

進化的観点からみた FD 活動に関する覚書き

横 尾 昌 紀

1 はじめに

大衆化した今日の我が国の大学において、学生がまじめに勉強せず、教員もそれに迎合し、楽に単位を取らせて学生を卒業させてしまう状況は常に懸念されることであろう。このような一種の学級崩壊とも呼べる状況が小中学校のみならず大学においても生じるのであろうか？学生の俗語で、単位修得が容易な科目やその教員を「楽勝」と称することがある。最近、岡山大学経済学部においても、学期末試験実施に際して、持ち込みを許可する講義科目数が著しく増加し、“楽勝化”が過度に進んでいるのではないかという趣旨の指摘が教授会でなされたこともある。ここで使う「楽勝化」という言葉は、教員の意思による行為であり、単に単位修得を容易にするということだけでなく、教員自身の負担を軽減するというニュアンスも含むものと解釈しておく。

楽勝化が進む背景には、大学を取り巻く制度的変化が少なからず影響しているであろうと推測するのは自然であろう。岡山大学でも行われているFD (Faculty Development) 活動と関連して、少なくとも2つの制度的変化がここ約10年の間で起こった。ひとつは、学生による授業評価アンケートを通じた教員の個人評価(教員活動評価)の導入である。これにより、学生からの評価が教員の給与に反映されるため、教育に関する目標が、「よい学生を育てること」から、「学生により教員であるとみなされること」に変わった教員も少なからずいるのではないだろうか。

もうひとつは、シラバスの肥大化あるいは詳細化である。岡山大学のシラバスには、各回毎の授業内容や、到達目標、成績評価方法、講師の研究との関連、その他諸々、挙句の果てには「自己実現にどの程度寄与するか」など、単に履修科目を選択しただけの学生にとってはやや過剰とも思われる情報が記載されるようになった。このシラバスの作成のためにまず少なくとも教員にとっての負担感が増加した。そのこと以上に楽勝化の文脈で重要な点は、学生が履修登録する前、あるいは授業にまじめに取り組むかどうか意思決定する前に、担当教員が学生の成績評価の方法や授業の達成目標を学生に予め明示する必要性が生じるようになったことである。

これは経済学によく登場する「裁量かルールか」という政策的問題の範疇に属する。上記のような肥大化したシラバスの導入は、教員が成績評価の方法や基準を学生の状況に対応しながら柔軟に調整するという「裁量」的政策から、予め設定した「ルール」に自らを拘束して行動するという政策への移行と考えられるであろう。この問題についての記述としては、例えば、梶井・松井(2000)を参照せよ。

前者の個人評価に関する議論は重要であるが別の機会に残しておくとして、本稿では後者のシラバスが教員や学生の行動に及ぼす影響についてのみ考察したい。教員が自身の講義を学生に迎合したものにするか（楽勝化するか）どうか、また、学生がまじめに勉強するかどうかはそれぞれの主体の裁量に任せられるところと考えられるので、そこに他者が直接介入するのは難しい。しかし、シラバスという制度であれば、意思決定をする主体の環境を変容させるだけなので、その導入や廃止、記載内容の変更などは相対的に容易であろう。したがって、シラバスの制度的研究により間接的に教員、学生、そして社会にとってより好ましい状況を達成するための洞察が得られると期待できよう。

ではそもそも、シラバスを導入したり、そこに細かい情報を多く記載することで、学級崩壊のような状況を回避できるのであろうか？このような問題を以下で検討していくことにする。

議論の土台として、それぞれ一定の選好をもつ教員と学生との間の戦略的状況を単純なゲームで記述する。そこでシラバスという制度がある場合とない場合とを、合理性と進化の両方の観点から比較検討する。

2 ゲームの設定

大学教員と学生との戦略的状況を考える。教員は、単位の修得のための難易度を通常水準に「維持する」（記号：○）か、「引き下げる」（記号：×）という選択肢を行う。後者がいわゆる「楽勝化」であり、例えば、期末試験を行う代わりに出席点や簡単なレポート提出だけで単位を出す、試験に持ち込みを安易に認める、甘く採点する、問題と解答が事前に容易にわかるようにする、担当教員の著作を購入し一部丸写しにすれば単位が得られるようにする等々、様々なものを含みえる。さらに教員にとっても楽勝化は通常の期末試験を行うよりも負担の軽減になると想定する。学生は、まじめに「勉強する」（記号：○）あるいは、「勉強しない」（記号：×）という選択を行う。学問に対し熱心な学生と細やかな指導に情熱を燃やす教員が出遭うならば、そもそもここで問題にしたい事態は生じないであろう。よって以下では、“怠惰な”教員と“怠惰な”学生を想定しよう。

いま、 $A \succ_j B$ で、プレーヤー j は A を B よりも好む、と解釈する。ゲームの帰結（outcome）を

（教員の選択，学生の選択）

という順序対で表現すると、起こるべき状態は、 $(\bigcirc, \bigcirc)$ 、 $(\bigcirc, \times)$ 、 $(\times, \bigcirc)$ 、 $(\times, \times)$ の4つである。教員および学生の選好を以下のように仮定する。

教員の選好： $(\times, \bigcirc) \succ_{\text{教}} (\bigcirc, \bigcirc) \succ_{\text{教}} (\times, \times) \succ_{\text{教}} (\bigcirc, \times)$

学生の選好： $(\times, \times) \succ_{\text{学}} (\times, \bigcirc) \succ_{\text{学}} (\bigcirc, \bigcirc) \succ_{\text{学}} (\bigcirc, \times)$

