。この話は、例えば、「ローカル・コモンズ」はどんなふう利用されるかということを考えたときに、ひとつのヒントになると思うんですけど、例えば、こういうコモンズの問題というのは、地球環境問題についての各国の交渉のレベルでも使えるわけですね。例えば、いろんなものが選択しうるような状況がありうる。これとこれの二つであってもいいんですけど、で、そういった状況で、相手もこれを選べば、自分もこれを選ぶことが最適だし、相手がこっちを選べば、自分もこれを選ぶ方が最適であれば、環境に関する国際交渉の段階で、話し合いをすることによって、互いにとって望ましい、しかもこれよりはいい、均衡というのが選ばれる可能性があるというかたちでの解釈もできます。

さらに、Sorger の持続的な strategy の話でいうと、先ほど、すごく長い時間、協力的な答えと、同じようなストックの状態を保つことができると、いう話をしたんですけど、そうすると、短期間の観察では、良い状態になるのか、悪い状態になるのか区別できないということもできます。例えば、社会学者が、未開社会の人々の共同体を調査しに行き、「彼らは豊かな自然をうまく利用している。彼らの利用の仕方はすばらしい」と評価したとします。確かにその社会学者が見に行った期間は、そうだったかもしれないけれど、もうちょっと長い時間見ていると、どんどん資源の量は減っていき、もしかすると、彼らの使い方というのは、資源収奪的なもの非持続的なものになっていくかもしれない。そういうことも、理論的には起こりうる。もともと、何も共同体の中身が変わっていないのに、そういうことが起こりうる、というふうなことが言えます。

だいたい以上ですね。時間的にも、あと 10 分、15 分残すところで、話としてはこれで終わりなんですけど、ここからは、最初にお配りしましたように、リアクション・ペーパーの登場です。最初の質問は、すごくシンプルな質問で選ぶだけの問題です。問題 1。「共有地」とは、どのタイプのゲームでしょうか。今、最初のところで、ゲーム論の話で、両対称ゲームっていうかたちにすると、三つのタイプのゲームに分かれますという話をしました。ちょっとそれをみなさんの A4 の白い紙に書いてみて下さい。

「囚人のジレンマ」か、「タカーハット」か、「協調ゲーム」か。別に成績には関係しませんので、気楽に書いて下さい。書けましたか？ そうしたら、「囚人」だと思える人は？ 「タカーハット」は？ 「協調ゲーム」は？ あとの人は？ もういっぱい聞こうか？ みなさんの理解度を調べるというよりは、私自身の講義の成績に関わる問題と考えておりますので、別にみなさん、気にしないでいいんですけど、「囚人のジレンマ」と思える人は？ 「タカーハット」は？ 「協調ゲーム」は？ 分かりました。ありがとうございました。

また、時間があれば、さらにやってみたいと思います。さらに次の質問に関わることでですけど、今日の話題を環境問題に応用しますと、例えば、そのヨーロッパの酸性雨の問題ですね、これは acid rain game として分析されています。あるいは、湖の汚染問題は shallow lake game というかたちで分析されています。浅い湖では、実は汚染によって環境がガラッと変わってしまう傾向があります。このことを生態学ではレジーム・シフトといいます。その shallow lake に、汚染物を投棄しあうゲームがダイナミック・ゲームとして分析されています。それからゲームの対象によってはですね、ダイナミック・ゲームは、ローカル・コモンズが相手になると、「共有地の悲劇」になるし、国際公共財とか地球公共財を相手にすると、国際環境協定を分析するのに、ダイナミック・ゲームの枠組みが使えることになります。

そこで、みなさん、ちょっと考えてみようということで、あと 10 分ぐら

いしかないんですけど、今お話したような、ダイナミック・ゲームが応用できる、具体的な環境問題について、みなさんが何か思いつくことはないか考えてみましょう。どういのが評価が高い答えになるかっていうと、「こんなものにも使えるのか」みたいな、意外なものを答えればいいわけです。安直に済まそうとすれば、acid rain game と書けば、答えになるわけですけど、つまらないですよ。みなさんは自分で何かオリジナルなものを考えてみて欲しいと思います。

それからもう 1 つ、このセミナーでやったのは、実は、Hardin の「共有地の悲劇」みたいな「最適枯渇戦略」みたいなものと、それだけが起こりうるんじゃないで、持続可能な資源利用みたいな戦略も選ばれる可能性があるということをやりました。そういうのを「多均衡」と言うのですが、いっぱい答えがでてくるかもしれない。持続可能なものも、非持続可能なものも起こりうるんだという話なすけれど、持続的なものと、非持続的なものが起こりうるという状況を考えたときに、みなさんに環境問題を考えてもらったときに、そのことがどういう意味をもつことになるのか、ということについて書いて欲しいと思います。時間があと 10 分足らずなのですが書いていって下さい。その間に、何か質問があればお受けします。

