

注

- (1) 例えば、本論文の対象である複雑系に近い社会システム論を展開しているものに公文 (1978); 公文 (1995) などがある。
- (2) メタファーは、物事の類似性を間接的に暗示する。直喩が「AはBのような」というのに対し、メタファー (隠喩) は「AはBである」という形式になる。経済学におけるメタファーの重要性を指摘しているものに、Hodgson (1993); 塩野谷 (1998); 西部 (2000) などがある。
- (3) システム論は、おもに生物を対象として、次のように変遷してきた (河本, 1995)。まず、システム論の前身といえる有機体論と機械論がある。これらを受けて、システム論の第一世代といわれる「開放性の動的平衡システム」が登場する。このシステム観の代表的なものに、ホメオスタシス、サイバネティクス、一般均衡理論がある。そこでは、システムが環境との相互交換を通じて境界を維持するというシステムと環境の図式が取り入れられる。そして、次にシステム論の第二世代といわれる「開放性の動的非平衡システム」が登場する。散逸構造、シナジェティクス、ハイパーサイクルなどである。そして、システム論の第三世代といわれるのが、本論文のテーマとなる複雑系やオートポイエーシスである。

なお、この脚注を含む以降の理論変遷の整理において、各原典のほかに、富永 (1993)、富永 (1995)、新および中野 (1984)、Buckley (1967)、今田 (1986)、新田 (1990)、浜嶋ほか (1997)、森岡ほか (1993)、飯尾 (1995)、徳安 (2000) を参考にしている。

- (4) 社会学が誕生した当初、社会をどのようなものとしてみるかという考え方には、二つの流れがあった。一つが、社会を生物すなわち「有機体」としてみるというものである。そして、もう一つが社会を「機械」としてみるというものである。どちらも、具象的な実在物をアナロジーとして用いている。この段階で、「システム」という考え方の萌芽は見られたが、その概念が自覚的に用いられていなければならぬため、システム論には成り得ていない。

有機体的社会観では、社会を有機体と捉え、社会的分業を有機体の各器官の相互依存とその機能分化に見立て、生物学・解剖学・生理学の概念で解釈する。このような有機体のアナロジーは、古代ギリシア時代から行われてきたが、社会学理論としては、サン-シモンが唱え、社会学の創始者の一人であるコントが「社

会有機体」の語を創出し、個人や家族などが有機的に結びついて社会的全体が構成されているとした。そして、イギリス社会学の創始者といわれるスペンサーが独自の立場からこれを組織的に理論化した。社会は成長・分化・諸部分間の相互依存・進化の点で社会と有機体は共通するとした。

18世紀末以降すでに展開されていた「生氣論」では、生命現象をもたらすという「生命力」を想定し、機械と一線を画そうとしたが、神秘的な力を仮構するという点で、科学的な土壌にはなじまなかった。要素還元主義に陥らず、かつ神秘的な力を仮構しないためには、どうすればよいか。この難題に対して突破口を開いたのが、有機構成 (organization) という考え方である。物理・化学的な要素が複合体を構成すると、要素単体では見られなかった新しい特性が生じるのである。この考え方により、物理・化学と無理なく接続することができるが、生命をその要素の物理・化学的性質に還元しないという道が開かれた。これが、生物学が採用し、後にシステム論における階層性や創発の考え方につながる。

社会学が誕生した当時、よりどころとなるものがなかったため、その頃かなり発展していた生物学や生理学にたよったのである。社会についての一般原理を構築するのではなく、その原理を同様に具体化していると思われる有機体という具体的な実体を、つねにメタファーとして用いた。つまり、社会と有機体には原理上の平行関係があるとみなしたのが、そこにその二つの共通原理を抽象化したシステム一般といったものを定義していないという意味で、システム論にはなり得ていない。しかし、この考え方は、社会学第二世代のデュルケームらによって、社会の解剖学および生理学として受け継がれることになり、社会を諸機能の相互連関としてとらえる考え方は、パーソンズの社会システム論に受け継がれることになる。

