

流行と多様性の創発

——マルチエージェント・アプローチ——

中 田 善 啓
石 垣 智 徳

1. はじめに

流行や文化は社会全体からみて多様性をもつ。流行は社会ですべての人が特定の製品を購入したり、特定の行動をとることがあるが、むしろいくつかのタイプが共存することが多い。たとえば、若者だけでなく多くの年代で毛染めが流行している。茶、赤、白など染めるセグメント（グループ）が複数存在し、まったく染めないセグメントも存在する。文化もアメリカにはアメリカ的文化、日本には日本的文化が存在するように、社会は多極化している。一般に社会はローカルなレベルでは同質性をもつが、グローバルに見ると多様性がみられる。人間は流行や文化にみられるように周囲と同質化しようとするが、社会全体では異質性が創発する。ここで、創発はマイクロレベルないしは個別の行動を単純に社会やマクロに拡大するものとは異なった構造を持つマクロ的ないしは集合的行動が生成することをいう。その意味で、複雑系の分析は創発プロセスを分析することとよい。

本稿は流行や文化は異質の選好をもつ多数のエージェントから少数のセグメント（グループ）への進化した状態と考える。この時のセグメントは同質のニーズをもった複数のエージェントからなる。また、多様性は進化によ

て創発するセグメントないしはグループの数と考えよう。個人が特定の規則に従って行動するとすれば、社会全体としてどのような性格をもつ構造が創発するであろうか。どのようにして異質のエージェントの行動が社会のグローバルなマクロの規則性を生み出すのであろうか。個別の行動というミクロからマクロの規則性、ないしは構造についての仮説を検証することは至難の業である。しかし、複雑系としてのマルチエージェントの研究は異質な特質をもつエージェントが社会的、文化的特質をもつローカルな地域で行動し、社会的にどのような構造が創発するかを明らかにしようとしている。⁽¹⁾この時マクロの構造はボトムアップから生成し、エージェント間の相互作用によってエージェント間の連結ネットワークが進化していくと考える。異質の文化的(たとえば態度)特色をもつエージェントが単純な行動をしたときに、どのような特色をもつ社会が創発するかはマルチエージェントの研究課題の1つである。

われわれは Axelrod [1997] のエージェント・ベースのコンピュータ・シミュレーションを使って、流行や文化の多様性がなぜ生成するかを調べる。そしてエージェントが行動規則として他者を模倣することによって、文化や流行という社会の構造が創発することを明らかにする。この意味でわれわれのアプローチは方法論的に個人主義的である。しかし、単純な個人主義的立場ではなく、創発する集団的構造あるいは制度がエージェントの社会にフィードバック効果をもたらすという、構造から個人への影響を考慮するモデルへ発展させることができる。われわれは多くのモデルのように均衡に限定されず、モデルのダイナミクスに関心をもっている。文化やファッションのようなコミュニケーションのダイナミクスが主要な課題である。スタティックな均衡分析よりも流行や文化の安定から不安定という不連続なダイナミクスが

(1) 最近のマルチエージェントの研究については生天目 [1998] を参照。

分析対象である。

われわれが依拠している Axelrod [1997] のモデルはエージェントが10×10の正方形のマップに位置し、東西南北に位置するエージェントと相互作用を行うことができる。エージェントはムラ、地域、国、企業、産業界などまたは社会的なエンティティである。各エージェントはいくつかの（ここでは5つ）属性をもち、各属性は0から9までの整数値の1つをとる。初期状態でエージェントの異質性はそれぞれの属性についてランダムな整数値（Axelrod モデルで特色と呼ばれる）で表現される。属性は服装、言語のパターン、宗教など文化的に決定された特質である。ここでは製品属性に対する消費者の態度と考える。

Axelrod モデルの主要な論題は以下のように機能する単純なメカニズムの文化的な伝達の効果を探究することである。エージェントがランダムに選択される。東西南北に位置する4人のうちの1人がそのエージェントと相互作用するように選ばれる。そして、エージェントの特質は5つの属性で表されているものとする。1つの属性が選択されて、もし2人のエージェントが同じ属性を持っていれば、異なる属性が選択され、当該エージェントが接触した隣人の属性の値を模倣（コピー）する。エージェントは近傍とまったく異なるかまたは同一になるまで、このような相互作用が継続していき、変化がない状態が安定状態である。主要な問題は相互作用の割合の変化が偶然の同質性よりも安定した多様性を生成するかどうかである。