上記の選好を解釈すると、教員は、自分が面倒な期末試験などしなくても学生が自発的に勉強する状況を最も好む。やや議論がありそうではあるが、最も好まないのが、学生が全く勉強していない状

況で期末試験を厳密に行ってしまい、学生が単位を修得できない状況に陥ることである。さらに、学生が勉強し、教員も期末試験を行って厳密に採点する“健全な”状況と、学生が勉強していないに関わらず、教員が容易に単位を与えてしまう“不健全な”状況、言い換えれば、学級崩壊の状況とを比較すれば、教員は前者を好むと仮定している。一方、学生はいかに楽して卒業するかを考えているので、勉強しなくても単位が修得できる状況を最も好む。最も好ましくないのは単位を落とすことで、これは自分が勉強せず、かつ教員が厳密な期末試験を行うときに生じる。勉強をしたという前提であっても、厳正な試験で成績評価が行われる状況と楽なレポート提出で評価が行われる状況では、よりリスクの少ない後者を好むと想定する。

以下で、議論の単純化のために、各プレイヤーともに上記の選好の第1位から第4位まで順に3, 2, 1, 0という利得をそれぞれ対応させる。

3 シラバスがない場合：合理性基準による分析

まず比較の対象として、シラバスという制度自体がない場合に何が起きるのかを検討したい。すなわち、授業の開始前に、学生が成績の評価方法や評価基準について知らされていない状況である。精々のところ、学生は教員から第1回目の授業で評価方法や基準について口約束は教員からされるかもしれないが、学期末になってそれが反故にされる場合もあり得ることを認識している。学生が講義内容を理解しているかどうか、少なくとも学習する努力をしているかどうか、授業形態や教員の教育経験などによっても異なるが、一般に教員からは不完全にしか観察できない。ここではその両極端の場合として、学生の行動（勉強するかどうか）が教員から完全に見えない場合と、逆に完全に見える場合を考察しよう。後者の「見える」場合は、例えば、主に少人数の授業で学生に発表させたり、あるいは大人数の講義であっても出席状況、教員学生間でのディスカッション、グループワークなどの参加状況を通じて間接的に把握できると考える。以下でそれぞれについて簡単に見ていく。

3.1 学生の行動が観察できない場合

学生の行動が観察できない場合を考える。教員、学生ともに、やや非現実的ではあるが、互いの選好を知っていると仮定する。しかし、各プレイヤーともに自身の意思決定に際し、相手の意思決定についてはわからないので、結局、この状況は同時手番ゲームとなり、表1の戦略形ゲームで表現できるであろう。

このゲームのナッシュ均衡は混合戦略まで含めても（×, ×）のみである。すなわち、教員は講義

表1：シラバスがなく、学生の行動が観察できない場合

教\学	○	×
○	2, 1	0, 0
×	3, 2	1, 3

を楽勝化し (×), 学生は勉強しない (×), という学級崩壊状況が発生すると予測される。

3.2 学生の行動が観察できる場合

次に学生の行動が観察できる場合を考える。この場合, 学生が勉強するかどうかの意思決定を行い, それを教員が観察した後の学期末に, 教員は期末試験をするかどうか, 成績評価を甘くするかどうか, などの決定をすることになる。この状況は「裁量かルールか」という問題においては, 教員の「裁量」に対応する。よって, この状況を図1で表される, 学生が先手となる展開形ゲームで記述しよう。

S_j でプレーヤー j の純粋戦略の集合を表すと, 図1のゲームでの各プレーヤーの純粋戦略は,

$$S_{\text{教}} = \{\text{〇〇}, \text{〇} \times, \times \text{〇}, \times \times\},$$

$$S_{\text{学}} = \{\text{〇}, \times\}$$

となる。よって, 図1に対応する戦略形表現は, 表2で表される。純粋戦略の最適反応に対応する利得の数値に下線を引いておく。

純粋戦略の範囲でのナッシュ均衡は (〇×, ×), (×〇, 〇), (××, ×) である。このうち (実際には混合戦略のナッシュ均衡まで含めて) 部分ゲーム完全均衡は (××, ×) である。したがって, ナッシュ均衡より高い合理性基準である部分ゲーム完全性を以て行動を予測すれば, 帰結としては前小節

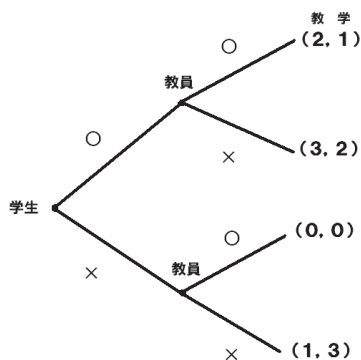


図1：シラバスがない場合の展開形ゲーム

表2：シラバスがなく, 学生の行動が観察できる場合

教\学	〇	×
〇〇	2, <u>1</u>	0, 0
〇×	2, 1	<u>1</u> , <u>3</u>
×〇	<u>3</u> , <u>2</u>	0, 0
××	<u>3</u> , 2	<u>1</u> , <u>3</u>

の帰結と変化なく、教員は講義を楽勝化し、学生は勉強しない、ということになる。しかしながら、合理性の基準をナッシュ均衡まで下げるとき、帰結としては、教員が楽をしながら学生は熱心に勉強するという、教員からすると理想的な状況もナッシュ均衡($\times \bigcirc, \bigcirc$)により可能となる。勿論、このナッシュ均衡には教員による空脅しが含まれている。解釈するなら、教員は学生に対し、「もし勉強していないことがわかれば、そのときには厳しい試験をするので、単位が取れませんよ」というような嘘の脅しを掛け、学生はそのはったりには怯えて勉強するという状況である。

