



コミュニケーションは社会を救えるか  
— 社会システムのシミュレーション分析を通じて —

東京大学先端科学技術研究センター 協力研究員  
濱岡 豊

キーワード: 社会システム、進化、囚人のジレンマゲーム、遺伝的アルゴリズム

本論文では、社会システムを構成する主体が「囚人のジレンマ」状況にあるときに、(1)裏切りあいの状態から協調の状態が生じ得るか、(2)協調が成立するのならば、そのような協調的な主体の行動パターン(戦略)がいかに進化するのか、(3)そしてそれがいかに社会システムへと広がるのか(社会システムの進化)という点について、主体間のコミュニケーション(相互作用)をパラメーターとして分析した。分析には、遺伝的アルゴリズムによるシミュレーション手法を用い、シミュレーションによって観察された事象を実証命題として設定した。

これによって、(1)繰り返しコミュニケーションすることによって共通理解が成立し得ること、(2)コミュニケーションのタイプによって、主体の戦略や社会システム全体の進化のパターンが異なること(コミュニケーションの範囲が広い場合には、社会が一様化し安定であるものの、ひとたび強力な戦略が現れた場合には、急速にそれへと社会が転移する)、(3)変異のみではなくて、保持することも重要であること、(4)社会システムの進化が多元的であること、などが示された。

これらの実証命題を、現実には観察される現象と関連づけながら、社会システムの将来を展望する際に留意すべき点をまとめた。

## 1.はじめに

日本の歴史を振り返るとき、古代においては中国、朝鮮から、中世以降においては西欧諸国、近現代においては米国からの影響をそれぞれ強く受けてきたと考えられる。日本の社会の将来を考えると、他の国との相互作用を考慮せずにはいられない。この点について例えば、伊東(1988)は、有史以来の17文明を識別し、それらの文明が独立して形成されたものではなくて、相互に影響を与えながら発展してきたことを指摘している。伊東は、彼はこのような「文明間交流」つまり、文明間の相互作用の重要性を指摘し、比較文明論の展開の必要性を主張している。また、Wallerstein(1974)は、中核国と辺境国との相互作用によって構成される近代世界システムに注目する「世界システム論」を展開している。

これらは特定の主体のみならず主体間の相互作用に注目している点において評価できる。しかし、数量的な分析を含まない言語による事実の記述が中心であるために、操作性に欠けるといふ限界がある。これに対して本論文では、シミュレーションを用いた分析によって、この限界を克服し、社会システムを構成する主体間のコミュニケーションと社会システムの進化との関係を分析する。具体的には、社会システムが多くの主体によって構成されており、これらの主体が「囚人のジレンマ」状況にあると考える。そのような場合に、裏切りあいの状態から協調の状態が生じ得るか、そして、協調するという主体の行動パターン(戦略)がいかに進化するのか、そしてそれがいかに社会システムへと広がるのか(社会システムの進化)という点について、主体間のコミュニケーションをパラメーターとして分析する。

本論文では、以下の手順で分析を進める。まず、社会システムのダイナミックな様態を表すために「共進化」の概念を提示する(2節)。そして、主体間の相互作用つまり、コミュニケーションに関する仮説を導入して仮想的な社会を構成する。この社会について、シミュレーショ

ンを行い、観察される現象を実証命題としてまとめる(3節)。これらの実証命題と、現実に観察される現象とを関連づけながら、社会システムの将来を考察する(4節)。

なお、以下では、「社会システム」の「進化」という言葉を用いる。「社会システム」という言葉については、上述のような現象が国家や文明といったレベルに限らず、企業、消費者など、様々なレベルについても観察される一般的な現象であるためである。また、「進化」については、村上(1994)が定義するのと同様に、(進化を進歩と同義にとらえるという)価値判断を含まないとする。

「進化とは、不変性を保持するかとみえた世界に、全く予想不可能な不連続的変化が生じ、その新しい世界の姿が保持される努力が続くかと思うと、また不連続なジャンプが生じるといった一連の過程」

ただし、我々が注目するのは、意思を持った主体によって構成される社会システムである。よって、生物学における進化論にとらわれず、ラマルクの進化論が前提とする能動的な進化もあり得ること、予測可能な場合もあること、また、進化は不連続とは限らないと考えることにする。

## 2. 社会システムの進化の促進要因としての主体間の相互作用と共進化

### 2.1 主体間の相互作用と共進化の概念

相互作用する主体によって構成される社会システムは時間とともに進化する。このようなダイナミックな過程を表現するために、以下では「共進化(coevolution)」という言葉を用いることにする。これは本来は生物学における概念であり、次のように定義される<sup>注1</sup>。

「複数の種が相互に影響を与えながら環境への適応力を高める方向に進化すること [Ridley(1993)]」

共進化の例として、植物とこれを餌として生活する昆虫を考えてみよう。植物は昆虫から自分を防御するために毒をもつように進化する。これに適應するために、昆虫もその毒に適應するように進化する。すると植物は、さらに別の毒をもつように進化し、昆虫もその毒に適應するように、さらに進化する。これが繰り返されながら二つの種が進化していく。

共進化は本来は生物学における概念であるが、社会システムの分析に援用するに当たって、この概念に次の4つの意味を与えることにしよう。

#### (1) 主体間の相互作用を考慮すること

社会システムは、相互作用する多数の主体によって構成される複雑なシステムであることを考慮する。この点については、すでに述べてきたので、次の点を指摘しておこう。つまり、相互作用の相手となる主体が特定できるとは限らないということである。このことは、次の例を考えてみるとわかりやすい。アインシュタインは相対性理論という極めてイノベーティブな理論を構築したが、量子論には懐疑的であった。また、マルクスは資本論という、その後の世界史に大きな影響を与える著作を完成したが、「物」の生産にのみに注目しており、「情報」の概念を考慮していない<sup>注2</sup>。というのも、アインシュタインの時代には、ニュートン的な世界観

<sup>注1</sup> 筆者は、消費者間の相互作用であるクチコミに関する研究を進めた[浜岡(1995)]が、共進化の概念は市場を「企業、消費者、政府などが相互作用する複雑なシステム」ととらえ直すためのキー概念として援用したものである[浜岡(1995)、経営アカデミー(1995)を参照せよ]。本論文は、そこでの議論を社会システムに一般化したものである。

なお、共進化の概念を援用した社会科学分野の研究としては、文化と遺伝子に注目したDurham(1991)、技術の進歩と制度に着目したNelson(1994)などがある。

<sup>注2</sup> マルクスについての指摘は竹内啓教授による。同様に竹内(1994)は、シュムペーターのいう「企業家」を研究する際に、企業家個人のみが注目され、周囲の環境が無視されているという限界を指摘している。

が支配的であったし、マルクスの時代には情報の概念そのものも存在しなかったからである。つまり、彼らはイノベーティブな業績をあげはしたが、それは当時の知識水準を背景として達成されたものなのである。このことは、具体的に特定できない時代背景(知識水準や流行など)を考慮することの重要性を示している。社会システムの分析に当たっては、特定できる主体間の相互作用のみならず、具体的に主体を特定できない時代背景、周囲の状況についても考慮することが必要なのである。

これが主体を特定できない環境から主体への相互作用であるのに対して、主体から環境への相互作用をも考慮することが重要である<sup>注3</sup>。ソニーという企業が開発したウォークマンが、消費者のライフスタイルを変更したというのが、市場という経済システムにおけるその例である。つまり、主体にとって環境は絶対的ではなくて相対的なのである。広く受け入れられているダーウィン以降の進化論では、生物は環境(自然)によって淘汰されることが前提とされている。しかし、上にみた共進化の例のように、生物が環境に対して影響を与えることは可能なのである。我々が考察する社会システムの場合、このことはきわめて重要である<sup>注4</sup>。

## (2)問題領域間の関連性を考慮すること

我々は主体間の相互作用に注目するが、主体を体積をもたない「質点」のようなものであるとは考えず、主体もまた一つのシステムであると考え。例えば、国家という社会システムを考えた場合、政治システム、経済システムなどのサブシステムに分解することができる。これらのサブシステムは独立したものではなくて、相互に関連している。つまり、主体間の相互作用とあわせて、主体「内」のサブシステムの相互作用を考慮することが必要である。

## (3)主体の能力には限界があることを慮する

経済学では、(経済)主体は合理的であることが仮定されている。しかし、我々人間の能力には限界があるように、社会システムを構成する主体の能力には限界があることを考慮することが必要である。

## (4)時間の流れ／動的な過程に注目する

我々が注目する社会システムは、時間とともに変動する動的なシステムである。よって、これを分析するためには、動的なモデルを用いることが必要になる。ここでいう「共進化」と「共生もしくは共適応(coadaptaton)」を比較すると、このことが明確になる。共生とは複数の種間での相互の適応のことであり、クマノミとイソギンチャク、アブラムシとてんとう虫の幼虫などの例がよく知られている。このように、共生という概念は複数の種が相互作用していることを考慮しているが、動的な側面については考慮していない。これに対して我々が援用する共進化の概念は、複数の主体の相互作用と、その動態という側面を含んでいるより一般的な概念である。

<sup>注3</sup> 廣松(1991)は、梅棹(1957)の「文明の生態史観」について、人間の環境に対する働きかけを無視していることを次のように批判している。

「人間の歴史的営為が環境的条件に規定されつつ逆に環境を改造していくダイナミズム、そこにおける人間社会内部の生態的再編成とその遷移、肝心と思われるこの論点が殆ど手つかずのままである(p.42)。」