このようなアプローチは制度分析にとられているゲーム理論と異なっている。流行の伝統的なモデルでは社会はその影響を受けるサブグループと受けないサブグループに分けられる。これらのサブグループは同質的であり、個々のメンバーは区別されない。これらのモデルはエージェントの異質性は問題としていない。それと対照的に、マルチエージェント・ベースのモデルでは社会は異質的であって、そして属性、あるいは特色と役割行動を文化的に

伝達する異質なエージェントからなっている。コンピュータ上での進化のプロセスで淘汰によってサブグループが形成される。このようなモデルはエージェントの異質性を認識しているが、行動の異質性を分析対象としていない。

まず、次節は過去の研究をレビューし、われわれのモデルの概要を説明する。第III節はわれわれのモデルを概説している。第1のモデルはここでは相互作用をするのに取引費用を必要としないケースである。これは属性の評価について完全な情報をもつ場合ないしは完全な合理性をもつ場合と類似している。第2のモデルは取引費用がかかるケースであって、エージェントは近傍のエージェントとしか相互作用できない。このモデルはさらに、地理的ないしは社会的な境界が存在するケースとそれらが存在しないケースに分けられる。前者ではエージェントは近傍のそれと等しい機会でも相互作用できないが、後者は均等である。第IV節はそれぞれのモデルをシミュレートし、安定状態を求めている。第V節はそれぞれのモデルを比較検討している。第VI節は安定状態のあるエージェントが突然変異をおこし、それが社会に対してどのような影響を与えるかを調べている。

II. モデルの概要

近年、調整ゲームに関心が集まり、ゲームが複数の均衡をもつとき、ナッシュ均衡の伝統的な精緻化改善は適用可能ではないので、この問題に進化ゲーム理論が導入されている（Kandori *et. al.* [1993], Young [1993], Samuelson [1997] など）。これらのモデルは社会のメンバーの間でランダム・マッチングの仮説に基づいている。一方、エージェントの相互作用が前述のように制約されるようなケースも扱われている（Anderlini and Ianni [1996], Dieckmann [1999]）。これらのモデルでは、マッチングは近傍（ローカルなレベル）で行われるとしている。Dieckmann は効率的な均衡がどのような性格をもつかを調べている。それによればエージェントの移動

が制約されない（これはわれわれのモデルでは取引費用がかからないケースに対応する）場合、ペイオフ・ドミナント均衡が選択される。しかし、移動が限定されているなら、複数均衡が観察されるとしている。

本稿のモデルでは近傍とエージェントが相互作用する。われわれの目的は流行のように消費者が他人を模倣するにも関わらず、なぜ多様性が安定状態で創発するかである。第2は革新がどのようにして起きるかを明らかにすることである。安定状態の多様性が社会におけるエージェントの数、属性数とその各属性でとる値 (trait) の数に依存することを Axerlod [1997] は明らかにしている。以下で示すように、多様性はそれ以外にその相互作用の制約によっても創発する。

そこで、われわれはそのような制約として社会的境界、ないしは物理的、空間的な境界と取引費用を取り上げる。前者の例はセグメントや文化圏の境界、および社会的階級であり、内生的に形成される。後者のそれは国境、地理的境界であって、外生的に決定される。境界は消費者間の相互作用に影響を与える。境界があれば、消費者が他者と相互作用する機会はすべての消費者にとって等しくない。また、相互作用をするのに取引費用がかかる場合には消費者は近傍の消費者のみと相互作用することになる。ここでは消費者は東西南北に位置する消費者のみと相互作用を行うことができると考える。取引費用がかからない場合には消費者はどの消費者とも相互作用を行うことができる。社会に外生的な境界があるかどうか、取引費用があるかどうかによって進化のプロセスは異なる。

Axelrod [1997] は社会に境界が存在し、取引費用が存在するケースを分析している。取引費用がない場合には消費者はどの位置にある消費者とも相互作用できるので、これはこれまで多くのマルチエージェント・モデルの研究に対応する。Axelrod はエージェントがその目的関数に基づいて意思決定を行わないという意味で、合理性をもたないエージェントを仮定している。

マルチエージェント・モデルの多くはエージェントの目的関数に基づいて行動するという意味で、何らかの合理性をもつことを仮定している。しかし、後に述べるように取引費用がない場合には合理性を仮定するモデルと類似した結果が得られる。

次に流行が伝播して、一度安定状態が得られると、その安定状態は永続するであろうか。企業が新製品を導入して消費者の態度を変えることができる。このとき、どのような新製品をどの消費者にターゲットを絞ってマーケティング活動をすればいいのであろうか。Axelrod [1997] は突然変異の問題を扱っていないが、社会が突然変異によって影響されるかどうかは興味ある問題である。Kandori, Mailath, and Rob [1993] は、進化ゲーム理論を適用することによってエージェントの同時の突然変異が社会の変化を引き起こすことを示している。このモデルは取引費用が存在しないケースである。取引費用と境界が突然変異の伝播にどのような影響を与えるであろうか。