この後の分析のために混合戦略のナッシュ均衡を提示しておく。教員の戦略 $\bigcirc\bigcirc$ は $\times \times$ に強支配されているので、教員が $\bigcirc\bigcirc$ を均衡でとる確率は0である。教員が $\bigcirc \times$ をとる確率を $x \in [0, 1]$ 、 $\times \bigcirc$ をとる確率を $y \in [0, 1]$ 、 $\times \times$ をとる確率を $1 - x - y \in [0, 1]$ とし、学生が $\bigcirc$ をとる確率を $z \in [0, 1]$ 、 $\times$ をとる確率を $1 - z \in [0, 1]$ とおく。ちょっとした計算により、混合戦略のナッシュ均衡は以下のような2つの連続体の部分集合、 N_1, N_2 、からなる。表記が煩雑になるので、 x, y, z だけを使って表すと、

$$N_1 = \{((x, y), z) : x = 0, y \geq \frac{1}{3}, z = 1\},$$

$$N_2 = \{((x, y), z) : x \in [0, 1], y = 0, z = 0\}$$

となる。 N_1 は学生が勉強するナッシュ均衡である。 N_2 は学生が勉強しないナッシュ均衡であるが、部分ゲーム完全均衡 $((x, y), z) = ((0, 0), 0)$ を含む。

4 シラバスがある場合：合理性基準に基づく分析

次にシラバスを導入した場合を検討しよう。この場合、まず教員が先手となって意思決定を行い、それをシラバスに書き込む。勿論、シラバスに書いたことを教員が遵守することが前提となっている。学生はそのシラバスを見た後に、勤勉に勉強するか否かを決める。これは「裁量かルールか」の問題の「ルール」に対応する。この状況を図2の展開形ゲームとして表現する。

各プレイヤーの純粋戦略は以下のようになる。

$$S_{\text{教}} = \{\bigcirc, \times\},$$

$$S_{\text{学}} = \{\bigcirc\bigcirc, \bigcirc \times, \times \bigcirc, \times \times\}$$

表3：シラバスがある場合

教\学	$\bigcirc\bigcirc$	$\bigcirc \times$	$\times \bigcirc$	$\times \times$
$\bigcirc$	2, <u>1</u>	<u>2</u> , <u>1</u>	0, 0	0, 0
$\times$	<u>3</u> , 2	1, <u>3</u>	<u>3</u> , 2	<u>1</u> , <u>3</u>

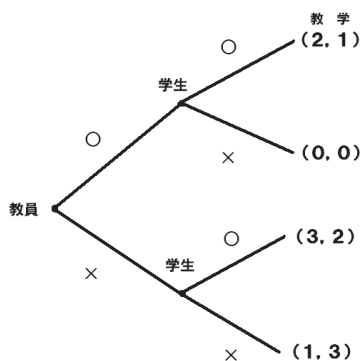


図2：シラバスがある場合の展開形ゲーム

となる。図2の展開形に対応する戦略形表現は、表3で表される。前節同様に純粋戦略の最適反応に対応する利得の数値に下線を引いておく。純粋戦略のナッシュ均衡は $(\bigcirc, \bigcirc \times)$ と $(\times, \times \times)$ である。後述の混合戦略まで含めたナッシュ均衡の中で、部分ゲーム完全均衡は $(\bigcirc, \bigcirc \times)$ である。

混合戦略の範囲でのナッシュ均衡を求めておこう。学生の戦略 $\times \bigcirc$ は $\bigcirc \times$ に強支配されている。よって均衡で $\times \bigcirc$ が正の確率でとられることはない。教員が $\bigcirc$ をとる確率を $x \in [0, 1]$ 、 $\times$ をとる確率を $1-x \in [0, 1]$ 、学生が $\bigcirc \bigcirc$ をとる確率を $y \in [0, 1]$ 、 $\bigcirc \times$ をとる確率を $z \in [0, 1]$ 、 $\times \bigcirc$ をとる確率を 0、 $\times \times$ をとる確率を $1-y-z \in [0, 1]$ とおく。前節と類似して、ここでのナッシュ均衡の集合は以下の2つ連続体の部分集合 M_1 と M_2 からなる。

$$M_1 = \{(x, (y, z)) : x = 1, y + z = 1, z \geq \frac{1}{2}\},$$

$$M_2 = \{(x, (y, z)) : x = 0, y = 0, z \leq \frac{1}{2}\}.$$

部分ゲーム完全均衡は $(\bigcirc, \bigcirc \times)$ 、あるいは、 $(x, (y, z)) = (1, (0, 1))$ は M_1 に属する。 M_1 においては、教員は楽勝化せず、学生は勉強する。よって、部分ゲーム完全均衡をゲームの解概念として採用するなら、シラバス導入前と後では結果に大きな違いが生じることがわかる。すなわち、シラバス導入後に学生が勉強するようになったのである。しかし、 M_2 での帰結は、シラバス導入前の部分ゲーム完全均衡の帰結と同じで、教員は講義の楽勝化を行い、学生は勉強しない。そこでは「シラバスに試験をすると書いても勉強しないぞ」という学生の空脅しに教員が屈する形で学級崩壊の状態が維持されている。