<sup>注4</sup> 富永(1995)は、社会学について行為に主眼をおくマイクロ社会学と、社会システムに主眼をおくマクロ社会学との間には、レベルの違いがあることを指摘している(個人の欲求を足しあげたものが社会システムの機能的要件になるわけではない)。しかし、我々はここにあげたように、社会システムはそれを構成する主体の行為の境界条件となるが、一方で、主体の行動によって社会システム自体を変動させることができると考える。つまり、マイクロなレベルでの現象と、マクロなレベルでの現象とを分断することはできないことを意味することにも注意しよう。

## 2.2 分析のツールとしてのシミュレーション

共進化の観点から社会システムを分析するためには、(1)理論、(2)歴史分析、(3)統計分析とあわせて、(4)シミュレーションを行うことが有効である<sup>注5</sup>。ここでいう統計分析とは、数量的なデータを分析することを意味し、歴史的分析とは、数量データを用いない事実の叙述分析のことを指す。統計の分析には、データの収集が困難であるという問題がある一方で、歴史的分析についても、客観性の確保が問題とされる。シミュレーションは、これらの問題点を補完する手法であるといえよう。

シミュレーションは、近年の計算機の進歩によって、自然科学分野では、理論、実験に次ぐ第3の研究方法として確立しているが<sup>注6</sup>、ここで用いるシミュレーションは、人工生命体 (artificial life)の研究との関連が深い。進化論では、長期間にわたる生物の進化が問題とされるために、実験を行うことができず、発掘された化石の分析、DNAの分析などによって理論の妥当性を検証するというのが伝統的な生物学における研究の方法である。これに対して、コンピュータ上に研究者の仮説を導入した環境を構成して、シミュレーションによって、仮説の妥当性を検討するというのが「人工生命体アプローチ」である。このようなアプローチによって、例えばIkegami(1994)は、種の大規模な絶滅が隕石などの外生的な要因のみならず、内生的な原因によっても生じることを示している<sup>注7</sup>。

社会科学でもシミュレーションの利用は進みつつある。Nelson and Winter(1982)以降の進化論的経済学では、シミュレーションは研究を進めるための必須の手法となっている。また、数理政治学者であるAxelrod(1984)の繰り返し囚人のジレンマゲームの分析は、本来の政治学的な興味(利己主義者たちの間で、協調を成立させるためには強力な中央権力が必要か?)を越えて、経済学、生物学など幅広い分野へと影響を与えている。本研究のモデルは、Axelrodのモデルを拡張したものなので、彼の研究について概説しておこう。

## 2.3 囚人のジレンマゲーム

「囚人のジレンマゲーム」とは、以下の状況を想定したものである。二人が逮捕され、別々に取り調べを受ける。二人のとることができる行動は「黙秘する」と「自白する」の二つである。二人は別々に取り調べを受けるために、コミュニケーションできず共謀することは不可能である。この場合、2人に関して二つの行動が可能なので、 $2 \times 2$ の利得表となる(図表1参照)。

4つのセルの二つの数字のうち、1番目の数字はROWプレイヤー、2番目の数字はCOLUMNプレイヤーの利得である。利得は次のように解釈することができる。二人が共謀して自白しなければ、ともに釈放される( $R=3, R=3$ )。一人が裏切って自白すれば、自白した方は釈放されるだけでなく真犯人を見つけたということに対する報償を与えられる。一方、自白しなかった方は懲役される( $T=5, S=0$ または $S=0, T=5$ )。また、二人とも自白してしまえば、二人とも懲役に課される( $P=1, P=1$ )。

<sup>注5</sup> Schumpeterは『経済分析の歴史』の中で、経済分析の方法として、理論、歴史、統計、社会経済の4つをあげた。社会科学を社会や経済を含んだ総体として、分析しようという彼の意図はみとめるが、社会経済は方法というよりは対象もしくは対象の捉え方であると考えられる。よって、本論文では分析の方法として、これに代わってシミュレーションをあげている。

<sup>注6</sup> 計算物理学、計算力学、計算化学といった研究分野・研究方法も確立している。これらについては、上田顕(1990)、日本物理学会編(1991)などを参照せよ。

<sup>注7</sup> 人工生命体の研究については、国際会議のProceedings[Langton et al.eds. (1989,1992,1994)]や人工生命研究会編(1994)などを参照せよ。

図表1 囚人のジレンマにおけるペイオフ行列  
COLUMNプレイヤー

		協調（黙秘）	裏切り（自白）
ROWプレイヤー	協調（黙秘）	R=3,R=3 ともに協調	S=0,T=5 協調した方は喰い逃げられ、裏切りには魅力がある。
	裏切り（自白）	T=5,S=0 裏切りに魅力があり、協調した方は喰い逃げされる	P=1,P=1 両方とも裏切った罰

注) 各セルの中の数字は、ROWプレイヤーとCOLUMNプレイヤーの利得を示す。  
下線は相手の戦略に対する自分の最適戦略

各プレイヤーの利得は自分の行動だけでなく、相手の行動にも依存する。それでは各プレイヤーは、どのように行動するだろうか。まず、COLUMNプレイヤーが「黙秘する」とした場合、ROWプレイヤーの利得は「黙秘する」ときの3、もしくは「自白する」ときの5である。ここで、二人とも最適化つまり、自己の利得を最大化するように行動すると仮定すれば、ROWプレイヤーは、利得の大きい「自白する」という行動を選択することになる。

同様にCOLUMNプレイヤーが「自白する」場合、ROWプレイヤーの利得は、「黙秘する」ときの0、もしくは、「自白する」ときの1である。この場合のROWプレイヤーの最適な行動は、「自白する」ということになる。つまり、COLUMNプレイヤーの行動に関係なく、ROWプレイヤーの最適な行動は「自白する」である<sup>注8</sup>。

ゲームは対称なので、これと同様の議論がCOLUMNプレイヤーについても成り立ち、二人とも「自白する」を選択することになる。この状態ではどちらかが一方的に行動を変更しても利得を増加することができないため、この行動を選択しつづける「均衡点」となる<sup>注9</sup>。

しかし、お互いに「黙秘する」を選択することができるならば、二人ともに、より高い利得3を得ることができるので、この均衡は望ましいものではない（パレート最適でない均衡）。このように、コミュニケーションができないことによって、より望ましくない均衡に陥ってしまうというのが一度限りの囚人のジレンマゲームの特徴である。

このゲームを有限回繰り返しプレイした場合について考えてみよう。くり返し回数が有限で、相手のこれまでの行動がすべて観察できる（完全情報）とした場合には、やはり両者とも自白する状態が均衡となる。くり返しの最後の回を考えると、上と同じ1回のみゲームと同じなので、両者とも自白することが均衡となる。その1回前を考えても、同様のことが成立する。このような推論を最終回から初回へと繰り返していくと、初回においても両者とも自白することが均衡となることがわかる<sup>注10</sup>。

囚人のジレンマ状況は、複占状態で生産量を競争する企業（協調してカルテルを結べば、そこそこの利益が上げられるのに、相手を出し抜くことによって得られる大きな利益を追求してしまう）、ディナーの招待（相手にディナーに招待してもらい、自分は招待しなければもっとうれしい。お互いに招待しあえば、うれしい反面、お金もかかる）など、現実にも多く観察される<sup>注11</sup>。よって、以下では囚人のジレンマゲームについて、自白を「裏切り」、黙秘を「協

<sup>注8</sup> このような場合、「自白する」という戦略は「黙秘する」という戦略を支配している（dominate）とよばれる。

<sup>注9</sup> このような均衡はNash均衡とよばれる。

<sup>注10</sup> このような手続きは backward induction と呼ばれる。神取(1995)を参照せよ。

<sup>注11</sup> これらの例についてはAxelrod(1984)を参照せよ。

調」と呼ぶことにしよう。つまり、囚人のジレンマゲームについては、お互いに協調することによって、より望ましい利得が得られるということになる。

上では、頭のよい主体を想定したが、現実には完全情報ではなく、ゲームを行う主体の記憶能力、計算能力合にも限界がある。また、ゲームがいつまで繰り返されるかもわからない。

Axelrodはそのような場合に、協調が成立する条件を検討した。ただし、 $n$ 回繰り返しゲームの場合に生じる状態は、 $2^{2^n}$ 通りの組み合わせがあり、それらすべてを分析することは困難である。このため、彼は繰り返し囚人のジレンマゲームを行う戦略を「プログラム」の形で募集し、総当たりリーグ戦によって対戦させた。このトーナメントによって優勝したのは、最も短いプログラムである「しっぺ返し」戦略である。これは、最初は協調し、その後は前回の相手と同じ行動をとる、つまり、前回相手が協調すれば今回は自分も協調するし、逆に相手が裏切ったのならば、今回は裏切るという戦略である。

彼は各プログラムの特徴とそれぞれの獲得得点を分析することによって、ジレンマ状況で協調を成立させる3つの条件を指摘した。

・上品さ(niceness)

自分からは裏切らないこと。そうしないと協調による利得3を得ることができない(ただし、終了直前は除く)。

・怒りを示す

自分が協調し、相手が裏切った場合には、相手は5点を得るのに対して、自分はなにも得ることがない(0点)ので相手に搾取されたことになる。搾取された場合には、自分も裏切り返し、怒りを示すことによって、再び搾取されることを防止することが必要。

・相手を許す心の広さ(forgiveness)

一度裏切られたからといって、ずっと裏切りあっていた場合には、お互いに1点しか得られない。協調して3点を得るためには、裏切った相手を許して協調することが必要である。