ここでの消費者の行動は Axelrod [1997] のモデルに従っている⁽²⁾。属性に対する消費者の選好はそれぞれ1つの属性につき0から9までの整数値(特色, trait)で表される。消費者の態度は各属性の特色の集合からなる。たとえば、消費者のある製品に対する態度は8, 7, 2, 5, 4のように5つの整数値で表される。態度の類似性は同じ特色をもつ属性の割合で示される。消費者は類似した属性をもつ消費者の態度の一部を模倣する。属性が一定の方向へいくと、それが優れていることを判断すべき合理的ないしは情報を消費者は持っていない。たとえば、ある属性の特色で9が0より優れていることを判断できない。

消費者の態度がこのように表現されると、われわれは消費者の態度の異質性ないしは類似性を導入することができる。マーケティング論や経済学で想

(2) 中田・石垣 [1998], 中田 [1998], 第6, 7章を参照。

定されている消費者は自らの効用関数を所与として効用の最大化を行っている」と仮定されている。消費者は、たとえばコンピューター・ソフトやファッション製品のような製品を購入する際にはネットワークの外部性を考慮する。外部性は、消費者が他の消費者との心理的距離を小さくしたり、同調する際に重要である。ネットワークの外部性が存在するので、ここで想定する消費者は他者の態度を模倣しようとする。この時、消費者は類似する態度をもつ消費者と相互作用を行うが、まったく異なった消費者とは相互作用を行わない。このような模倣によって流行が生まれる。われわれは消費者が他の消費者の態度を模倣しているにもかかわらず、多様なセグメントがなぜ生成するかを調べる。

社会全体の消費者の態度は表1のように、100個のサイトの集合であり、10×10のグリッドに整列している。消費者間の相互作用を制約する要因の1つは地理的境界である。まず、その影響をみるために、表1で1行目、10行目、1列目、10列目に境界があると仮定しよう。そこに位置する消費者間の相互作用は境界によって制約される。次に取引費用が存在すれば消費者の相互作

表1 初期状態

74741	87254	82330	17993	22978	82762	87476	26757	99313	32009
1948	9234	67730	89130	34210	85403	69411	81677	6789	24042
49447	46012	42628	86636	27405	39747	97450	71833	7192	87426
22781	85541	51585	84468	18122	60094	71819	51912	32095	11318
9581	89800	72031	19856	8071	97744	42533	33723	24659	3847
56352	34490	48416	55455	88600	78295	69896	96775	86714	2932
46238	38032	34235	45602	39891	84866	38456	78008	27136	50153
88136	21593	77404	17043	39238	81454	29464	74576	41924	43987
35682	19232	80173	81447	22884	58260	53436	13623	5729	43378
57816	55285	66329	30462	36729	13341	43986	45578	64585	47330

用の範囲が限られる。ここでは各消費者はその4つの近傍サイト(東, 西, 南と北)と相互作用できると仮定しよう。しかし, それがなければ消費者はどの消費者とも相互作用できる。境界と取引費用が存在する場合には, 4つのコーナーを除くグリッドの端のエージェントは3つの近傍サイトと相互作用でき, コーナーのサイトは2つの近傍サイトをもっている。Axelrod [1997]は境界と取引費用が存在するケースを分析している。

まず, われわれは初期状態である 10×10 に整列した5桁の数字を表1のようにつくる。取引費用が存在し, 境界がある場合, 消費者間の相互作用は次のようになる。まず, ランダムに消費者 s が選ばれる。次に s は東西南北に位置する消費者の態度 n をランダムに1つ選んで, 相互作用を行う。消費者の選択確率は $1/4$ であるが, 4つのコーナーを除くグリッドの端は $1/3$ であり, 4つのコーナーは $1/2$ である。次に, s は相互作用の対象となる消費者の態度の属性を $1/5$ の確率で選択し, それらの特色が一致するかどうかを調べる。もしそうなら, 相互作用は, ランダムに s と n が異なっている属性を選び, n の属性の特色を s の特色にコピーする。境界がなく, 取引費用が存在する場合には, すべての消費者が他の消費者と相互作用できる確率は $1/4$ になる。たとえば, 表1の初期状態で(1,1)本の消費者は(1,2), (2,1)の消費者だけでなく, (1,10)と(10,1)の消費者とも相互作用が可能となる。相互作用ルールは境界がある場合と同じである。