5 シラバスがない場合：進化的分析

前節までの合理性の基準を離れ、進化的な動学過程を考える。ここでいう進化とは淘汰 (selection) と突然変異 (mutation) とが結合した動学的な過程であると捉える。淘汰の側面については、常微分方程式による標準的な複製子動学 (replicator dynamics) を用いて表す。これに突然変異の効果を線形

の遷移過程として加法的に追加する。本稿では、厳密な解析を省き、何が起こり得るかを示唆する数値シミュレーションの結果のみを例示する。

複製子動学の詳細については、例えば、Hofbauer and Sigmund (1988) や Weibull (1990) を参照されたい。表 1 で表される複製子動学については、以下で述べる意味での突然変異がない場合、 $(\times, \times)$ のナッシュ均衡に対応する定常状態が大域的に漸近安定になることが簡単に示されるので、進化による予測は合理性のそれと一致する。よってここでは表 2 で表されるゲームに焦点を当てる。

まず、教員の戦略 $\bigcirc\bigcirc$ が $\times\times$ に強支配されていることに注意する。強支配された戦略が複製子動学のもとで生き残ることはないことが知られているので (Weibull 1990)、単純化のために、教員の戦略 $\bigcirc\bigcirc$ を予め消去する。すると、教員および学生の利得行列 A , B はそれぞれ以下のように表せる。

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 0 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}.$$

教員が $\bigcirc\times$ をとる確率を x_1 , $\times\bigcirc$ をとる確率を x_2 , $\times\times$ をとる確率を x_3 とおく。同様に、学生が $\bigcirc$ をとる確率を y_1 , $\times$ をとる確率を y_2 とおく。各プレイヤーの混合戦略ベクトルを

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3), \quad \mathbf{y} = (y_1, y_2)$$

と書き、対応する突然変異を含む複製子動学を、単一群体版である Hofbauer and Sigmund (1988) による定式化の 2 群体版への拡張として、

$$\dot{x}_i = x_i[(A\mathbf{y})_i - \mathbf{x} \cdot A\mathbf{y}] + \sum_{j=1}^3 (\varepsilon_{ij}x_j - \varepsilon_{ji}x_i), \quad i = 1, 2, 3, \quad (1)$$

$$\dot{y}_i = y_i[(B^T\mathbf{x})_i - \mathbf{y} \cdot B^T\mathbf{x}] + \sum_{j=1}^2 (\delta_{ij}y_j - \delta_{ji}y_i), \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

で与えることにする。ここで “ $\cdot$ ” は内積を、“ T ” は転置を表す。また、 ε_{ij} は j 番目の戦略から i 番目の戦略への突然変異率であり、各 j に対し、

$$\varepsilon_{ij} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^3 \varepsilon_{ij} = 1$$

を満たす。 δ_{ij} についても同様である。各式の第 1 項は淘汰を、第 2 項は突然変異を表現している。 $\sum_i x_i = 1$, $\sum_i y_i = 1$ より、複製子動学 (1)–(2) は実質 3 次元の微分方程式系になる。また第 3 節で使用した記号と整合させるために、混合戦略ベクトルが以下の対応関係をもつことに注意する。

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3) = (x, y, 1 - x - y), \quad \mathbf{y} = (y_1, y_2) = (z, 1 - z).$$

5.1 突然変異がない場合

シラバスがない状況で、複製子動学 (1)–(2) において突然変異が起こらない場合をまず検討する。突然変異が起こらないので、 $i \neq j$ のとき $\varepsilon_{ij} = 0$ 、 $i = j$ のとき $\varepsilon_{ij} = 1$ である。 δ_{ij} についても同様である。よって、(1) から (2) の各式の右辺第 2 項が消える。

複製子動学 (1)–(2) に対し、適当な乱数発生機構を用いて無作為に初期条件を与え、その軌道を計算機で計算し観察する。内点から出発する軌道はナッシュ均衡の集合 N_1 あるいは N_2 に引き寄せられる様子が見て取れる。集合 N_1 、 N_2 は複製子動学 (1)–(2) の定常点の集合であり、その上で位相推移性をもつ、いわゆるアトラクター (attractor) ではないことに注意する。実際、どの軌道もナッシュ均衡集合内のそれぞれ異なる 1 点にのみ近づく様子が観察できる。

ここでは変数 y について、その時系列をプロットしたものを図 3 に示す。図 3 において、 $1/3$ より大きな値に漸近しているのが N_1 に近づく軌道である。ここでは最終的に学生が勉強し、教員は $\times \bigcirc$ と $\times \times$ を無作為化する。帰結としては、学生は勉強し、教員は楽勝化を享受している。一方、 y が時間とともに 0 に向かう時系列は、 N_2 に向かう軌道を示しており、ここでは最終的に学生は勉強しない。教員は $\bigcirc \times$ と $\times \times$ を無作為化する。帰結として得られるのは、学生が勉強せず、教員は楽勝化をするという状況であるが、これは同時手番のナッシュ均衡と同じ学級崩壊の状況である。重要な点は、合理性の基準では排除された、学生が勉強するという帰結も、淘汰圧のもとで生き残ったことである。しかもその帰結は教員にとってすべての可能性の中で最も好まれるものであることは特筆に値するであろう。