つまり、「しっぺ返し」戦略は、自分からは裏切らず協調するが、裏切られた場合には報復することによって相手から搾取されるのを防ぐ。ただし、報復は一度限りで、相手が協調して来れば過去のことは水に流して協調する、という、三つの条件を満たしている。

このシミュレーションは極めて抽象的で単純であるにも関わらず、現実の社会生活にも通じる原則が見いだされているといえるのではないだろうか。このことより、現象の本質を失わないようにモデル化すれば、抽象的なシミュレーションからも興味のある結論が得られることが期待される。

### 3. 共進化のシミュレーションモデル

前述のとおり、コミュニケーションができないことによって、協調できず裏切りあい状態に陥るといふ囚人のジレンマ状況は、社会システムにおいて広く観察される。よって、以下では、社会システムを構成する主体が囚人のジレンマ状況にある場合に、コミュニケーション(相互作用)を行うことによって協調が生じうるか、つまり社会を裏切りあい状態から協調しあう状態へと救うことができるかをシミュレーションを通じて分析する。

#### 3.1 ゲームの概要

これまでに述べた共進化の概念を適用して、主体間の相互作用(コミュニケーション)と社会システムの進化の関係をシミュレーションによって分析してみよう。ただし、Lindgren(1992)が指摘するように、進化という現象を分析するためには、「進化可能な程の複雑さと、分析可能な程の単純さ」をもったモデルを構築することが必要となる。つまり、現実の主体について、本質的な部分を失うことなく抽象化し、かつ進化を生じさせることができるモデルが必要とな

る。

前に述べたように「共進化」という現象の本質は、複数の主体が時間の流れの中で繰り返し「相互作用」することによって、進化が促進されるということにある。よって、本研究では相互作用の範囲を変化させることによって、上述の進化がいかに進行するかを分析しよう。ただし、共進化について4つの視点を提示したが、ここでは簡単のために、問題領域間の関連性についてはモデル化せず、(1)主体間の相互作用、(2)主体の能力には限界があること、(3)時間の流れ／動的な過程、の3点についてモデル化しよう。

ここでは以下の状況を想定する。主体は社会関係によって規定された他の主体と「囚人のジレンマゲーム」を1世代あたりR回プレイする。各世代の戦略は、あらかじめ決定されており、その世代中は変更できない。R回のゲームを行うことによって、その世代での利得が決まる。主体はその結果によって、次世代にとる戦略を変更することができる。戦略の変更は、自分の周囲の他の主体の戦略を「模倣」してもよく、自発的に自己の戦略を新しいものに「革新」することもできる。ゲームを行う範囲と戦略を模倣する相手が異なる場合もある。戦略を決定した後、次世代のゲームが行われる。これが繰り返される。

この過程を分析するために、遺伝的アルゴリズムによるシミュレーションを用いる。これは、Holland(1975)が進化メカニズムに着想を得て開発した確率的最適化アルゴリズムである<sup>注12</sup>。例えばAxelrod(1987)は、戦略の進化のシミュレーションにこの手法を適用している。また、Lindgren(1992)、Lindgren and Nordahl(1994)、星野、一野勢、徳永(1993)などは、この手法を用いることによって、生物の進化のシミュレーションを行っている。

ただし、彼らの分析では、主体は社会システムに含まれるすべての主体と対戦するとされている。しかし、我々の交友範囲が限られているように、主体が直接的にゲームを行う範囲は限定されていると考えた方が自然である。また、生物とは異なり社会システムを構成する主体には、ゲームの対戦範囲以外から情報を収集し、良好な戦略を採用するという能力がある。よって、相互作用については、ゲームを対戦するという相互作用と、戦略を選択するための情報の探索という2種類の相互作用を考慮する<sup>注13</sup>。

## 3.2 モデル

### (1)社会システム(二種類の相互作用)

社会は $N \times N$ の正方格子であるとする。この格子点上に、プレイヤーが一人ずつ分布しているとす。空き格子はないとするので、 $N \times N$ の主体が存在することになる。ただし、格子の境界については周期的境界条件を課す。

### (2)相互作用

二通りの相互作用のうち、ゲームの対戦という相互作用については、プレイヤーは自分を中心として $\delta_p$ 以内の距離の他のプレイヤーとゲームを行うとする。この $\delta_p$ を以下では「対戦近傍」と呼ぶことにする。二つ目の、情報を収集するための相互作用については、プレイヤーは自分を中心として、 $\delta_s$ 以内の範囲で情報を収集し、それらの戦略の成果を比較して、そのうち良好な成績を上げた戦略を次の世代に採用するとしよう。この $\delta_s$ を「模倣近傍」と呼ぶことにする。

<sup>注12</sup> 遺伝的アルゴリズムは、微分可能性や関数の連続性などの制約を受けないこと、多峰型の関数についても最適値が求められる可能性があること、組み合わせ問題についてのパフォーマンスが良好であることなどの特徴がある。詳細は、Goldberg(1989)、北野編(1993)を参照せよ。また、Hillis(1990)、Reynolds(1994)は、共進化に着想を得た最適化のアルゴリズムを示している。

<sup>注13</sup> また、Ellison(1993)は、協力ゲームについての分析ではあるが、大域的な相互作用と局所的な相互作用を比較して、空間的にオーバーラップする局所的な相互作用の方が、均衡への到達が早いことを示している。

### (3)戦略の表現

Axelrod(1987)、Lindgren(1992)同様、戦略は以下のように表現する。このゲームでは可能な行動は二つなので、協調を0、裏切りを1とする1ビットで表す。ただし、繰り返しゲームでは無数の戦略が存在するので、それらのすべてを考慮することは不可能である。よって、以下の特徴をもつ戦略に限定する<sup>注14</sup>。つまり、主体は過去の情報全てを考慮することはできず、mビット分の記憶しかもたない。そして、このmビット分の記憶(歴史 history)に基づいて各ラウンドの行動を決定する。

記憶長がmビットなので、 $2^m$ 通りの歴史があり得る。よって、それぞれの歴史に対応する $2^m$ ビットの2進数で戦略(歴史が与えられたときの行動)を表現する。ただし、初期には歴史が存在しないので、mビットを初期の歴史として仮定し、戦略の一部とする。よって、記憶長mの場合には、 $m+2^m$ ビットで戦略が表現される。記憶長がmビットしかないということは、主体の合理性が限定されていることを表していることに再度注意しよう。

図表2の例は、記憶長が1ビット、つまり前回の相手の行動のみを記憶している戦略の例である。この戦略では、記憶長が1でなので、初期の歴史として1ビット分が仮定されている( $a_{h0}$ )。この値は0であり、歴史の値が0のときの行動 $a_0=0$ なので、1回目のゲームでは協調することになる。2回目以降は、歴史の値が0(前回、相手は協調した)のときには、行動0(協調)を、歴史の値が1(前回、相手は裏切った)のときには、1(裏切り)という行動をとることになる。これは前述のAxelrodのトーナメントで、最も良い成績を残したしっぺ返し戦略である。

図表2 戦略の例

$S = [ a_{h0} \ a_0 \ a_1 ] = [ 0 \ 0 \ 1 ]$
↑ 歴史の値=1のときの行動：裏切り(1)
↑ 歴史の値=0のときの行動：協調(0)
↑ 仮定する初期の歴史の値：0→ $a_0=0$ なので協調(0)

### (4)次期の戦略の決定

主体は1世代あたり、R回の対戦を行った後、自分を中心として「模倣近傍  $\delta_s$ 」以内の距離の主体と自分の得点を比較する[自分を含めて、 $4\delta_p+1$ 人の主体の得点を比較することになる]。その中から、各主体の得点到比例した「確率」で次世代に採用する戦略を選択する。つまり、i番目の戦略(個人)の得点を $g_i$ とすると、この戦略を主体が採用する確率 $P(S_i)$ を選択)は次式で与えられる。

$$P(S_i \text{を選択}) = g_i / \sum g_j$$

ただし、和は i番目の主体の模倣近傍の中でのとる。これは、成果のよい戦略ほど模倣されやすいことを示している。また、すべての範囲ではなくて限定された範囲内でのみしか情報を探索できないこと、さらに選択も確率的であるという、二つの意味で限定された合理性を表している。

### (5)戦略の進化

(4)では決定された戦略のうち、良好な成果を挙げた戦略ほど、次世代においてより多く採用されること、つまり、より適応した主体(種)ほど多くの子孫を残し、繁栄するという社会システムの進化を考慮した。ここでは、新しい戦略の発生という進化についてモデル化する。具体的には、次の3つの進化の方法があるとする(図表3参照)。

- ・点変異(point mutation)

m +  $2^m$ ビット長で表現した戦略の1ビットを反転する。どの位置を反転するかはランダム

<sup>注14</sup> ここでの戦略は確率的な行動を含まないため、純粋戦略と呼ばれる。



ムに決定する。各主体について最大1箇所の突然変異が生じるとする。

・交配(crossover)

記憶長はそのままとしながら、他の戦略と自分の戦略とを交差することによって新しい戦略を合成する。交差は、同じ戦略長さの主体間のみにおいて生じ、交差する位置は1箇所のみとする。遺伝的アルゴリズムでは交配は、探索空間を拡大するために行われる。囚人のジレンマゲームの最適戦略の探索を行ったAxelrod(1987)は、交差を行うことによって、より強力な戦略を見いだしている。

・点結合(記憶長の拡大)

記憶長を1ビット増加させる変異である。つまり、記憶長 $m$ (戦略長 $m+2^m$ )の戦略が記憶長 $m+1$ (戦略長 $m+1+2^{m+1}$ )の新しい戦略となる変異である。これについては、自分の戦略とランダムに選択した他の戦略のビット列をならべて、ランダムに位置を指定し、そこから $m+1+2^{m+1}$ ビット分を新しい戦略とする。