これに対し、機械論的社会観は、人間の社会を機械として捉える社会観である。そして、機械であるがゆえに、社会は物理学的な方法で解明することができるということを意味する。社会を機械とみなす考え方は、古くはホッブズ、デカルト、スピノザなどに遡るが、18世紀の啓蒙思想において展開された。それは、人間や社会も自然の原理によって説明しようとする企てである。19世紀の初期の社会学においては、「社会物理学」「社会機械論」「社会エネルギー論」などの名の下に展開されたが、それらの多くは表面的なアナロジーに終始して、社会現象の理解にはあまり貢献しなかったといわれている (Sorokin, 1928)。

この社会機械説の中で成功したのは、パレートである。パレートは、力学で発展をとげた連立方程式体系を経済学で導入し、ワルラスとともに一般均衡理論を確立したが、さらにその考え方を社会学に持ち込み、社会的均衡理論を生み出した (Pareto, 1916)。ここでシステムというのは、複数の要素が相互依存している全体のことである。これらの要素間の相互依存関係は方程式体系として表すことができる。その特徴は、作用と反作用の循環的波及の結果、最終的には均衡に収斂

するというものである。この均衡の考え方は、経済学で現在までひとつの中心的な柱となっているだけでなく、社会学でもホーマンズの社会的交換理論や合理的選択理論に受け継がれている。

- (5) パーソンズは、その初期の理論において、ホメオスタシス (恒常性維持) の考え方を導入した (Parsons, 1951; Parsons, 1954)。ホメオスタシスとは、有機体で発達している機能で、環境の変化に対して体内の状態を恒常的に保持するメカニズムのことである (Cannon, 1932)。血液中の水や栄養素などを一定水準に保ったり、外気温にかかわらず体温を一定範囲に保ったりするメカニズムがこれに該当する。このとき、機械論的な均衡とは異なり、外界との交換をする開いたシステムにおける恒常性を核心としている。

パーソンズは、ホメオスタシス原理を取り入れることで、その後展開されることになるサイバネティクスと一般システム理論と同様に、システム-環境図式の視点を得ている。つまり、それまでに展開されていた社会有機体論や社会機械論は、システムの内部 (部分と全体の関係性) に目を向けていたのに対し、パーソンズの社会システム論では、システムとその外部 (環境) との関係に目が向けられている。

パーソンズは、心理学や経済学、政治学、人類学など社会諸科学の成果を取り込むような「一般化された社会システム論」を構想した。パーソンズは、生物システムと社会システムの固有の分析方法として、物理的なシステムのものとは異なる「構造-機能的システム」の考え方を打ち出した。パーソンズは生物学で発達した「解剖学」と「生理学」に着目したのである。まず、解剖学から「構造」の考え方を取り入れ、社会システムの構成要素間の関係のなかであまり変化しない部分を構造として捉えた。また、生理学から「機能」の考え方を取り入れ、ある一定の構造のもとで社会システムの維持のために貢献するはたらきを機能として捉えた。このように、パーソンズは、生物学から取り入れた構造と機能の概念を接合して、機能によって構造を説明しようとした。これが、構造-機能分析と呼ばれるものである。

- (6) サイバネティクスとは、「舵手」(舵とり)を意味するギリシア語からつくられた言葉である。1948年に、ウィーナーの『サイバネティクス: 動物と機械における制御と通信』が出版されている。ウィーナーは、従来まったく異なる存在として考えられてきた機械と生物を、情報伝達とそれを通じての制御の観点から、統一的に捉えようとした。このことは、有機体特有と考えられていた機能作用が、機械論の立場から理解できることを示したことになる。ここで注意が必要なのは、ここでいう機械というのは、すでに述べたような古典的な機械論とは異なるという点である。古典的な機械論では、機械とは熱機関のことであり、それがエネルギーの観点で捉えられていた (例えばハーヴェイは、心臓をポンプによって説明

した。また、デカルトは、心臓を一種の熱機関に見立てた)。これに対し、サイバネティクスでは、サーモスタットやミサイルなどの自己制御機械が取り上げられており、情報と制御の観点で機械が捉えられているのである。自己制御では、アウトプットの一部を情報として再びインプットすることで、目標値との差異を減らすように制御される。このフィードバック原理は、キャノンがホメオスタシス原理として提唱したものと同様のものである。

ウィーナーは最初サイバネティクスを社会科学に適用することに対して、「これはあまりに楽観的にすぎ、また科学の成果の本質の誤解によるものと思う」として消極的な態度をとっていたが、後に、サイバネティクスの社会科学への適用を積極的に評価するようになった。