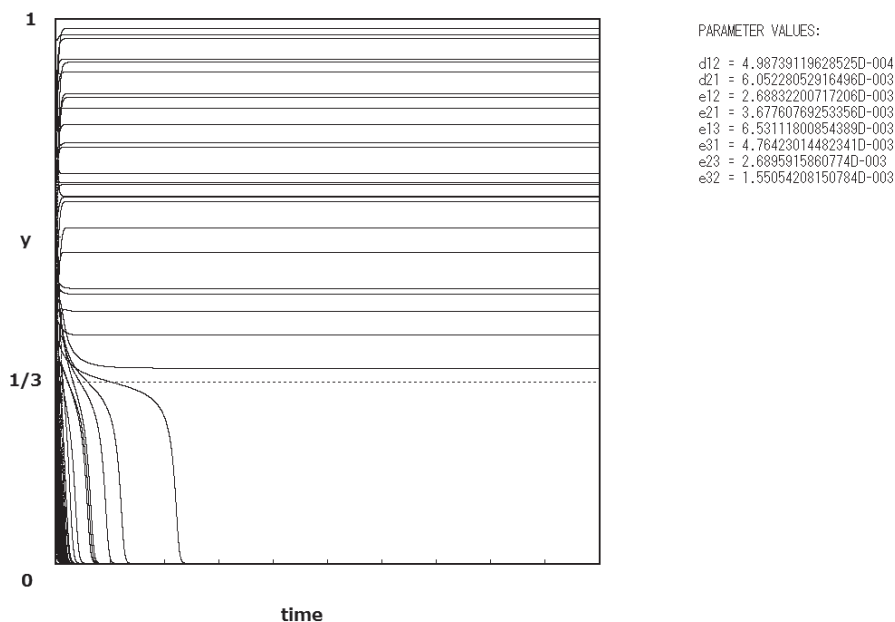


図 3：シラバスなし，突然変異なし。y の時系列。

5.2 突然変異がある場合

詳細は省くが簡単な計算から、前小節でのナッシュ均衡の集合 N_1 および N_2 の任意の点で評価した複製子動学のヤコビ行列はゼロを固有値に含む。このような非双曲型の定常状態の近傍の動学的挙動は、定常状態の存在自体も含めて、一般に摂動された系の動学的挙動と定性的に異なる。この意味でこのナッシュ均衡の集合は頑健性を持たないかもしれない。これは現象を近似するモデルの性質として好ましくない。

そこで淘汰圧とは別の要因で戦略を変更する、一種の摂動として突然変異をとらえ、そのもとでナッシュ均衡の存在と安定性がどのように影響を受けるか観察する。ちなみに、同種の問題を扱った文献として、Binmore, Gale, and Samuelson (1995) があるが、彼らは単純化された最後通牒ゲームに発生する連続体のナッシュ均衡の頑健性を吟味するために、“ノイズ” (noise) を含む複製子動学を考察した。彼らのノイズによる定式化はここでの突然変異を含む定式化の特殊形であることが理解できる。

突然変異率を $\epsilon_{ij} < 10^{-2}$, $\delta_{ij} < 10^{-2}$ ($i \neq j$) の範囲で無作為に一組選んで、そのもとで無作為に選ばれた多数の初期条件に対し、複製子動学 (1)–(2) により各軌道を数値計算した。突然変異がない場合では、初期条件ごとに異なる状態に収束したが、突然変異がある場合には、突然変異なしのナッシュ均衡の集合である N_1 (部分ゲーム完全均衡を含まない) および N_2 (部分ゲーム完全均衡を含む) の近くにそれぞれ局所漸近安定な定常点が典型的に生じ、軌道がそれらの点に吸引される様子が観察された。一定の突然変異率の組と100組の初期条件に対する y に関する時系列を図4に表示する。突然変異がないときに1/3以上の様々な値に収束していた y は、突然変異の導入により、 N_1 の近くではひとつの値に収束していくように見える。

次に、 N_1 の近傍に生じた漸近安定定常点に向かう典型的な軌道と、 N_2 のそれをそれぞれ図5と図6に例示する。重要なことは以下の2つの点にある。ひとつは、 N_1 にせよ N_2 にせよ、突然変異という摂動のもとで生き残ることが典型的にありえるということだ。つまり、摂動しても近傍に吸引性のある定常状態を発生させることで、これらの均衡で近似される帰結は長期的に観察可能となりえる。より重要なもう1点は、その含意として、学生が勉強する状態 ($z \approx 1$) としない状態 ($z \approx 0$) がと