図表3 戦略の進化の例

<p>・点変異の例 (3ビットめが反転) 1001→1011</p>	
<p>・交差の例 1 1   0 0 0 0 → 1 1   1 1 1 1 と ↓↑ 0 0   1 1 1 1 → 0 0   0 0 0 0</p>	
<p>・結合の例 (記憶長2、6ビットの2つの戦略が結合) 1 1 0 0 0 0 と 0 0 1 1 1 1</p>	
<p>結合1 : 1 1 0 0 0 0   0 0 1 1 1 1 (12ビット) →ランダムに位置を指定、そこから11ビット分を新しい戦略とする</p>	
<p>結合2 : 0 0 1 1 1 1   1 1 0 0 0 0 (12ビット) →ランダムに位置を指定、そこから11ビット分を新しい戦略とする</p>	

これら3つの変異は、それぞれ確率  $P_{\text{pmut}}$ 、 $P_{\text{cross}}$ 、 $P_{\text{join}}$ で生じるとする。

### 3.3 シミュレーションの結果

相互作用の範囲、つまり対戦近傍  $\delta_p$ と模倣近傍  $\delta_s$ を変更することによって、社会システムおよび戦略の進化の様子を分析してみよう。シミュレーションのパラメーターを図表4に示す。これは、モンテカルロ・シミュレーションであるため、乱数系列によって異なった結果が得られる。よって、各パラメタセットに関して、乱数系列を更新して30回づつのシミュレーションを行う。

以下では、シミュレーションによって観察される現象を実証命題として示していくことにする。

図表4 シミュレーションのパラメーター

- ・社会のサイズ 11×11 (主体数 N=121)
- ・世代数 400
- ・前述のペイオフ行列(囚人のジレンマゲーム)
- ・初期状態
  - 記憶長1の8種類の戦略をランダムに発生、一様に分布させる。
  - 0 0 0 All-NA-0 (常に協調)      1 0 0 All-NA-1 (常に協調)
  - 0 1 0 Anti-Tit for Tat            1 1 0 Anti-Tit for Tat-2
  - 0 0 1 Tit for Tat                    1 0 1 Tit for Tat-1
  - 0 1 1 All-A-0(常に裏切り)        1 1 1 All-A-1(常に採用)
- ・  $P_{\text{pmut}}=P_{\text{cross}}=P_{\text{join}}=5 \cdot 10^{-3}$

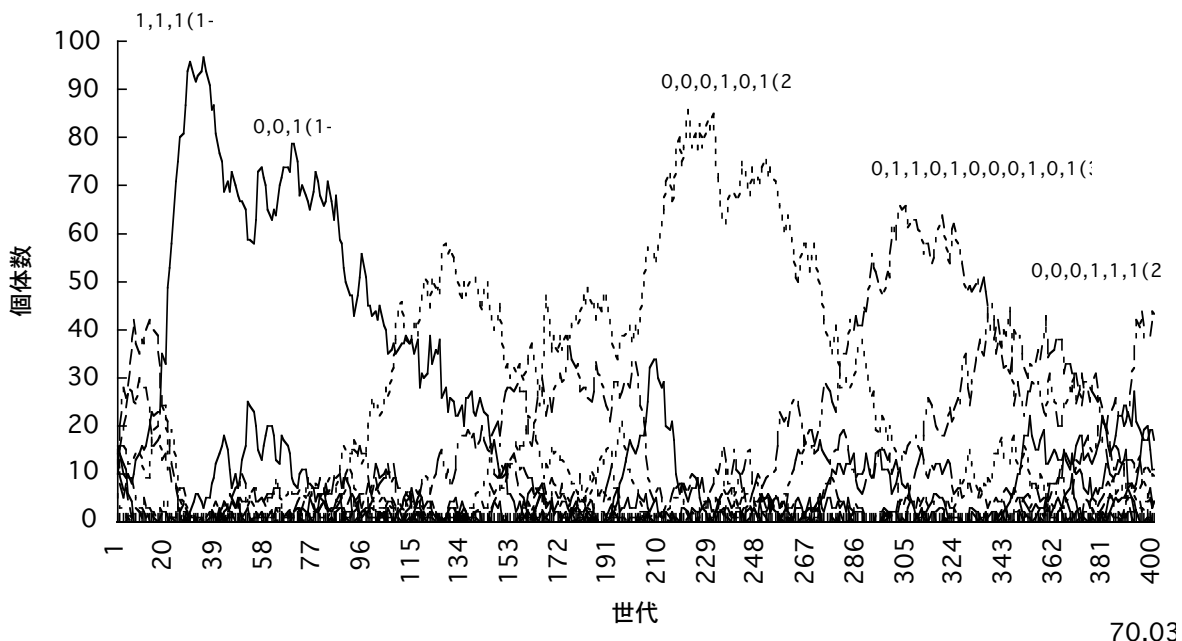
### (1)戦略の進化

図表5には  $\delta_p = \delta_s = 1$  とした試行の一例を示した。この図表の横軸は世代であり、縦軸は各戦略を採用する主体の数を示してある(全主体数は121)<sup>注15</sup>。

なお、以下では各戦略種について、「記憶長-戦略のビットパターンを10進数に変換した値」という形で表記する。この表記法を採用すると、戦略001は1-4、戦略110100は2-11と表される。ただし、10進数に変換する際に、通常とは逆に左端の桁を1桁めと考えている。

この図表の例では、当初は「常に裏切り戦略(111)」が優勢である。ついでAxelrodのトーナメントで優勢となった「しっぺ返し戦略(001)」が優勢となる。その後、これよりも強力な01101000101(3-1301)戦略及び000101(2-40)戦略が優勢となる。

図表5 戦略毎の主体数の変動 ( $\delta_p = \delta_s = 1$ )



<sup>注15</sup> 実際にはより多くの戦略が発生しているが、すべてをグラフに表示することは煩雑なので、その戦略を採用したのべ主体数が20以上の戦略についてのみグラフ示した。

これらは、協調を成立させる戦略である。つまり、社会システム内でゲームが対戦され、より良好な戦略がより次世代に子孫を残すという進化メカニズムによって、協調が見いだされている。このことを次のシミュレーションから得られた実証命題として示しておこう<sup>注16</sup>。

### 実証命題1

長期的なくり返しは協調の成立を促進する。

Axelrodの研究は、ゲーム理論を熟知した研究者からプログラムを募集し、対戦させたものである。これに対して、ここで行ったのは、記憶長も最大で5ビットにすぎず、情報の探索範囲も限られ、得た情報を完全に活用できないという「限られた能力」しか持たない主体を仮定した単純なシミュレーションである。それにも関わらず、Axelrodのトーナメントと同じ戦略が見いだされている。このことを次のシミュレーションからの実証命題として示しておこう。

### 実証命題2

限定的な合理性しか持たない主体であっても、より強力な戦略を見いだすことができる。

それでは、なぜ、このようなダイナミクスが生じるのだろうか。このことを検討するために、各戦略間の10回分の対戦状況をみてみよう。

図表6 記憶長1の戦略間の対戦マトリクス

コード	番号	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	平均
000	1-0	3.00	3.00	0.00	0.30	3.00	2.70	0.00	0.00	1.50
100	1-1	3.00	3.00	0.00	0.30	3.00	2.70	0.00	0.00	1.50
010	1-2	5.00	5.00	2.00	5.00	2.40	1.90	0.10	0.10	2.69
110	1-3	4.80	4.80	0.00	2.00	2.60	2.10	0.00	0.00	2.04
001	1-4	3.00	3.00	1.90	2.10	3.00	2.50	0.90	0.90	2.16
101	1-5	3.20	3.20	2.40	2.60	2.50	1.00	1.00	1.00	2.11
011	1-6	5.00	5.00	4.60	5.00	1.40	1.00	1.00	1.00	3.00
111	1-7	5.00	5.00	4.60	5.00	1.40	1.00	1.00	1.00	3.00
平均得点*		4.00	4.00	1.94	2.79	2.41	1.86	0.50	0.50	2.25

\*)行方向のプレイヤーが列方向のプレイヤーと10回対戦したときに得る1回当たり平均得点

111(1-7)と000(1-0)が対戦した場合について考えてみよう。111(1-7)は「常に裏切り」、000(1-0)は「常に協調」するため、前者は5点、後者は0点を獲得する<sup>注17</sup>。このようにして求めた記憶

<sup>注16</sup> この実証命題については、ゲーム理論家によって協調が成立する条件が解析的に分析され、folk theoremとして示されている[神取(1994)を参照せよ]。

<sup>注17</sup>  $S=\{1, 1, 1\}=\{ah_0, a_0, a_1\}$ という戦略では $a_0=a_1=1$ なので、歴史の値に関係なく、「裏切り(1)」という行動をとることになる。よって、「常に裏切り戦略」と呼ぶ。 $S=\{0, 1, 1\}$ も同じく「常に裏切り戦略」である。これに対して、 $S=\{1, 0, 0\}$ と $S=\{0, 0, 0\}$ は、歴史の値に関係なく「協調(0)」という行動をとるので、「常に協調戦略」と呼ぶ。

長1の戦略間の対戦マトリクスをみると、8種の戦略がほぼ同じ数だけ存在するという初期状態においては、011(1-6)もしくは111(1-7)「常に裏切り」の平均利得は、3.00点と最も高い水準になる。これは、「常に協調戦略[000(1-0)もしくは100(1-1)]」と対戦することによって、5点という高い利得を得ていることによる。