1956年には、アシュビーの『サイバネティクス入門』が出版される。アシュビーは、シャノンとウィーバーの情報理論をサイバネティクスに接合し、システム理論に高めるという貢献をしている。

- (7) 一般システム論は、理論生物学者であるベルタランフィによって、従来有機体論が主張してきた「全体は部分に還元できない」という考え方を統一的に把握する立場として提唱された。それまでの機械論になかった有機体の特性、すなわち目的の概念や、秩序、組織性などを取り込んだ。その際、物理学が閉鎖システムを対象としていたのに対し、開放システムとして生物や社会を捉えるという視点に力点が置かれた。

一般システム理論では、諸科学の専門分化によって各ディシプリンの知識が断片化し、非効率になっている状況を解消するため、統一的な方法論によって統合することが目指された。諸科学を横断するような一般的な概念枠組みが目指されたため、抽象化したシステムを一般的・形式的に定式化しようとした。階層性と創発の概念などを明示している点が重要である。

- (8) 社会科学におけるサイバネティクスないし一般システム理論の導入は、社会学、経済学、政治学などで行われたが、その効果は、それぞれの分野によって異なっている。

社会学の場合には、パーソンズの社会システム論の展開が先にあったために、サイバネティクスや一般システム理論はそれを補強するために導入された。しかし後に、脱パーソンズの試みの中で、積極的に展開されることになる。社会システム論にサイバネティクスの考え方を導入しようとしたのは、バックレイである。また、吉田民人は、サイバネティクスの枠組みを利用して、情報-資源処理システムを打ち立てている。

経済学においても、経済サイバネティクスという名のもと、サイバネティクスや一般システム理論の導入が試みられたが、主流派理論を補完するにとどまった。この当時、経済学は、静学的均衡の安定性条件に焦点をあてたヒックスの

『価値と資本』と、静学的・動学的安定性条件を数学的に定式化したサミュエルソンの『経済分析の基礎』が刊行されている。後に、ランゲの経済サイバネティクス論やポールディングの経済システム論を経て、コルナイの『反均衡の経済学』などにつながる。そのほか、日本における青木昌彦、村上泰亮、公文俊平などの経済システム論もある。

それまで確固とした理論枠組みをもたなかった政治学では、サイバネティクスや一般システム理論の考え方が、政治学の概念用具としてストレートに導入された。その研究を先駆けて行ったドイツやイーストンらは、その後の政治学の主流の位置を占めることになる。

- (9) システムにおける階層生成のメカニズムは、自己組織化を考えるうえで避けて通ることのできない問題である。第二世代のシステム論では、この階層生成が取り上げられる。すでに存在する階層の関係が問われるのではなく、無秩序の状態から秩序が形成されるメカニズムがその探究の対象なのである。

第一世代のシステム論では、構造が維持されるメカニズムに着目しているため、構造変動にいたる過程の理論化を断念せざるを得なかった。本来、逸脱のなかには、社会変動を引き起こす原動力となるようなものも含まれているので、パーソンズのいうように、「社会システムの変動の過程についての一般理論は、現在の知識の状態においては不可能である」ということになったのである。階層性をもった機能システムでは、上位の機能の生成について考えることができないということがある。それは、機能という概念が、システムの作動を考慮しなくてすむために、システムの作動の結果を特徴づけるものとして導入されたものだからである。

第二世代のシステム論には、プリゴジンらによる持続的な秩序の形成を行う「散逸構造」や、ハーケンの多数の要素の協同現象による自己組織化などがある。これらはどちらも、熱平衡から遠く離れた開放系におけるパターン形成を扱う点で共通点をもっている。また、アイゲンは、生成プロセスを持続させる「自己触媒」メカニズムやハイパーサイクルについて研究している。

- (10) 熱力学の立場から階層生成を論じたのが、I. プリゴジンである (Nicolis and Prigogine, 1977; Prigogine, 1981)。古典的な熱力学では熱平衡状態にある系の性質を調べるが、プリゴジンは、平衡から大きく離れた非平衡状態において安定に維持される構造を調べ、それを「散逸構造」と呼んだ。