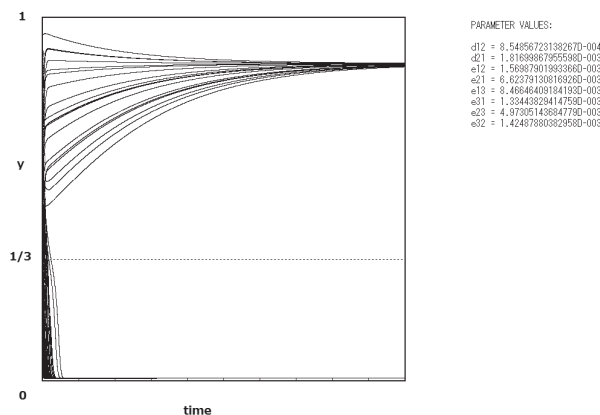


図4：シラバスなし、突然変異あり。 y の時系列。

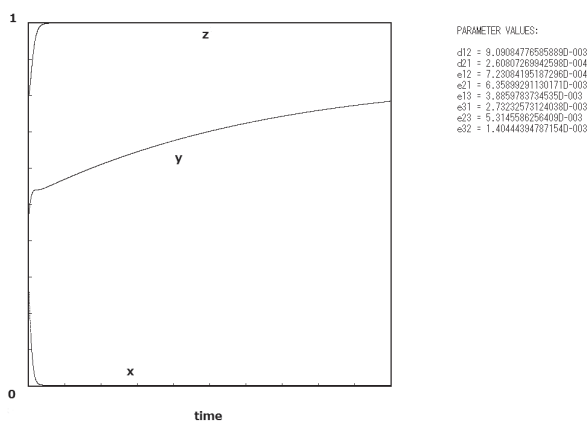


図5：シラバスなし，突然変異あり。 N_1 近傍に収束する1組の (x, y, z) の時系列。

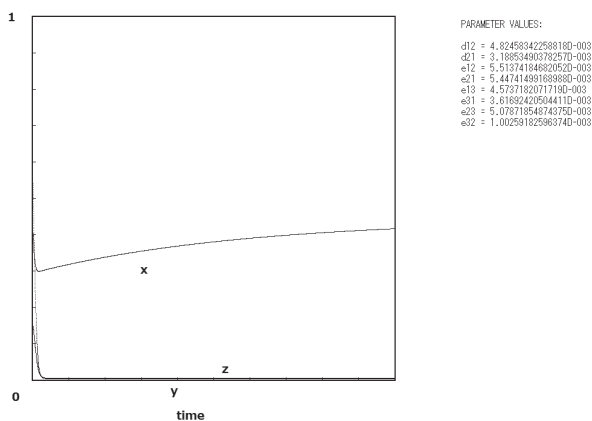


図6：シラバスなし，突然変異あり。 N_2 近傍に収束する1組の (x, y, z) の時系列。

もに典型的な帰結として生じることである。すなわち，合理性基準のもとで排除された「学生が勉強して教員が楽する均衡」は，ここでの進化過程のもとでは典型的形態として実現すると考えられるのである。

6 シラバスがある場合：進化的分析

シラバスがない場合と同様に定式化する。まず学生の戦略 $\times \bigcirc$ が $\bigcirc \times$ に強支配されているので，これを消去しておく。すると，記号の節約のために前節と同じ記号を使えば，教員の利得行列 A と学生の利得行列 B はそれぞれ，

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 0 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 2 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

となる。教員の戦略ベクトル x 、および学生の戦略ベクトル y はそれぞれ、

$$x = (x_1, x_2) = (x, 1 - x), \quad y = (y_1, y_2, y_3) = (y, z, 1 - y - z)$$

となる。対応する複製子動学は、

$$\dot{x}_i = x_i[(Ay)_i - x \cdot Ay] + \sum_{j=1}^2 (\varepsilon_{ij}x_j - \varepsilon_{ji}x_i), \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

$$\dot{y}_i = y_i[(B^T x)_i - y \cdot B^T x] + \sum_{j=1}^3 (\delta_{ij}y_j - \delta_{ji}y_i), \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

で与えられる。

6.1 突然変異がない場合

内点を初期条件にもつ軌道は連続体のナッシュ均衡集合 M_1 あるいは M_2 のいずれかに収束するように見える。ここでは無作為に与えられた初期条件に対する変数 z (学生が $\bigcirc \times$ をとる確率) の時系列を図 7 に示す。 N_1 や N_2 と同様に、これらの集合も定常点の集合であり、アトラクターではない。実際、どの軌道もナッシュ均衡集合内のそれぞれ異なる 1 点にのみ近づく様子が観察できる。しかしながら、長期において観察できる帰結は 2 種類である。すなわち、ひとつは教員が講義を楽勝化せず、学生が勉強する状況 (M_1) であり、これは部分ゲーム完全均衡の帰結と同じである。もうひとつは教員が講義を楽勝化して、学生が勉強しない状況 (M_2) である。部分ゲーム完全均衡とは完全に異なる学

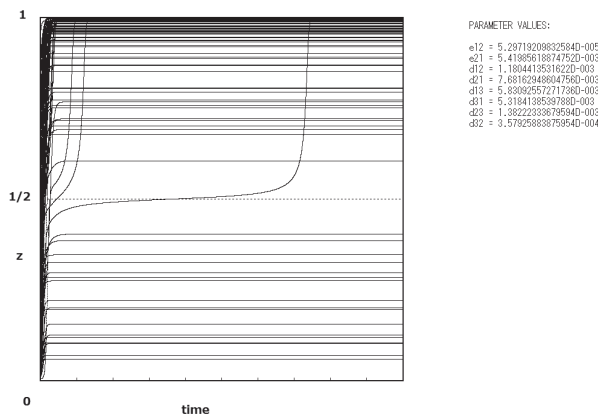


図 7：シラバスあり，突然変異なし。 z の時系列。

級崩壊の帰結も少なくない頻度で観察されることに注意すべきである。

6.2 突然変異がある場合

ここでの定式化による突然変異の導入により、図8に見るように、 z は初期条件に依存して1/2より大きいある値あるいは小さいある値のいずれか一方に漸近する様子が観察できる。これは突然変異による摂動により、 M_1 および M_2 それぞれの近傍に、複製子動学(3)–(4)の局所漸近安定な定常状態がそれぞれ(少なくとも)1つずつ発生したことを示唆している。