このため、社会システムの中には「常に裏切り戦略[011(1-6)もしくは111(1-7)]」を採用する主体数が増加する。これらの戦略に搾取されている「常に協調戦略[000(1-0)と100(1-1)]」の平均得点は1.50と低いので、これらの戦略を採用する主体数は減少する。この結果、社会システムを構成する大部分の主体が「常に裏切り戦略」を採用することになる。「常に裏切り戦略」同士が対戦した場合の利得は1なので、全体の平均利得も1へと低下していく。

「しっぺ返し戦略001(1-4)」が「常に裏切り戦略」と対戦した場合には、前者は平均で0.9の利得しか得られない。しかし、「しっぺ返し戦略」同士が対戦した場合には協調が成立し、3点を得ることができる。しばらくの間は、社会システムに占める「常に裏切り戦略」の割合が高いので「しっぺ返し戦略」同士が対戦する確率は低い。しかし、これらがひとたび対戦すると、平均3点という高い得点を得ることができ、「常に裏切り戦略」が大半をしめる状態では、社会システム全体での平均得点は1程度と低いので、「しっぺ返し戦略」同士で対戦することによって高得点を挙げた「しっぺ返し戦略」が増加する。

「しっぺ返し戦略」が当初は不利なことからもわかるように、同じ戦略であっても周囲の環境によって、そのパフォーマンスは変化している。このことを次の実証命題としておこう。

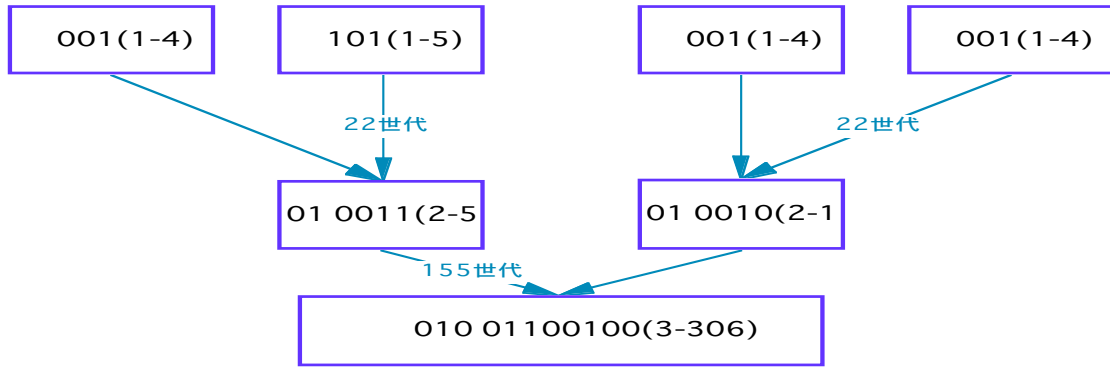
### 実証命題3

同じ戦略であっても、周囲の環境によって、そのパフォーマンスは異なる。

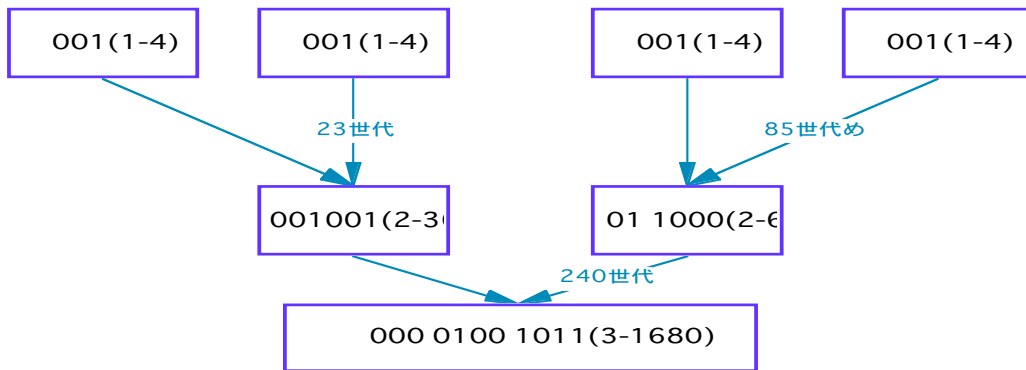
戦略の進化について分析してみよう。図表7はある試行における優勢な戦略の進化の系統図である。この試行では、001(1-4)、010 01100100(3-306)、000 0100 1011(3-1680)がそれぞれ交替で優勢な戦略として現れた。

このうち、010 01100100(3-306)は155世代めに、01 0011(2-50)と01 0010(2-18)が結合し、1点めから11ビット分が切断されることによって生成されたものである。さらにこの、01 0011(2-50)は22世代めに001(1-4)と101(1-5)が結合することによって生成され(001 101の5ビットめから切断)、01 0010(2-18)も同じく22世代めに001(1-4) と001(1-4)が結合することによって生成されたものである(001 001の5ビットめから切断)。同様に、000 0100 1011(3-1680)は240世代めに、001001(2-36)と01 1000(2-6)が結合することによって生成されたものである(001001 01 1000について11ビットめから切断)。001001(2-36)は23世代めに001(1-4) と001(1-4)が結合することによって生成され(4ビットめから切断)、01 1000(2-6)は85世代めに001(1-4)と001(1-4)が結合することによって生成された(2ビットめから切断)。

図表7 戦略の進化の例  
a)010 01100100(3-306)の場合



b)000 0100 1011(3-1680)の場合



このように、既存の戦略種を合成することによって、より強力な戦略が見いだされている。つまり、進化については、変異のみならず既存の戦略を保持することも重要なのである。このことを次の実証命題として示しておこう<sup>注18</sup>。

実証命題4

戦略の進化については、変異のみならず、保持も重要である。

(2)社会システムの進化と主体間の相互作用

ここまでは、特定の試行もしくは個別の戦略という観点から分析を進めた。以下ではマクロな観点から分析してみよう。30回分のシミュレーションについて、発生した戦略の種類数、平均得点などの平均値と標準偏差を示した(図表8)。

<sup>注18</sup> 進化における保持の重要性は、村上(1994)も指摘している。

図表8 シミュレーションの結果(各セット30回分の平均値)

対戦近傍 $\delta_p$	模倣近傍 $\delta_s$	発生戦略の種類数		世代あたり平均 存在戦略数		平均得点		社会のダイナミクス			
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	安定型	準安定型	交替型	不安定型
1	1	125.4	41.7	7.36	0.610	2.75	0.216	5	12	12	1
2	2	103.9	44.7	6.63	0.580	2.71	0.272	12	9	8	1
3	3	98.2	32.8	6.26	0.500	2.74	0.150	13	9	7	1
4	4	92.6	32.4	6.30	0.553	2.65	0.368	10	9	9	2
1	2	117.0	50.9	6.53	0.640	2.74	0.140	10	7	10	3
1	3	111.0	58.5	6.42	0.610	2.73	0.200	9	12	7	2
2	1	170.0	45.6	9.22	0.910	2.04	0.530	2	4	18	6
2	3	102.0	40.1	6.30	0.420	2.75	0.140	12	11	6	1
3	1	184.0	45.7	9.54	0.860	1.99	0.430	1	2	12	15
3	2	189.0	50.2	9.03	0.910	2.13	0.370	0	1	10	19

対戦近傍、模倣近傍がともに1の場合には、平均で125.4種類の戦略が発生しているが、これらが2の場合には、103.9種類へと減少している。同時に発生戦略数の標準偏差も小さくなっている。つまり、対戦近傍、模倣近傍が等しい場合には、相互作用の範囲が広がるのに従って、発生する戦略の種類が少なくなり、戦略の多様性が減少することが読みとれる。

対戦近傍と模倣近傍のバランスを崩してみよう。対戦近傍を1、模倣近傍を2とした場合には、発生戦略数の平均値は117.0と減少するのに対して、対戦近傍を2、模倣近傍を1とした場合には、発生戦略の平均値は170.0種類へと増加する。このことから、対戦近傍が大きくなると発生する戦略が多くなり、模倣近傍が大きくなると発生する戦略が少なくなることがわかる。

1回の対戦あたりの平均得点についてみてみよう。対戦近傍、模倣近傍ともに1とした場合の平均得点は2.75点であり、標準偏差は0.216である。協調が成立した場合の得点が3点だから、この場合には、協調する割合が高くなっていることが読みとれる。対戦近傍、模倣近傍ともに2とすると平均得点は2.71点に低下し、その標準偏差は0.272に増加する。つまり、相互作用の範囲が広がるにつれて、平均得点は低下し、その標準偏差が増加する。二つの相互作用のバランスを崩すと、このことがより明確になる。対戦近傍を1、模倣近傍を2とした場合、平均得点は変化しないものの、標準偏差は0.140に低下する。これに対して、対戦近傍を2、模倣近傍を1とすると平均得点は2.04に低下し、標準偏差は0.530に増加する。このことから、対戦近傍が大きくなると平均得点が低くなるだけでなく、得点のばらつきも大きくなることがわかる。これに対して模倣近傍が大きくなると、平均得点は高くなり、得点のばらつきも小さくなることがわかる。

これらは統計的にも検証されている。発生戦略の数については、対戦近傍  $\delta_p$  は正、模倣近傍  $\delta_s$  は負で、それぞれ有意である。平均得点については、対戦近傍  $\delta_p$  は負、模倣近傍  $\delta_s$  は正で