それまでは、ゆらぎや攪乱はシステムを均衡から逸脱させるものであり、それゆえに制御の対象とされてきたが、散逸構造の理論では、それらを新たな秩序が生まれる契機だと捉える。プリゴジンの言葉でいうならば、「構造」は常に不安定性の結果として出現する(『構造・安定性・ゆらぎ』)のである。このような散逸構造の形成や維持のためには、その非平衡状態を保ち続けるために、工

エネルギーや物質の不断の流れが必要となる。つまり、開放系でなければならず、外界とのエネルギーや物質の交換による動的な秩序であるといえる。

散逸構造の例として代表的なのは、ベロウソフ-ザボチンスキー反応の化学反応系や、ベナル不安定性を示す熱対流系などの流体力学系、ロトカ・ボルテラの捕食・被食モデルの生態系などである。

- (11) H. ハーケンも、非平衡熱力学と物性物理の立場から、物理、化学、生物系における相転移と自己組織化のモデルを示し、その一般原理を探ろうとする「シナジェティクス」という分野を創始した (Haken, 1978)。相転移の際に、要素が協調的な特殊な振る舞いをみせることを「協同現象」と呼んだ。協働現象の典型例としては、レーザー光の発生、ベロウソフ-ザボチンスキー反応、流体パターンなどがあげられる。

ベロウソフ-ザボチンスキー反応では、反応の最初の物質が、いくつかの化学反応の結果、産物として再度登場する。そのため再び同じ反応が進行し、生成プロセスの連鎖が循環的に繰り返される。この円環的生成プロセスは、動的に安定しており、一つの階層をなしているにとらえることができる。

このシナジェティクスの考え方を社会学に適用し、複雑な社会現象を扱ったのは、Weidlich and Haag (1983) である。彼らは、人間社会が多数の個人で構成されており、互いに相互作用するほか、外部環境とも相互作用しているとし、物理・化学的なシステムとの共通点を示した。「社会も多数の構成員からなっていて、それぞれ異なった”態度 (attitude)”なり行動の”状態 (state)”をとる。さらに社会の全体としての変動は個々の構成員のとり態度なり行動状態の変化に関連している。そして、社会の全体としての状況の変化は、やはり適切な巨視変数例えば社会の構成員のグループの平均的態度を表すような量を導入することによって記述される。」(Weidlich and Haag, 1983)。このシナジェティクスの社会モデルは、社会シミュレーションの分野では、マルチレベルシミュレーションとして取り組まれている。

- (12) 「相互作用」という言葉から明らかなように、ここでの定義には、複数の構成要素の存在が不可欠である。「複雑系」を掲げる文献のなかには、単にカオス現象がみられるシステムのことを複雑系と呼ぶものがあるが、本論文ではそのようなシステムを複雑系と捉えることはしない。その理由は、金子および津田 (1996) における次の文章が端的に述べてくれている。「われわれは、一見複雑に見えるものを何でも複雑系だというきわめて寛容な態度はとらない。複雑系だとあえて呼ばなければならない必然性が存在すると思えるからである」(金子および津田, 1996, p.1)。単にカオスが見られるということであれば、カオスシステムもしくは非線形システムと呼べばよいのであり、わざわざ複雑系という名称を用いる必要はない。例えば、ロジスティック方程式 $X_{n+1} = aX_n(1 - X_n)$ は、 $a > 3.5699456$

のときにカオス的な振舞いをするが、この式(システム)を複雑系と呼ぶことは、私には適切だとは思えない。このようなシステムを対象としないという意味でも、本論文の定義では、「複雑系というシステムでは、その構成要素(サブシステム)が相互作用する」という限定を置くことにする。ただし、この限定は、複雑系におけるカオスの重要性を必ずしも否定するものではないということに注意が必要である。例えば、構成要素がカオス生成メカニズムを備えたシステムの研究は、今後もさらに重要になると思われる。このようなカオス結合系は、それぞれの構成要素が内部状態とその変化ルールをもっているという点で、広義の複雑系である。このようなシステムの実性については、金子および津田(1996)を参照のこと。