松岡 赤尾さんね、Sorger のがいろんなパターンで、いろいろな広がりが出てくるっていうのは、一般的に枯渇させちゃおう、とにかくできるだけとっちゃいましょう、というのとね、Sorger のものはどこの条件を、どこを変えて違いがでてきているんですか。

条件は同じです。

赤尾 条件は同じ？でも、解が違うはずだよ、何が違うの？

松岡 言えることは、メカニズムとしては、相手の人が、もし持続的な資源利用をすると、相手というか自分以外の人を持続的な資源利用をする時に、自分一人が、資源を減らしていくことによって、資源の再生能力が衰えてしまうとするんですね、最終的には自分の首を絞めることになる。

松岡 そういう風にプレイヤーが考える、と。

赤尾 そうです。

松岡 そういうことを入れているわけ？

赤尾 そうですね、あの一、いってみれば、もっと、簡単な感じでいうならば、みんながある政党に入れて、ある政党が勝つときには、自分もそっちの政党に乗った方がいいと。

松岡 というふうに、プレイヤーがプレイすると想定するということ？

赤尾 そうです。それで、もし他の人みんなが、こっちに動くということであれば、自分もそっちに動く。みんなが右といえ、自分も右に動くのがよろしいと。みんなが左といえ、左に動くのがよろしい、みたいなのが、資源で時間を入れた場合にはでてくるということですね。

松岡 そこがちょっとよくわからないんだけど、いわゆる「協力ゲーム」ではない「非協力（ゲーム）」なんだけど、いわゆる、そういうビヘイビアに対しての、一定の条件を与えているわけだね。一般的に言えば、みんながそうするから、自分もそうするというのはありえない、というのが、元々の議論としてはありますよね。

赤尾 例えば、このモデルで、これだけでいいんです。ちょっと、専門的な話になって申し訳ないのですが、要するに、関数のかたちが、これ全部でこういうのを満たすようにしていますけれど、これは別に異常な関数型じゃないんですよ。これはいわゆる“logistic equation”ですね。生物資源の、標準的なモデルを使っている。割引率も標準的だと。ものすごく自然なかたちで共存

する。メカニズム的にはそういうことですが、最初にとってしまうよりも、みんな持続的にやってくれるならば、自分も持続的にやった方が、よりたくさんのお菓子が後で得られるから、myopic な行動をしないということです。もっと分かりやすいかと...

松岡
赤尾

だから、それはそういう経済計算をするということだよな？

そうです。合理的な経済プレイヤーを想定すると。もっと分かりやすい話をすると、枯渇資源ですね。どうせいつかはなくなるんですけど、みんながすごいスピードでとっていきんだったら、自分も早くとらないといけない。でも、みんながゆっくりとってくれるんだったら、いっぱいとって、その時に使ってしまうよりはじわじわとった方がいいわけです。そうすると、他の人のスピードに合わせて、自分も、他の人がゆっくりなら、自分も採取スピードをゆっくりにするし、他の人がアクセルを踏むなら、自分も踏むという構造になります。

松岡
赤尾
松岡
ね？
赤尾
松岡

ここの「スピードの速さ」っていうのは、割引率の問題？

割引率が高くなると、この持続的なものは消えますね。

ある程度、割引率が低くないと、そういうことは成り立たないということ

ただ、あの例みたいな、3% という普通の割引率で...

例えば、途上国では一般的に割引率は高いですよ。まあ 10% とかね、結構、普通にありますよね、十数パーセントなんて場合もかなりある。世銀でも、最貧国の場合だと 15% とかね、割引率をセットしたりする。そういう割引率の場合はまた変わってくる？

赤尾

そうです、消えますね、この持続的なものは消えちゃいます。例えば、途上国で割引率が高くなるひとつの理由はリスクがあるからということですが、例えば、その資源を、あるところで政府が、国有地、国有林だからといって、人々を追い出すといったことをやる可能性があれば、その分だけ、ハザード・レートみたいな感じで割引率が上乗せされますから、そうすると、みんな、破滅的な資源利用に変わってきます。この Sorger strategy って書いたところは消えちゃって、この範囲から出て行ってしまいます。n と \bar{n} で比べていますが、rho の値が大きくなれば消えてしまいます。ですから、一般的には、それは普通の協力解でも言えることですが、割引率が高くなるようなリスクが大きな世界では、資源の持続的利用は難しい。

では、みなさん、ペーパーを出して、終わりということにしましょう。

記録：大熊正哲（経済学研究科博士課程）

編集：本多美樹（GIARI 特別研究員）