一方, 取引費用がかからないケースでは消費者はどの消費者とも相互作用することができる。消費者が他の消費者と一致する属性をもたなければ, ランダムに他の消費者を選んで, 同じルールを適用する。このような相互作用は完全に同じ態度を共有すれば, 態度の進化は止まる。一方, 相互作用によって属性がまったく異なっていれば, 相互作用は行われないので, 態度は変化しない。このような行動仮説がシミュレーションの重要な影響を及ぼす。

III. セグメントの進化

セグメントは同一の態度をもつ消費者の集合である。初期状態で消費者の異質な態度が進化によって同一化し、1つ以上のセグメントが創発する。まず、取引費用と境界が存在するケースでセグメントがどのように進化するかをみてみよう。70,000回目までの結果は中田, 石垣 [1998], 中田 [1998] で示されている。以下では境界が進化にどのような影響を与えるかをみるために、70,000回目以降に焦点を当てる。

シミュレーションの結果は表2(a)–2(g)で示されている。スタートは表1の(1,3)の82330である。たとえば、表2(g)の(1,1)の+++++は16432であり、表2(a)で(1,1)の2++++は16432と2桁目から5桁目とが一致し、26432を意味する。表2の-----は57083であり、それは20,000回目までに生成し、その後変化がない。以下では安定状態で大きなセグメント(安定状態で+++++)の進化に注目しよう。

70,000回目で8++++は41個、+++++は26個であるが、その後+++++が多数を占めていき、71,000回目には+++++が54個となるが、その後それは減少し、8++++が増加していく。73,000回目には40個になり、73,500回目には47個となり、その後増加していく。8++++は73,000回目には41個になった後、減少していく。システムがクリティカル・マスを超えるとこれまでとは異なった状態が創発する。クリティカル・マスは73,000回目から73,500回目の間にある。表2(g)の77,000回目までに+++++, -----, 32095, 24659の4つのセグメントが生成する。その後シミュレーションを繰り返しても、この形状は変化しないので、これは安定状態である。

初期状態では態度の類似度は小さい。しかし、類似した態度をもつ消費者が相互作用するにつれて、類似度が高くなる。特定の態度が共有されるセグメントがその後繰り返される相互作用によって成長する。隣人の態度が同一

表 2 (a) 70000回目

2++++	2++++	2++++	+++++	2++++	2++++	2++++	+++++	+++++	+++++
2++++	2++++	2++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
2++++	2++++	2++++	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
2++++	2++++	8++++	8++++	8++++	+++++	8++++	+++++	32095	8++++
2++++	2++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	+++++	24659	8++++
2++++	2++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	+++++	+++++	8++++
-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	+++++	+++++	+++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	+++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++

表 2 (b) 71000回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	32095	8++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	24659	8++++
2++++	2++++	2++++	2++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	8++++
-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	+++++	+++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++

になるか、態度が全く異なれば、相互作用が止まる。消費者の態度が隣人と完全に異なっていれば、相互作用がないので、態度は進化しない。これは表 2 における 32095 と 24659 である。初期状態ではエージェントは異質の態度を

表2(c) 73000回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	2++++	+++++	+++++	+++++	+++++	32095	+++++
+++++	+++++	2++++	2++++	8++++	8++++	8++++	+++++	24659	8++++
+++++	+++++	+++++	2++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++

表2(d) 73500回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	8++++	+++++	+++++	8++++	+++++	32095	+++++
+++++	+++++	+++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	24659	+++++
+++++	+++++	+++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++

もつが、それらは同質化されていく。70,000回目以降に限っても8++++が安定的セグメントになる可能性がある。このように、安定的なセグメントの分布は進化の歴史的な経路に依存する。

表 2 (e) 74000回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++	32095	+++++
+++++	+++++	+++++	8++++	+++++	+++++	+++++	8++++	24659	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	+++++	+++++	8++++	+++++	8++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++	8++++

表 2 (f) 76500回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	32095	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	24659	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	8++++	8++++	8++++	8++++	+++++	+++++	+++++	+++++

安定状態は初期状態、どのサイトが最初に選択されるかという出発点と相互作用に依存する。また同じ消費者の態度が変化しても、異なった安定的なセグメントが創発する可能性がある。したがって、均衡が複数存在すると同

表2(g) 77000回目

+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	32095	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	24659	+++++
+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
-----	-----	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

時に、収束へ連鎖が不安定である。表2(g)はそのうちの1つである。消費者の態度の構造が形成される時期になるまでそれを予測することができない。このシミュレーションでは50,000回目までにある程度の構造が生成する。当初多様なニーズをもつ消費者が流行に同調するが、4つの異質のセグメントが創発する。このように、態度の進化では同質化と異質化が機能する。このため異質の製品モデルが社会全体では共存する。