- (13) 例えは、村上(1997, p.16)は、「社会の基本単位である個人は決してアトムではありえない」と指摘している。なお、社会システム以外にも、内部状態をもつ構成要素として捉える視点が重要だといわれているのが、生命システムである。金子および池上(1998, p.4)は、生命システムを記述しようとする、「ある種の内部自由度あるいは外部からの決定不能性が要素に要求される」(金子および池上, 1998, p.4)とし、「内部状態を持った系の相互作用系の構図は最低限必要」(金子および池上, 1998, p.8)であると主張している。ここで、そのような要素を、物理学的な「要素」と区別する意味で「主体」と呼ぶ方がよいのではないかと指摘している点も興味深い。
- (14) これに対し、他律とは、外部から他の原理が持ち込まれ、それによって動かされるということである。
- (15) 広義と狭義の複雑系の理解を深めるために、分散人工知能やゲーム論に関わっている研究者の中で、コンピュータシミュレーションを使用した分析方法として普及してきてきたのが、エージェントベースシミュレーションである。エージェントベースシミュレーションは、分散人工知能におけるマルチエージェントモデルがベースとなり、複数のエージェントが集まった集団による行動の振舞いを分析するものである。個々の構成要素に単位を落とした分析により、経済学などが主に進めてきたマクロ分析的アプローチでは解き明かせなかった現象を観察することに主眼を置いている。マルチエージェントはもともとネットワークシステムの制御や分散処理の最適化に適用が期待されて研究が行われてきたが、分散的に配置されたエージェントが大局的には協調するという観点(自律分散協調)が、複雑系のテーマとも類似していることから、社会分析への応用としても研究が進められた。

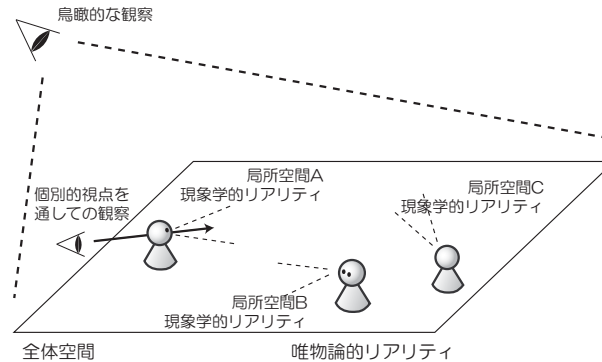
エージェントシミュレーションは複雑系のシステム観を具体化し分析するための手段と捉えることができるので、本論文では、主観的に取り上げることはせず、複雑系の概念の枠内でエージェントベースシミュレーションについて参照す

ることにする。

- (16) 近代経済学の批判と再構築を行ったヴェブレンは、歴史的な累積的变化に着目する必要があると指摘した。「人々の総体に共通のものとして定着した思考の習慣」(『現代文明における社会の地位』1919年)としての「制度」に着目し、それが進化すると考えた。この2つの指摘が、ヴェブレンが進化経済学の記念碑的位置を占めるとともに、制度派のはじまりの位置を占めている理由である。
- (17) カーネギー学派のJ・G・マーチとH・A・サイモンなどは、企業の役割構造をプログラム化されたルーティンのゆるやかな連結であると捉えた。しかし、その後、「意思決定問題を、プログラム化されたルール集合をもつ主体による、ルール自体の変更をも含む活動として捉え、これを分析するアプローチは意思決定論の中では発展してこなかった」(出口, 2000, p.28)。しかし、プログラムやルール集合としてシステムを捉えるということは、人工知能や人工生命の分野で研究されてきた。
- (18) 訳は江頭 (2002, p.69) による
- (19) ネルソンは、このような進化的な視点をもつに至った理由を次のように語っており、観察にもとづくものであることを強調している。「少なくとも私自身について述べれば、私は生物学に魅せられたために経済的变化の進化的理論に引きつけられたのではありません。むしろ、私は経済变化の過程を観察したことによって、そこで進行しているのが現存する複数の変異からの選択と新しい代替の変異の発生の組合せであるということ強く示唆されたのです」(Nelson, 1998, p.7)。
- (20) 実は、そのルーティンの改良のメカニズムもまた、高次のルーティンによって行われることも多い (Nelson and Winter, 1982)。
- (21) 社会のリアリティの問題については、これまで客観や主観に基づいた捉え方による様々な表現で試みられてきたが、橋爪 (2000) は「この試みを純化しようとするれば、唯物論と現象学のふたつの文体」に分けることができるという。唯物論 (materialism) は、世界について物質の根源性を主張し、それらが人間の意識の外に独立に存在すると考える。また、精神・意識などは物質にもとづいて成立するとされ、人間も社会も自然現象と同様の科学的な態度で解明できるとする。これに対し、現象学 (phenomenology) は、人間の経験にかかわらず世界そのものが客観的に存在すると考える自然的態度に対して、世界の現われを人間の意識の側に「還元」する。つまり、物理的・生理的過程を問題とするのではなく、私たちの経験そのものの内部に踏みとどまるのである。