有意となっている(図表9参照)<sup>注19</sup>。

これは次のように考えることができる。つまり、対戦近傍が大きくなるほど、より多くの主体と対戦することになるために協調が成立しにくくなり、平均得点が低下する。また、多様な相手と対戦するために、得点のばらつきも大きくなる。一方、模倣近傍が大きくなるほど、広い範囲から探索を行うことが可能になると同時に、良好な戦略は、より多くの主体から選択されることになり、高得点を得た戦略が社会システムへと広がりやすくなる。この結果、発生する戦略の数は減少し、平均得点は増加する。

図表9 回帰分析の結果

	発生した戦略の数	ラウンド平均戦略数		平均得点	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
対戦近傍： $\delta p$	1.923***	0.080***	0.011***	-0.021***	0.002**
模倣近傍： $\delta s$	-2.880***	-0.112***	-0.015***	0.025***	-0.004***
定数項	148.3***	8.008***	2.359***	2.440***	0.527***
$R^2$	0.268	0.618	0.223	0.318	0.100
adj $R^2$	0.264	0.616	0.219	0.313	0.094
F-statistic	59.863	264.578	47.052	76.081	18.164

注)\*\*\*:1%水準で有意 \*\*:5%水準で有意

このように、対戦する、情報を探索するという2つの相互作用は、全く逆の機能を果たしていることが読みとれる。これらを次の実証命題としよう。

#### 実証命題5

ゲームを対戦するという相互作用の範囲と協調の成立可能性には、負の相関がある。

#### 実証命題6

探索するという相互作用の範囲と協調の成立可能性には、正の相関がある。

### (3)社会システムの変動パターン

時系列での戦略の分布の変動パターンを次の4つに分類した。ただし、試行開始直後の50世代までは、「常に裏切り戦略[011(1-6)もしくは111(1-7)]」が優勢となることが多いので、50世代以降に注目して分類した(図表10参照)。

#### (1)安定型

一つの戦略が常に社会システムの中で優勢(主体数が最も多い)な場合である。具体的に

<sup>注19</sup> シミュレーションにおける誤差は、乱数発生プログラムによって発生した再現性のある誤差である。つまり、統計学で前提とするランダムな誤差ではないので、統計的な検定を行うことには問題がある。しかし、ここでは参考のために、重回帰分析による検定を行う。

は、累積主体数シェア<sup>注20</sup> が50%以上の戦略が1つのみ存在し、それが初期の過渡期を除いて常に優勢となる場合である。

(2)準安定型

社会システムの中に優勢な戦略は存在するものの、他の戦略が優勢となることもある場合である。具体的には初期の過渡期を除いて、累積主体数シェアが50%以上の戦略が存在するが、世代によっては他の戦略が優勢となることがある場合である。

(3)交替型

一定期間、優勢な戦略が存在するが、他の戦略によってこの安定が破られ、別の戦略による安定に至る場合である。ここでは、シェア1位を100世代以上、継続する戦略が2種類以上ある場合である。

(4)不安定型

特に優勢な戦略がみられない場合であり、これまでの3を除いたパターンである。

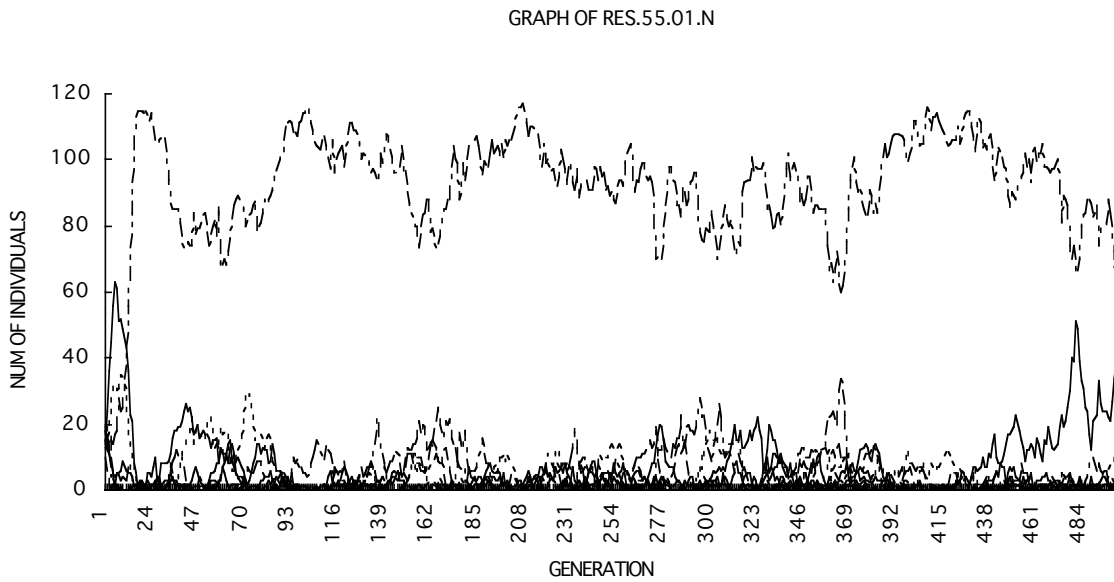
---

<sup>注20</sup> 累積主体数シェアは、次式で定義する。

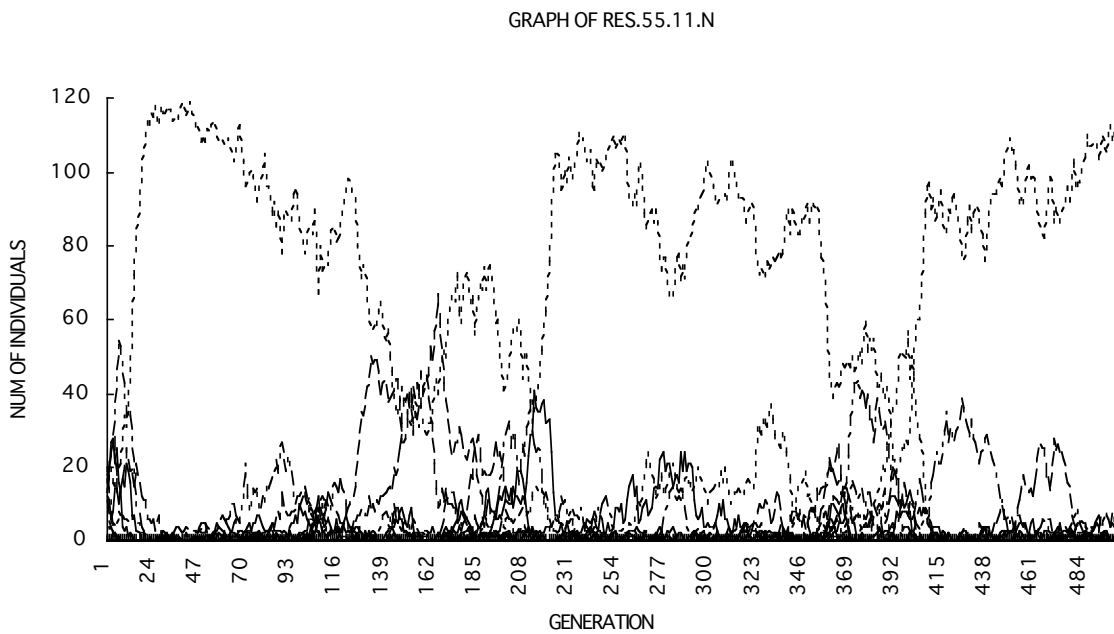
累積主体数シェア=その戦略を採用した主体ののべ数/(121主体×400世代)



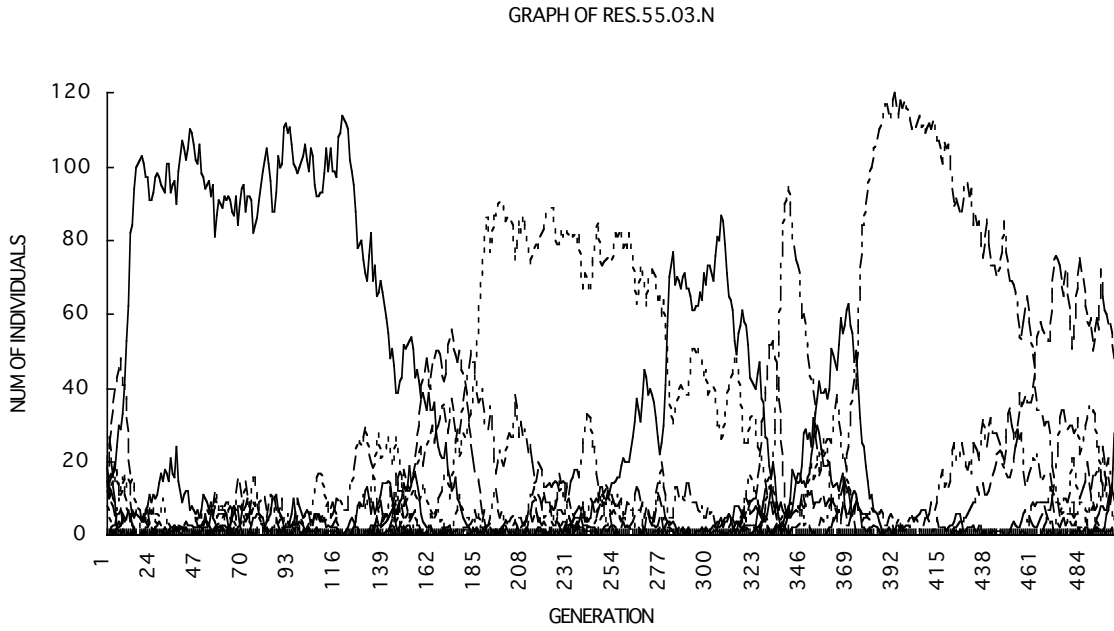
図表10-1 社会システムにおける戦略の分布の進化の例 ( $\delta p = \delta s = 4$ )  
 (a)安定型