システムは多様なパスを経由してクリティカル・マスの前には多様な安定状態を誘発する。しかし、システムがクリティカル・マスを越えると、特定の構造が生成する。歴史的経路依存性によって特色づけられる態度進化が企業の製品政策に大きな影響を与える。企業は消費者の態度の進化に適応する製品政策をとっていくであろう。しかし不幸なことに進化は特異的なので、クリティカル・マスを越えるまで企業は特定の製品戦略にコミットするべきではない。我々のシミュレーションでは60,000回目になって初めて、セグメントの構造がかなりはっきりする。消費者の態度がある程度明確になってはじ

表4 取引費用が存在し、境界が存在しない場合の安定状態

----	----	++++	++++	++++	++++	++++	----	----	----
----	----	++++	++++	++++	++++	++++	----	----	----
----	----	----	++++	++++	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
++++	++++	++++	----	----	----	----	----	----	----
----	----	++++	++++	----	----	----	----	----	----
----	----	++++	++++	++++	++++	----	----	----	----

(----は90216であり、++++は53551である)

の1つである。

取引費用が存在するケースで、境界が存在するかどうかセグメントの進化にどのような影響を与えるかを考えよう。境界がある場合に表2(a)から表2(f)をみていくと、++++が北から南へと拡大し、それに8++++が抵抗している。また、----と++++の境界および10行目で8++++が最後まで残る。境界が存在しない場合には少数派はマップの中間に集中する。また、境界が存在する場合には収束が77,000回目までに表れる。ここでは安定に至るプロセスをしめしていないが、境界が存在しない場合には43,000回目までに収束する。これは境界やセグメント間の境界が進化に影響を与え、それが複雑な変化をもたらすことを示唆している。

製品属性の数と特色の数によって安定状態ではセグメントがどのように分布するであろうか。属性数は3, 5, 7, 9でありそれぞれの特色数は2から10である。したがって、製品の複雑性は属性と特色数で表される。初期状態をランダムに発生させて、1つの実験でサイト選択を200,000回まで繰り返す。

表5 境界がある場合のセグメント数の平均値と最大値、最小値、および標準偏差

特色数 属性数		特色数								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	平均	1.04	1.21	1.69	3.34	6.46	11.93	18.64	22.23	34.25
	最小	1	1	1	1	1	1	2	3	8
	最大	2	3	5	10	19	19	37	50	55
	標準偏差	0.2	0.48	0.95	1.96	3.84	6.60	7.43	9.81	10.47
5	平均	1	1	1.03	1.04	1.22	1.26	2.08	2.52	3.76
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	2	2	7	4	10	8	11
	標準偏差	0	0	0.17	0.2	0.75	0.55	1.58	1.67	2.43
7	平均	1	1	1	1	1.01	1.06	1.1	1.2	1.5
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	1	1	2	2	3	3	7
	標準偏差	0	0	0	0	0.1	0.24	0.35	0.49	0.95
9	平均	1	1	1	1	1.01	1	1.01	1.07	1.12
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	1	1	2	1	2	3	3
	標準偏差	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.3	0.36

返した。この実験を100回ずつ行った。結果は境界がある表5と境界がない表6で要約されている。すべてのケースが収束しているとは限らない。特に、属性が少なく、特色数が多いケースは収束していないことがある。しかし、属性が多くなると、システムは収束している。

消費者の初期の態度分布が同じであっても、また同じサイトが選択されても、相互作用により安定状態は異なる。もちろんここでの実験のように、初期状態が異なれば、安定状態は異なる。これは複数均衡が存在することを示している。境界があってもなくても、所与の属性に対して特色が大きくなればなるほど、安定状態でのセグメント数とその標準偏差は大きくなる。これは境界に関係なく成立する。しかし、属性の数が多くなるほど、その増分は

表6 境界がない場合のセグメント数の平均値と最大値, 最小値, および標準偏差

特色数 属性数		特色数								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	平均	1.03	1.06	1.29	1.85	2.77	5.3	8.28	14.33	21.09
	最小	1	1	1	1	1	1	1	2	5
	最大	2	2	3	5	8	15	22	34	46
	標準偏差	0.17	0.50	0.75	0.85	1.51	2.88	4.05	7.07	9.06
5	平均	1	1	1	1	1.02	1.06	1.29	1.4	1.82
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	1	1	2	2	4	4	5
	標準偏差	0	0	0	0	0.14	0.24	0.59	0.69	0.94
7	平均	1	1	1	1	1	1	1.03	1.04	1.13
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	1	1	1	1	2	2	3
	標準偏差	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	平均	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	標準偏差	0	0	0	0	0	0	0	0	0