これらの二つの捉え方は互いに対立するものである。しかも、どちらも他方を排斥することもできない上、折衷したり包摂することもできない。どちらのリアリティも私たちの社会的現実の一面を捉えているように思われるのだが、純粋な

かたちでは唯物論も現象学も社会のリアリティを捉え切ることにはできないのである。そこで橋爪(1978)は、このような「唯物論的リアリティ」と「現象学的リアリティ」という社会的現実の相を「ダブル・リアリティ(二重の現実性)」としてみることを提案した。そしてこの二重のリアリティが社会の成立にとって根本的であるとし、「社会理論が解かねばならない問題の核心も、まさにそこにある」(Ibid., p.2)とした。経済や政治、言語などの社会現象は、このふたつのリアリティが交錯するところで生起しているというわけである。

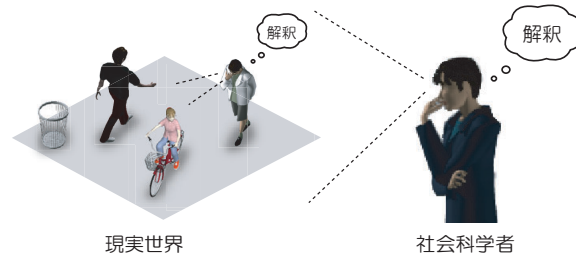


ダブル・リアリティの経済社会の模式図

個人は、それぞれの視野において周囲の空間についての了解を構成する。しかし、個人を感じる現象学的リアリティというのは、全体空間の単なる一部分なのではない。単に世界の局所を経験するというのではなく、個人的な「意味の世界」を構成しそれを体験するのである。また、この世界における個人は、決して全体空間を見ることはできない。せいぜいできることは、私たちが普段しているように、この全体空間を「社会」や「世界」などの言葉や概念によって「『全体』として見出し、個々の身体の近傍に開ける空間をその内部の『部分』として了解する」(若林, 1995, p.32) ことだけである。それぞれの主体が現象学的リアリティを個別に体験するときには、その「まなざし」が主体に属しているということが重要である。それゆえ、各エージェントの感じる現象学的リアリティは必ずしも他者のものと整合的であるとは限らないということになる。複雑系としての社会・経済の記述は、このようなダブル・リアリティをもったモデルの構築を目指すことになる。

実はこの問題は、Giddens (1976)の指摘する社会科学における「二重の解釈学」の問題とも関係が深い。社会科学の対象は、「認識する主体」であり「自ら思考する主体」であるため、その認識や思考もモデル化しなければならないということになる。「オブジェクト・レベルにあった客体を、自ら思考する^{サブジェクト}主体として描き出さなければならない」(Giddens, 2002, p.161)のである。それゆえ、対象自身の解釈とそれを研究する社会科学者の解釈の二重構造が存在し、「二重の

解釈学」になる。「社会科学では、自然科学とは異なり、この厄介な存在をなんとかきちんとして理論化しなければならない」(今田, 1986, p.206)ということから、広義の複雑系のようなモデル化が、社会科学において不可欠となるのである。