M_1 および M_2 のそれぞれの近傍に生じた漸近安定な定常点に向かう典型的な一組の (x, y, z) の時系列を図9と図10に示す。シラバスがない場合と同じように、シラバスがある場合でも、 M_1 も M_2 も摂動のもとで近傍に漸近安定な定常点を発生させるという意味での頑健性をもつこと、加えて、学生が勉強する状態($x \approx 1$)も、部分ゲーム完全性で排除される、学生が勉強しない状態($x \approx 0$)もともに典型的な現象として生じえるということが重要である。

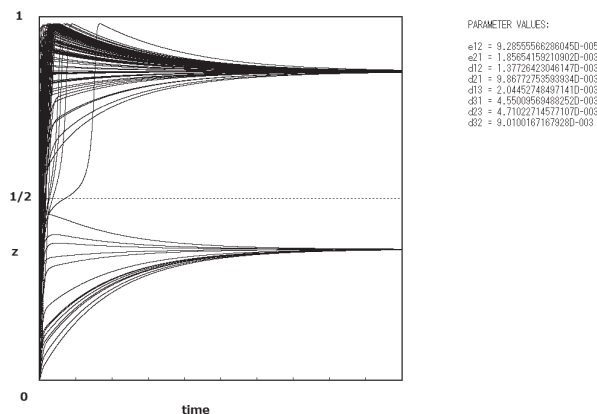


図8：シラバスあり，突然変異あり。 z の時系列。

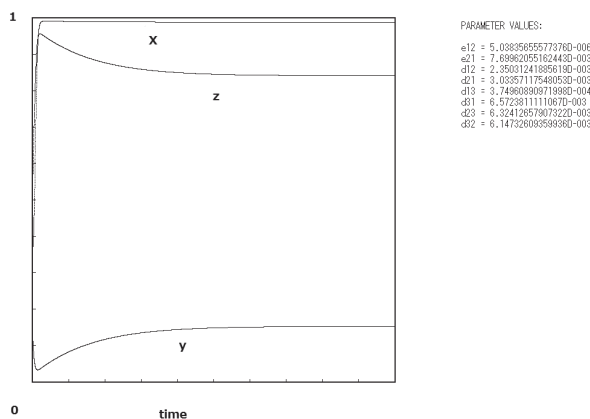


図9：シラバスあり，突然変異あり。 M_1 近傍に収束する1組の (x, y, z) の時系列。

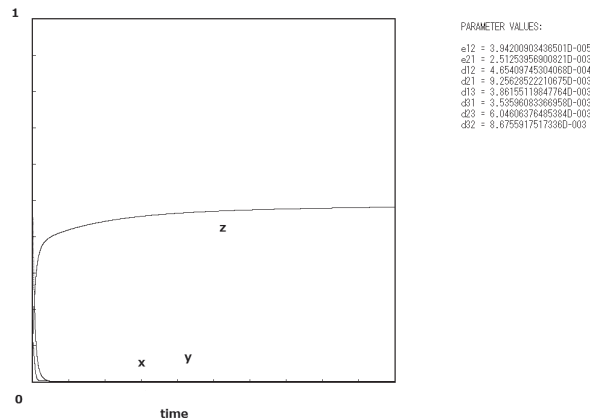


図10：シラバスあり，突然変異あり。 M_2 近傍に収束する1組の (x, y, z) の時系列。

7 結果に関する考察

ここまでの観察結果に基づいて，シラバスを導入する前後での状況を合理性の観点と進化の観点から比較検討してみよう。

まず合理性の観点から振り返る。ナッシュ均衡よりも高い合理性を要求する部分ゲーム完全均衡を解概念として採用し，それが実現するとして教員と学生の行動を予測する。結果は以下の通りであった。シラバス導入前では，学級崩壊状態にあり，学生は勉強せず，教員は楽勝化する。シラバス導入後には，逆に，学生は勉強するようになり，教員は楽勝化しなくなる。シラバス導入により，正常な教室が復活したかのように見える。この帰結の変化を $(\times, \times) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$ と表記する。シラバスの導入で教員は利得が上昇し（この後の負担の問題もみよ），学生は下がった。ここでは怠惰な学生を想定していることを思い出そう。学生にまじめに勉強させることを目標にする‘社会’（別の案として，学長，世論，教育的観点，あるいは大学の社会的ミッションと考えてもよいであろう）の視点を考慮すると，‘社会’はシラバスは導入すべきだ，という主張をすることになる。

次に進化的視点で同じ状況を考察してみよう。突然変異がある場合の数値計算の結果から，部分ゲーム完全均衡だけでなく，部分ゲーム完全でないナッシュ均衡も実現しえることがわかった。するとシラバス導入前で2通りの帰結，つまり， $(\times, \times)$ と $(\times, \bigcirc)$ ，そして，導入後にも2通りの帰結，つまり， $(\bigcirc, \bigcirc)$ と $(\times, \times)$ がありえる。シラバスの導入際に初期条件が無作為に与えられると仮定すると，今回の観察できた範囲では，全部で4通りの変化の組み合わせが典型的に考えられる。それぞれに対し，導入によって厚生が上がったか（記号：+），下がったか（記号：-），変化なし（記号：0）を，教員，学生，および‘社会’の観点から表4にまとめる。ただし，ここでの‘社会’は学生が勉強するかどうかに関心があるとする。

表4の4行目の $(\times, \bigcirc) \rightarrow (\times, \times)$ の変化に着目する。ここでは変化前後のいずれの状況でも教

表 4：進化的観点からみたシラバス導入前後の厚生比較

	教員	学生	‘社会’
$(\times, \times) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$	+	-	+
$(\times, \times) \rightarrow (\times, \times)$	0	0	0
$(\times, \bigcirc) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$	-	-	0
$(\times, \bigcirc) \rightarrow (\times, \times)$	-	+	-