通減していく。これは標準偏差にも妥当する。また所与の特色に対して属性が増えるほど、安定的セグメントの平均数および標準偏差は小さくなる。属性と特色との数が増えていくにつれて、隣人の態度が類似する可能性が大きくなるので、消費者間で相互作用によって態度が同質化していく。

仮定されている消費者の行動がこの結論を導く。属性数や特色数が等しければ、安定的セグメント数, 最大セグメント数, 最小セグメント数, 標準偏差は境界がある場合がない場合よりも多い。境界がない場合には相互作用する可能性が大きくなるので、消費者が同質の態度を共有する。消費者が他の消費者の態度を模倣するには取引費用がかからない場合には多様性は存在しなくなる。同様に、境界がない場合にも多様性が小さくなる傾向がある。

取引費用による相互作用の制約が多様性を創発している。表5で属性の数が5で、特色の数が10である時、安定的セグメントの数は3.76で、その標準偏差は2.43である。他方、このケースで境界がない場合には表6からそれらはそれぞれ1.82と0.94である。境界が多様なセグメントとそのセグメントの分布を生成する。これは特に属性が5以上で、特色が多い場合に安定状態では1人の消費者からなる最小セグメントで存在することが多い。しかも、それは比較的境界に近いところで生成している。このようなセグメントは境界のように相互作用する機会を制約しているので、その分多様性を増加させていると考えられる。

境界がない場合には最小セグメントが存在するケースは相対的に小さい。たとえ、消費者が異なった態度をもつ消費者と出会っても、境界がないので、相互作用が繰り返されて、近傍の消費者の態度は類似してくる。その結果、類似した態度が共有される。このように、取引費用と同時に地理的および空間的な境界が消費者間の相互作用を制約するので、多様性が増加する。

V. 突然変異としての態度変化

消費者が多様な態度を当初もっていても、前節で述べたように消費者間の相互作用によって安定的なマーケット・セグメントが創発する。このような安定状態に新製品が導入されて、ある消費者が態度を変えたと仮定しよう。これはある1人の消費者の態度に突然変異が起きたことを意味する。そうすると、このような態度の変化はセグメント全体の安定状態に対してどのようなインパクトを与えるであろうか。問題はこの態度変化が全体に影響を及ぼすかどうかである。

そこで、われわれはこれまで行ったシミュレーション・モデルを利用して、安定状態にある消費者の態度の変化が全体のセグメントにどのような影響を与えるかを調べる。消費者の数、属性と特色の数は前節のモデルと同じであ

る。まず、態度の初期状態は前節でシミュレートされた安定状態であると仮定する。表3は取引費用が存在せず、どの消費者とも等しく相互作用できる場合の初期状態である。取引費用が存在し、表2(g)は境界がある場合の初期状態であり、表4はない場合のそれである。

次に、われわれはある消費者の態度を意図的に変え、その態度変化(突然変異)が全体のセグメントにどのような影響を与えるかを調べる。第1にどのサイトの突然変異体(態度変化をおこした消費者)がセグメントの分布を変化させるのであろうか。第2にどの程度の態度変化がセグメント全体の変化を引き起こすのであろうか。マーケティング戦略の観点からみると、前者は企業がどのセグメントにターゲットとするかに関係し、後者は新製品戦略に関係している。取引費用が存在する場合には、モデルでは態度が変化した消費者の数は考慮しなかった。ここでのモデルは消費者は隣人と相互作用するので、態度が変化した消費者の数は進化のスピードに関わることになる。

いずれもまったく異なる属性をもつ態度変化(突然変異体)は投入されなかった。なぜなら、ここでのモデルの前提は消費者が他の消費者と類似していれば、それを模倣するからである。新製品が導入され、ある消費者が隣人のとまったく異なった態度をもつとすれば、態度の特色に類似度がないので、模倣がおきない。新製品による消費者の態度の変化がセグメント全体にどのような影響をおよぼすかを実験した。

取引費用が存在しない場合に、ある1人の消費者の態度変化がおきたとして、20%から80%類似した新製品に対する態度変化を導入した。しかし、まったく変化がおきなかった。この理由は1つの態度が変化しても、相互作用がおきるためにそれは排除されることである。そこで、態度が変化した消費者の数を増やした。その結果は表7で示されている。この実験は100回試行された。表中の数字は100回の試行で初期状態と異なったケースの数である。たとえば、20%類似の態度変化を30個投入すれば、100回中74回が初期状態