社会科学における二重の解釈学

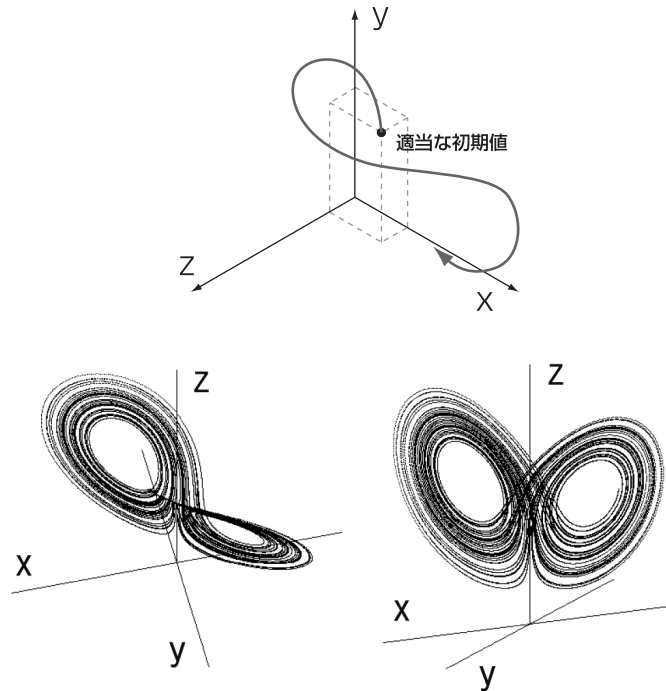
- (22) 吉田民人は、自己組織性の概念を、物理学の系譜、生物学の系譜、社会科学の系譜といった3つのタイプに分類している(吉田, 1990)。物理学の系譜とはプリゴジンらの散逸構造理論、生物学の系譜とはマトゥラーナとヴァレラのオートポイエーシス理論、社会科学の系譜とは社会学的構造-機能理論や弁証法的発想である。このうち、後者の2つのタイプは、「プログラムによる制御」があるという点で、物理学の自己組織性とは一線を画していると指摘している。また、Wallerstein (1996) は、社会科学の分析にとって複雑系の分析が重要であることを指摘しているなかで、このことを的確に述べている。「歴史上の社会システム [史的な社会システム] は、多数の相互作用的な諸単位から構成され、重なりあった階層的な組織や構造ならびに複雑な時空行動の出現と進化によって特徴づけられる。さらにまた、固定的で顕微鏡的な相互作用メカニズムをもつ非線形動力学システムによって表されるたぐいの複雑性に加えて、歴史上の社会システムは、その経験の結果として、内部的な適応と学習のできる個体的要素から構成されている。そこから、新しいレベルの複雑性(進化生物学や生態学と共通する複雑性)がつけ加わるが、それは伝統的な物理系に関する非線形力学の複雑性を超えるものである。」(Wallerstein, 1996, 邦訳 p.121)。
- (23) 解析的には解けない問題に対するシミュレーションの適用の効果を表す典型的な例がカオスのシステムである。たとえば、次の非線形方程式は、すっきりとした形をしているにもかかわらず、解析的な一般解は知られていない。

$$\frac{dx}{dt} = -10x + 10y$$

$$\frac{dy}{dt} = 28x - y - xz$$

$$\frac{dz}{dt} = xy - \frac{8}{3}z$$

しかし、この式に対し、何か適当な初期値を与えて、相空間での x 、 y 、 z の変化の軌跡を追っていくことによって理解することができる。変数が x 、 y 、 z の三つなので、3次元の相空間を考え、 x 、 y 、 z の初期値を与え、得られて各変数の変化量から次のステップの x 、 y 、 z を求め、相空間にその軌跡を描いていく。このようにすることで、一般解を得るといふことは別の仕方では、このシステムを理解することができる。