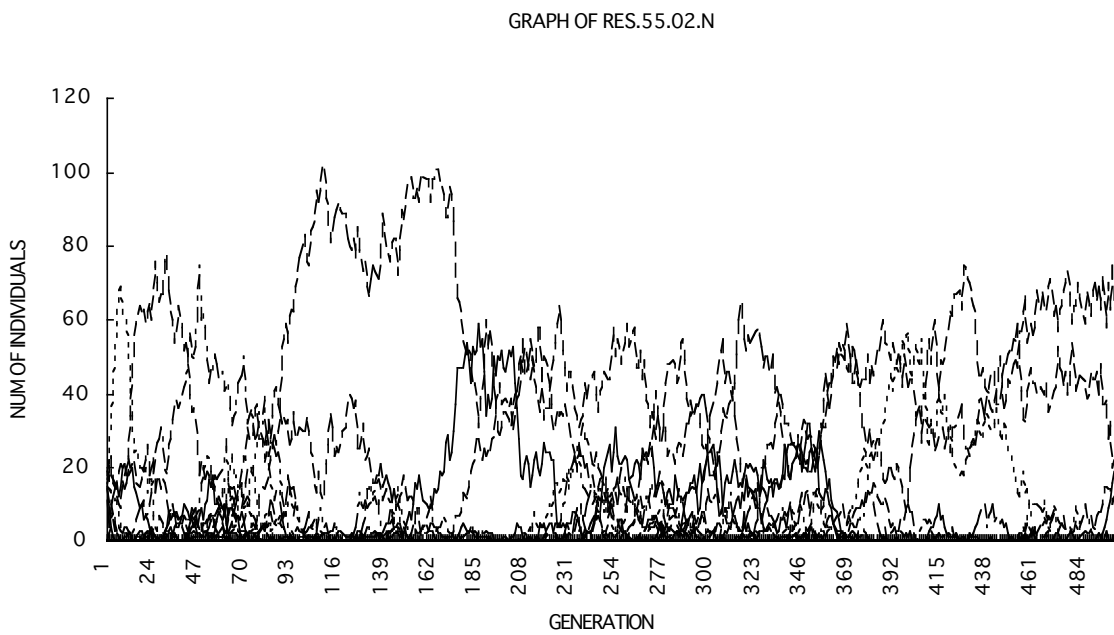
(b)準安定型



図表10-2 社会システムにおける戦略の分布の進化の例 ( $\delta p = \delta s = 4$ )  
 (c) 交替型



(d) 不安定型



図表8に示したように、対戦近傍と模倣近傍をともに1とした場合には、30回の試行中、準安定型と交代型が12試行ずつ、安定型が5試行、不安定型が1試行、観察された。ここで重要なのは、同じパラメーターセットでシミュレーションを行った場合でも、乱数系列を変更することによって、社会システムの変動パターンが全く異なってくることである。

つまり、ゲームのルールが全く同じで単純な場合でさえ、わずかな誤差によって社会システムの進化の様子が全く異なってしまうのである。このことを実証命題として提示しておこう。

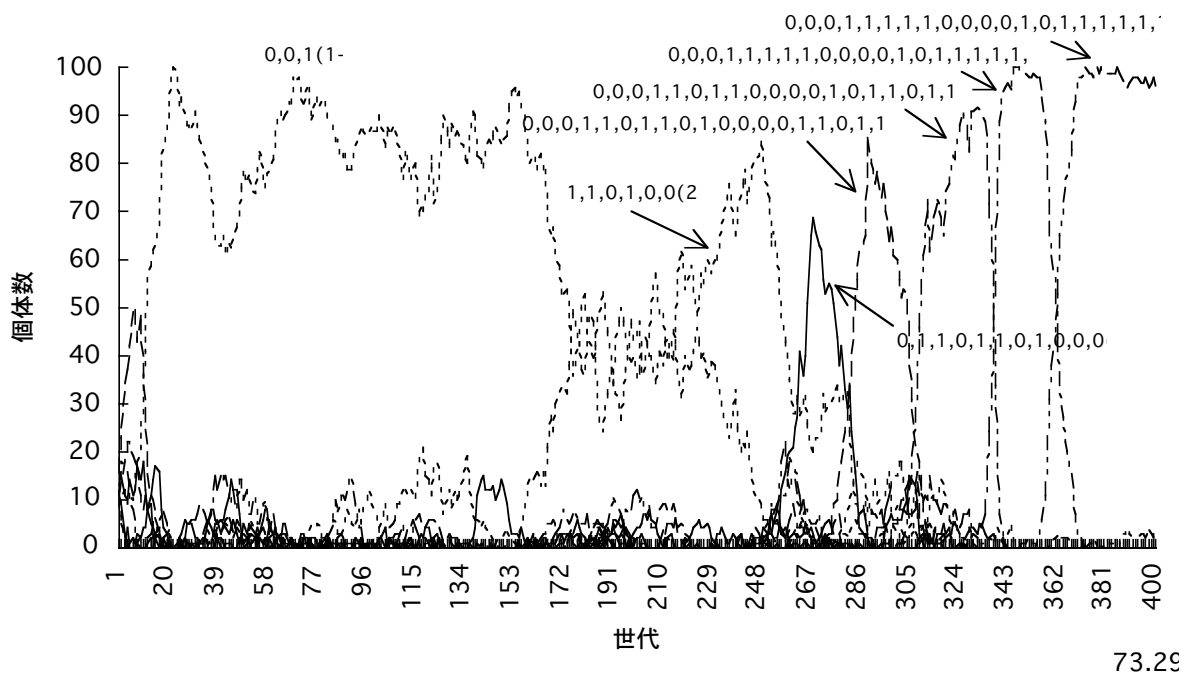
#### 実証命題7

社会システムの進化は多元的であり、一つの均衡に収束するとは限らず、均衡が存在しない場合もある。

相互作用の範囲と、社会の変動パターンの関係に注目しよう(図表8)。対戦近傍と模倣近傍が等しい場合には、相互作用の範囲と社会のダイナミクスとの間には明確な関係はみられない(30試行のうち20試行程度が、安定型と準安定型に分類される)。

ただし、交替型について注目すると、ある戦略が優勢な状態から、別の戦略が優勢な状態へと転移する場合については、相互作用の範囲が広いほど、その転移が急激に生じることが読みとれる(図表5と図表11を比較せよ。前者は対戦近傍と模倣近傍がともに1の場合であり、後者は4の場合である)。

図表11 戦略毎の主体数の変動 ( $\delta_p = \delta_s = 4$ )



対戦近傍と模倣近傍のバランスを崩すことによって、それぞれの相互作用の影響をみてみよう。対戦近傍を模倣近傍よりも大きくした場合には、交替型もしくは不安定型のパターンを示す割合が高くなる。これとは逆に、模倣近傍を対戦近傍よりも大きくした場合には、安定型もしくは転移型のパターンを示す割合が高くなる。

つまり、ゲームを対戦するという相互作用は、協調を成立しにくくさせ、社会システムを不

安定化させる。これに対して、情報を探索するという相互作用は、協調を成立しやすくし、社会システムを安定化させる。ただし、上にみたように情報を探索するという相互作用が拡大すると、ひとたび、強力な戦略が発生した場合に、それへの転移が急速に進展する。これらを次の二つの実証命題としてまとめよう。

#### 実証命題8

ゲームを対戦するという相互作用の範囲と社会システムの安定性には負の相関がある。

#### 実証命題9

情報を探索するという相互作用の範囲と社会システムの安定性にはおおむね正の相関がある。ただし、転移の早さには正の相関がある。

#### 4.まとめ

本論文ではシミュレーション分析を通じて、9個の実証命題を設定した。これらを現実と関連させながら社会システムの将来を展望してみよう。

実証命題1は、長期的なゲームのくり返しと、その結果を観察し、良好な戦略を採用するという主体の行動が協調の成立を促進するというものである。協調は限定的な合理性しか持たない主体の間でも成立する(実証命題2)。社会システムを構成する我々人間の能力は、経済学が仮定するほど合理的ではない。そのような限定された合理性しかもたない主体から構成される社会システムであっても、相互作用つまりコミュニケーションを通じて、より望ましい結果に至ることが可能であることは、社会システムの将来に明るい展望を与える。

ただし、同じ戦略であっても周囲の環境によって、そのパフォーマンスは異なるということ(実証命題3)は、将来を考えた場合に、いわゆる定石となるような戦略は存在せず、環境の変化に応じて、戦略を変更していくことが必要であることを意味している。ただし、「裏切り戦略」が優勢となる中で、「しっぺ返し戦略」が優勢となっていくことにみられるように、主体は環境から一方的に影響を受けるのではなくて、自ら協調することによって高得点をあげ、それを知った周囲の主体がそれを模倣し、協調が成立し、社会システム全体が協調的な戦略によって占められるようになっていく。このように、環境は絶対的ではなくて、主体の行動によって、それをも変化することが可能なのである。

社会システムの進化については、変異のみならず、保持も重要であることに留意しなければならない(実証命題4)。近年、日本の政治、経済、経営などの分野で構造変化が生じたこと、そしてそれに対応するためには変化が必要であることが強調されることが多い。これらの議論は、「保持」することの重要性を見失っているように思われる。