表7 取引費用が存在しない場合の態度変化

類似度(%) 投入個数	20	40	60	80
10	34	21	24	9
20	59	39	27	20
30	74	61	50	30

と異なったことを示している。突然変異する消費者が増えると、セグメントの分布は変化する。いずれもセグメントのタイプは1つである。同時に多数の消費者が態度を変えなければ、態度変化は伝播しない。取引費用が存在しない場合、一度流行が定着すると、それを覆すのがきわめて困難になる。このように、取引費用が存在するために突然変異による進化がおきる。一方、最適化が行われる世界では進化はおきにくい。

そこで、以下では取引費用が存在すると考えよう。まず、新製品戦略で企業はどのセグメントにターゲットを絞るであろうか。ここでのモデルは態度の類似性をもつ消費者間で相互作用が行われて、態度変化がおきる。その変化が拡大するかどうかである。突然変異体が隣人の属性と類似していなければ、それは伝播しない。境界が存在する場合の初期状態は、表2(g)で1人の消費者からセグメントを除くと大きなセグメント(+++++)と小さなセグメント(-----)の2つがある。前者で突然変異が1つおきても周囲との相互作用によって排除されるであろう。しかし、小さなセグメントで突然変異がおき、それが大きなセグメントに侵入できれば、小さなセグメントが変化していく。突然変異体は小さなセグメントを変化させ、それがある程度の大きさをもつので、大きなセグメントに影響を与えるのであろう。このような仮説に基づくと、大きなセグメントと小さなセグメントの境界で突然変異が起きれば、それが進化していくかもしれない。

中田、石垣 [1998] のシミュレーションによれば小さなセグメントでの突

然変異がセグメント全体に伝播している。これがセグメント全体を変化させている。大きなセグメントで突然変異体は消滅する。したがって、新製品による流行の変化は比較的小さなセグメントから生成する。この結果から企業は相対的に小さなセグメントに新製品を導入すれば、その態度変化によって新たな進化が始まる可能性がある。場合によってはそのような突然変異体は大きなセグメントを変化させる。大きなセグメントで態度変化がおきても、それが少数であるために突然変異の侵入が撃退されるのである。

突然変異体が隣人の属性とまったく類似していなければ、それは伝播しない。ここでの文脈と異なるが、ルーティンの革新に関連して、Nelson and Winter [1982] (pp.130-131) は組織のルーティンにおける革新は大部分既存のルーティンの新しい組み合わせと類似しており、以前との類似性をもつことを指摘している。取引費用が存在する場合に、大きなセグメントと小さなセグメントの態度からそれぞれ類似度が40%になるとき、セグメント社会全体に変化が起きることをわれわれのシミュレーションが明らかにした。⁽³⁾

次に境界がある場合とない場合に突然変異体がどのように進化していくかを比較する。そこで、境界がある場合に表2(g)の安定状態で(10,1)の態度が57083(-----)から16283に突然変異したと仮定しよう。換言すると、企業が消費者((10,1)に位置しているにターゲットを絞って新製品を導入し、態度が変化したと考える。境界がない場合には表4で(3,5)の態度が90451に変化したとする。これは大きなセグメントと小さなセグメントから見るとそれぞれ40%類似している。シミュレーションは100回の試行である。その結果は表8と表9で示されている。

まず、境界がある場合、より大きな変化は100ケースあたり40ケースである。一方、境界がない場合には100ケース当たり38ケースが変化している。

(3) 中田, 石垣 [1998], 中田 [1998] を参照。

表8 境界がある場合の態度変化

特 色	ケース数	セグメント数
変化なし	46	4
わずかの変化 (++++に変化)	14	4
大半-----	23	
	19	3
	4	2
----- (多数) -----が混在	1	2
----- (多数) +----, ----+, ----+混在	1	5
80%類似	13	
	7	3
	6	2
60%類似 (++++)	1	3

80%類似の内訳

----+ : 2 +---- : 1 ----- : 3 +---- : 1 セグメント数 : 3
 ----+ : 4 +---- : 1 ----+ : 1 セグメント数 : 2

表9 境界がない場合の態度変化

特 色	ケース数	セグメント数
変化なし	26	2
わずかの変化 (++++に変化)	36	2
すべて-----	10	1
80%類似	22	1
60%類似	6	1

80%類似の内訳

----+ : 8 +---- : 6 +---- : 4 +---- : 2 +---- : 2

60%類似の内訳

----+ : 3 +---- : 1 +---- : 1 +---- : 1

このように、境界がある場合ない場合とでは大きな差異はない。同じ場所で、同じ態度を持つ消費者が突然変異をおこしても、それが進化するとは限らない。しかし、境界のあるなしに関係なく、小さなセグメントで態度が変化す