表 5：負担を考慮したシラバス導入前後の教員の厚生比較

	$c = 0$	$c \in (0, 1)$	$c > 1$
$(\times, \times) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$	+	+	-
$(\times, \times) \rightarrow (\times, \times)$	0	-	-
$(\times, \bigcirc) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$	-	-	-
$(\times, \bigcirc) \rightarrow (\times, \times)$	-	-	-

員は楽勝化しているのであるが、もともと勉強をしていた学生が、シラバスを導入することによって、勉強しなくなっている。つまり、シラバスを導入することでわざわざ学級崩壊を招いた最悪の例である。表 4 の 1 行目の $(\times, \times) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$ ように、学生がシラバス導入により勉強するようになる教育上好ましい例もあるので、進化的観点からは、シラバスは諸刃の剣であることが理解できる。

表の矢印を逆に読めば、シラバスを導入ではなく廃止（あるいは少なくとも簡素化）した場合の効果がわかる。例えば、再び 4 行目に着目すれば、もしシラバスを導入していて、かつ学級崩壊が起きているとき、シラバスを廃止ないし簡素化した場合に学生が勉強するようになることを述べている。

シラバスの導入や肥大化にともなう教員の負担について若干考察する。シラバスを導入した際、教員にのみ $c > 0$ という費用が掛かると仮定する。この費用の追加はナッシュ均衡の構成や複製子動学の挙動には影響しない。費用がゼロの場合、費用が比較的小さい場合 $c \in (0, 1)$ 、費用が比較的大きい場合 $c > 1$ に分けて、表 4 の教員の厚生の変化がどのように異なるか表 5 にまとめてみる。

表 4 の 2 行目のように、学級崩壊状態がシラバスを導入しても廃止しても維持される場合もある。もし負担を考慮するならば、表 5 にあるように教員の厚生はシラバス導入で下がる。逆に廃止で上がる。他のプレイヤーには影響がないので、シラバスの廃止がむしろパレート改善になる場合があることを示している。この場合は、シラバスの導入ないし肥大化は単に骨折り損ということである。

より興味深いのは、合理性基準と同じ帰結の変化パターンである、表 4 の 1 行目、 $(\times, \times) \rightarrow (\bigcirc, \bigcirc)$ の場合だ。表 5 から、ここでは、シラバス作成の負担の大小に依存して、この帰結の変化のもとでの教員の厚生が定性的に変わる。つまり、この帰結の変化パターンを所与として、負担がある一定限度内 $c \in (0, 1)$ に納まる簡素なシラバスの導入であれば教員にとって望ましいが、それを超える負担 $c > 1$ となる肥大化したシラバスの導入は教員にとってもはや望ましいものではなくなる。よって、教員はそのようなシラバスの制度を導入して学生に勉強するよう仕向けるよりも、学級崩壊の状態に

甘んじることを選ぶ。

このように、もし人々がそれほど合理的ではなく、進化的過程で表現されるように、場当たりの行動をする行動主体であることを前提にするならば、シラバスは合理性に依拠した推論が示すほど樂觀的結末をもたらすものではなく、ときに教育上無益あるいは有害となる場合も少なからずありえることを本稿の諸結果は警告している。したがって、一種のフェイルセーフ (fail safe) の観点から、学級崩壊というような意図せざる方向に陥る場合も考慮に入れて、そうなった場合の教員の徒労の虚無感を軽減すべく、シラバスは導入するにしてもできるだけ簡素なものにするのが望ましいと筆者は考える。

最後にいくつか注意点と今後の課題について述べておく。まず、複製子動学の数値計算による結果であるが、本稿では網羅的なものを意図したわけではないので、突然変異率の配置によっては、今回例示したものとは異なる変動パターンが当然発生するかもしれない。十分ありえそうな状況として、部分ゲーム完全でないナッシュ均衡が突然変異のある摂動によっては完全に消えてしまうという場合である。そうなった場合、合理性による結果がよい近似となるかもしれない。これらの厳密な解析は今後の課題である。また複製子動学のもとで複数定常状態が長期的に選ばれえることを数値計算で例示したが、吸引力をもつ定常状態の、状態空間内での吸引域 (basin of attraction) の配置、特に複数の吸引域の境界 (basin boundary) が状態空間内でどのような構造をしているのかは調べる価値がある問題である。最後にゲームの設定に関して、今回は、教員、学生ともにそれぞれ1種類の選好パターンのみに限定した。ありえそうな別の選好パターンや、あるいは複数の選好が共存する場合、すなわち、プレーヤー間の異質性がある場合の分析も今後の課題である。

参 考 文 献

- [1] Binmore, K. G., Gale, J., and Samuelson, L., 1995, Learning to be imperfect: the ultimatum game, *Games and Economic Behavior* 8, pp. 56-90.
- [2] Hofbauer, J. and Sigmund, K., 1988, *The Theory of Evolution and Dynamical Systems*, Cambridge University Press. (邦訳: 『生物の進化と微分方程式』(1990), 竹内康博訳, 現代数学社)
- [3] 梶井厚志・松井彰彦『ミクロ経済学戦略的アプローチ』(2000), 日本評論社。
- [4] Weibull, J. (1995), *Evolutionary Game Theory*, MIT Press. (邦訳: 『進化ゲームの理論』(1998), 大和瀬達二監訳, オフィスカノウチ)