戦後の日本の経済的成功は、勤勉な国民性(労働力の面と併せて貯蓄を行うことによって産業への資金を供給した)、血縁社会の特性を活かした経営・雇用システム、産業政策など、日本的な要因を保持しつつ、西欧の近代化の手法を取り入れることによって成し遂げられたといえよう。いわば保持しつつ変化することによって、経済的な成功が成し遂げられたのである。保持の重要性を忘れ、変化のみを強調することは、自らを見失い、混乱しか招かない可能性があるのではないだろうか<sup>注21</sup>。

このことは、社会システムの進化の多元性を考えるとより明確になる(実証命題7)。現在の日本の経済に関して主流となっているのは次のような論調だろう。自由競争に基づく「市場経済」こそが、社会の厚生を高める。よって、これを阻害する規制を緩和し、競争を促進すべきである。

これは、市場での自由な取引によって唯一の均衡が達成されることを前提としているように思える。しかし、ここに示したように極めて単純なゲームであってさえも、確率的な事象の発

<sup>注21</sup> 例えば小田切(1995)は、日本的経営システム、人事慣行からの脱却が、組織としての学習能力の喪失をもたらす危険性を指摘している。

生にともなって、社会システムの進化の状況はまったく異なってしまうのである。この点について、青木(1995)は進化ゲームを用いることによって、ゲームの均衡が複数存在することを解析的に示し、アングロサクソン(特に米国)型の経済システム以外にも、日本型とでもいべき経済システムが存在する可能性を示唆している。これらのことから、日本と米国について、同一の理想像(いわゆる市場経済)を描くことには問題があるのではないかという疑問が生じる。青木がいうように、社会(経済)システムの将来を考える際には、その多元性を認め、それを考慮することが必要なのである。

ここでは、2種類の相互作用(コミュニケーション)について考察した。これらの相互作用は、個々の戦略の進化というミクロな点のみならず、社会システムの進化というマクロな現象においても、極めて重要な役割を果たしている(実証命題5、6、8、9)。

コミュニケーション手段の発達した現代においては、自らが実際に経験しなくても、情報を探索することによって他者の経験を共有することが可能となっている。このことは、ここでのシミュレーションでいうと、対戦近傍に比べて、模倣近傍が大きくなっている場合に対応する。実証命題5、6、8、9で示したように、このような状態は、協調の成立を容易にし、社会システムの平準化(大部分のものが同じ戦略をとる)を促進し、社会システムを安定させる。協調的な状態が持続し、均一化した状態が望ましいとしたならば、現在の社会システムは、その状態に近いのではないだろうか。一方、実証命題9では、探索するという相互作用の範囲が広がることによって、ある状態から別の状態への転移がより急速に進むことを示した。フランス革命、ロシアの革命などが数年を要したのと比較して、社会主義諸国は1989年後半のわずかな間に崩壊した。これは、コミュニケーションの発達した現代ならではの現象なのではないだろうか。情報を探索するというコミュニケーションは、社会を一様化させ安定させるという機能をもつ一方で、転移が発生した場合には、急速に社会システムを変動させてしまうという特徴をもっていることに注意する必要がある。

以上、本論文では抽象的なシミュレーションによって、社会システムを構成する主体間の相互作用(コミュニケーション)と、社会システムの進化との関係について考察した。これによって、コミュニケーションは、社会システムとその構成要素となる主体の戦略の進化を規定する重要なパラメーターであることが示された。

それでは、コミュニケーションはジレンマ状況における裏切りあいの状態から、社会を救えるのだろうか？ 繰り返し相互作用によって、協調の成立が促進されるのだから、コミュニケーションは社会の共通理解(協調)を促進し、社会を救う機能をもつものといえる。しかし、その一方で、コミュニケーションの範囲が広がるにつれて、ひとたび優勢な戦略が現れると、社会システムは急速にそれへと転移してしまうというリスクをもちあわせていることに注意しなければならない。

本論文では社会システムの進化のパターンを4つに分類したが、我々が望んでいるのは「変動のない安定した社会」なのだろうか、「安定している時期がしばらく続くが、急速に他の安定へと転移する社会」なのだろうか、それとも「安定した状態の存在しない社会」なのだろうか。残念ながら、進化についての価値判断を放棄し、その多元性を尊重するという我々の分析では、その答えをだすことはできず、哲学や倫理の問題になってしまう。ただし、コミュニケーション範囲の広がった現在においては、性急で安易な変化が、社会を不安定な状態へと導く可能性があることに注意しておきたい。

なお、本論文では主体間の相互作用を中心に考察し、はじめに提示した共進化の概念のうち、主体内での問題の関連性については考察しなかった。というのは、個々の主体の内部の問題と比較して、主体間の相互作用についての考察が不十分であると思われたからである。ただし、富永(1991,p.103)は、外部との相互作用の様式を中心概念とする、周辺理論、世界システム

論では、日本の社会変動を説明することができないことを指摘し、構造一機能理論を用いて日本の近代化の分析を行っている。今後、主体の内部の問題についても考察する用意があることを記して、本論文を終えることにしよう。

#### 主な参考文献

- 青木昌彦(1995),『経済システムの進化と多元性 比較制度分析序説』,東洋経済新報社
- Axelrod,Robert(1984),*Evolution of Cooperation*,Basic Books Inc.(松田裕之訳『つきあいかたの科学』HBJ出版局、1987年)
- Axelrod,Robert(1987),“The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner’s Dilemma,”in Davis eds.,*Genetic Algorithm and Simulated Annealing* ,London:Pitman,p.32-42
- Durham, William H.(1991),*Coevolution ---Genes, Culture, and Human Diversity---*,Stanford Univ. Press
- Ellison, Glenn(1993),“Learning, Local Interaction, and Coordination” ,*Econometrica*,Vol.61,No.5, Sep.,pp.1047-1071
- Goldberg,David E.(1989),*Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley
- 浜岡豊(1994)「消費者の意思決定とクチコミの影響のメカニズム」東京大学博士学位論文
- 浜岡豊(1995),“共進化の観点からのマーケティング戦略論の再構築”『第一回日本マーケティング協会研究助成報告書』
- Hillis,Daniel W.(1990),“Co-Evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization Procedure”,Langton et al. eds. ,*Artificial Life II*,Addison Wesley,p.313-324
- 廣松渉(1986:1991),『生態史観と唯物史観』,ユニテ(講談社学術文庫に収録、1991年)
- 星野力、一野勢昌則、徳永幸彦(1993),「遺伝的アルゴリズムによる動物行動戦略の学習と進化」,(北野宏明編『遺伝的アルゴリズム』産業図書、1993年),p.305-322
- 伊東俊太郎(1988),『文明の誕生』,講談社学術文庫
- 人工生命研究会編(1994),『人工生命 情報と生命とCGの交差点』,共立出版
- 経営アカデミー・マーケティングコース・Eグループ(1995),「共進化の観点による企業のマーケティング戦略の動態分析」,社会経済生産性本部
- 神取道宏(1994),「ゲーム理論による経済学の静かな革命」,(岩井克人、伊藤元重編『現代の経済理論』東京大学出版会),p.15-56
- 北野宏明編(1993),『遺伝的アルゴリズム』,産業図書
- Langton,Christpher eds. (1989),*Artificial Life*,Addison Wesley
- Langton,Christpher et al. eds. (1992),*Artificial Life II*,Addison Wesley
- Langton,Christpher et al. eds. (1994),*Artificial Life III*,Addison Wesley
- Lindgren,Kristian(1992),“Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics”, in Langton et al. eds(1992),p.295-312
- Lindgren,Kristian and Mats G. Nordahl(1994),“Artificial Food Webs”,Langton et al. eds. (1994),p.73-103
- 村上泰亮(1992),『反古典の政治経済学 上下』,中央公論社
- 村上泰亮(1994),“反古典的方法序説”,(村上泰亮、西山賢一、田中辰雄『マニフェスト 新しい経済学』中央公論社),p.13-67
- Nelson,Richard(1994),“Economic Growth via the Coevolution of Technology and Institutions ,”in Leydesdorff and Besselaar eds. *Evolutionary Economics and Chaos Theory*,London:Pinter Publishers,p.21-32
- Nelson,Richard and Sidney Winter(1982),*An Evolutionary Theory of Economic Change*,Belknap Press of Harvard University Press
- 日本物理学会編(1991)『計算物理学』,培風館

- 小田切宏之(1995)「進化論的成長理論と日本」日本経済新聞 やさしい経済学,11月18日-24日
- Reynolds, Craig W.(1994), "Competition, Coevolution and the Games of Tag", in Brooks and Maes eds., *Artificial Life IV*, MIT Press, p.59-69
- Ridley, Mark(1993), *Evolution*, Blackwell Scientific Publications
- Selten, Reinhard(1991), "Evolution, Learning, and Economic Behavior", *Games and Economic Behavior*, Vol.3, pp.3-24
- 竹内啓(1994),「科学技術と経済をめぐる諸問題」,『経済論集(東京大学)』,Vol.60,No.1,pp.2-27
- 富永健一(1990),『日本の近代化と社会変動 テュービンゲン講義』,講談社学術文庫
- 富永健一(1995),『社会学講義 人と社会の学』,中公新書
- 上田顕(1990),『コンピュータシミュレーション』,朝倉書店
- 梅棹忠夫(1957),「文明の生態史観(序説)」,『中央公論』,2月号
- Wallerstein, Immanuel(1974), *The Modern World-System I --Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-System*, Academic Press(川北稔訳『近代世界システム 農業資本主義と「ヨーロッパ世界経済の成立」 I,II』岩波現代選書、1981年)