る場合には、それが進化することが多い。⁽⁴⁾

大きなセグメントで態度が突然変異しても、同じ特色を持つ多数の消費者との相互作用によってそれは消える。しかし、小さなセグメントでの突然変異は小さなセグメントで隣人との相互作用によって態度変化の伝播を促進する。したがって、小さなセグメントにターゲットとした新製品戦略がセグメント全体を変化させる。境界がある場合とない場合との差異は安定状態でのセグメント数である。境界がない場合に大きな変化がおきたケースは1つのタイプのセグメントによって特色づけられる。

これに対し、境界があって、大きな変化がみられたケースでセグメント数にはばらつきがある。突然変異がおきる前と比べてセグメント数は減っているケースが多いが、逆に増えているケースが1つある。変化がある場合には境界に関係なく、以前存在した小さなセグメントは大きなセグメントに吸収されている。したがって、類似性が初期状態と60%または80%である新しい態度属性をもつセグメントが生成している。このように、境界がある場合には多様なセグメントが生成する。

境界が存在する場合に、40のケースは大きく変化した。そのうち12のケースは1人の消費者からなる最小セグメントをもち、そのうち10ヶはほとんど初期状態から変化していない。表9でセグメント数が3以上のケースは最小セグメントが2つとも変化しないのに対し、セグメント数2のケースは最小セグメントの1つ(32095)が多数派に変化している。境界が存在する場合に、多様な安定的セグメントが創発する理由は最小セグメントが新製品導入で変化しないためである。突然変異体が小さなセグメントに侵入できれば、それはセグメント全体に伝播する。もとのグリッドの境界だけでなくセグメント間の境界が安定状態のセグメントの分布を複雑にする。一方、境界がな

(4) 中田, 石垣 [1998], 中田 [1998] を参照。

い場合、相互作用の抑制がないので、安定的なセグメントの数はより少ない。

VI. おわりに

流行によってすべての人間が同一の特色をもつことはまれで、むしろ少数ではあるが複数のセグメントが創発し、社会には多様性が存在する。文化も同様に統合型よりも多極化し、多様性がみられる。代表的エージェントを想定したモデルはこのような多様性の要因を解明できない。われわれはは多様性がどのような要因によって生成するかを異質な態度から進化していくマルチエージェントのシミュレーションによってみてきた。

さらに、エージェントが最適化行動をとると想定すれば、多様性は生成しないことが明らかになった。これはわれわれのモデルでは取引費用がないケースである。ここでのシミュレーションの比較によって、多様性は取引費用の存在、模倣行動から生成する。すなわち、エージェントは製品属性について判断する情報をもたずに、ネットワークの外部性に基づいて行動し、同時にローカルな地域（東西南北に位置する）で他のエージェントと行動する。さらに、境界は消費者の相互作用の範囲を限定するので、境界がない場合よりも多様性が創発する。

次に、われわれは突然変異が社会全体にどのような影響を及ぼすかを調べた。取引費用が存在しない場合には、多数の消費者が態度を同時に変化させない限り、社会は変化しない。流行や文化的変化は最適化行動するエージェントの相互作用からは生成しない。また、取引費用が存在する場合には境界がエージェント間の相互作用を制約するので、多様性が生成する。この時、境界はセグメント間およびエージェント全体の境界を含んでいる。特に、小さなセグメント（1人からなるセグメント）が境界となって、突然変異が拡大するのに大きな影響を与えるようである。

参 考 文 献

- Anderlini Luca and Antonella Ianni, A.[1996], "Path Dependence and Learning from Neighbors," *Games and Economic Behavior* 13, pp.141-177.
- Axelrod Robert[1997], "The Dissemination of Culture," *Journal of Conflict Resolution*, 41, pp.203-226.
- Dieckmann Tone[1999], "The Evolution of Conventions with Mobile Players," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 38, pp.93-111.
- Kandori Michihiro, George Mailath, and Pafael Rob[1993], "Learning, Mutation, and Long Run Equilibria in Games," *Econometrica*, 61, pp.29-56.
- 中田善啓 [1998], 『マーケティングの進化——取引関係の複雑系的シナリオ』同文館。
- 中田善啓, 石垣智徳 [1998], 「消費者態度の進化——流行の形成メカニズム」『甲南経営研究』39, pp.49-78.
- 生天目章 [1998], 『マルチエージェントと複雑系』, 森北出版。
- Nelson Richard and Sidney Winter[1982], *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press.
- Samuelson Larry[1997] *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, The MIT Press.
- Young Peyton[1993], "The Evolution of Conventions," *Econometrica*, 61, pp. 57-84.