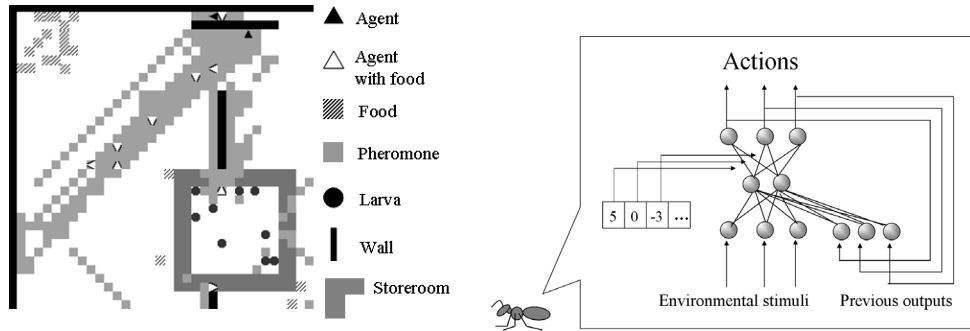


- (24) 計算科学 (computational science) は、計算機科学 (computer science) とは異なることに注意が必要である。計算機科学では、コンピュータそのものに関する研究が行われるが、計算科学では、コンピュータは探求の対象ではなく手段となる。
- (25) モデルの動きの振舞いには、変数化することが非常に困難なものがあり、そのような特徴を理解するためには、シミュレーションを行う以外に方法がない場合がある。例えば、岩村拓哉との共同研究 (岩村ほか, 1998; Iwamura et al., 1999) は、その点を理解するのにわかりやすい例となる。

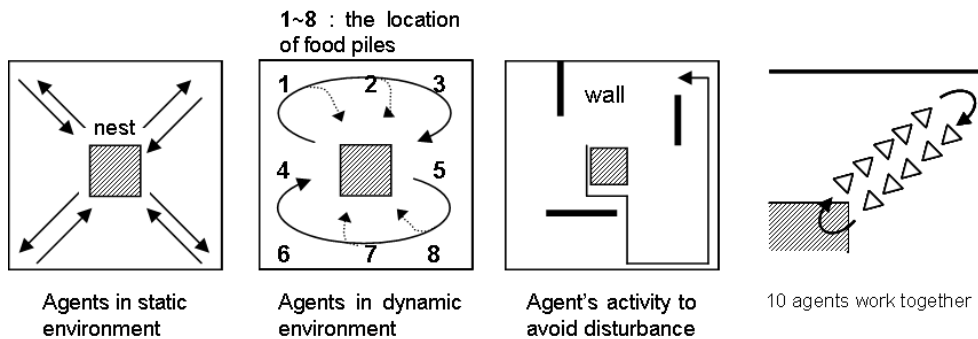
このモデルでは、2次元セル上の蟻のコロニーにおける人工蟻の行動の進化をシミュレートしたものである。蟻の行動は、入力刺激を階層型のニューラルネットワークにインプットすることで決定される。入力には、自分の周囲のセルの状態や自分の内部状態、過去の出力の再入力などがある。出力には、「右を向く」「前に進む」「フェロモンを置く」などの動作が割り当てられており、これらの組み合わせで行動が決定される。ニューラルネットワークの結合重みは、蟻の遺伝子

からマッピングされ、その世代内で変更されることはない(つまり、誤差逆伝播による学習などは行われない)。コロニー内のすべての蟻は、すべて同じ結合重みをもっている(同じ行動規則をもっている)。

蟻は、自らも砂糖を消費してエネルギーを回復させ、エネルギーがゼロになると死んでしまう。蟻は幼虫に砂糖を運ぶのだが、その結果と最終的に生き残っている蟻のエネルギー総量で適応度が決まる。進化は、蟻の個体レベルではなく、コロニーレベルで行われる。すなわち、複数のコロニーのなかで、適応度が高いコロニーの遺伝子を交叉して、新しいコロニーをつくることになる。この進化には、遺伝的アルゴリズムを用いて、突然変異も組み込む。

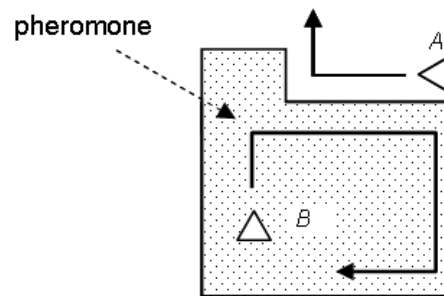


進化の過程を通じて、コロニーごとにさまざまな振舞いが観察される。例えば、セル空間の四隅に必ず砂糖の山が配置される静的環境においては、セル空間の四隅と中心との間を行き来する蟻のコロニーが生じる。また、どこに砂糖の山が配置されるかわからない動的環境においては、広い空間を探索する探索型の蟻のコロニーが出現している。壁をうまく回避しつつ広域の探索をする蟻のコロニーや、列を組んで砂糖の連続的な獲得を行う蟻のコロニーなども現れている。



また、興味深いことに、記号の意味の創発についても観察されている。この蟻は、環境にフェロモンを置くことと、そのフェロモンを感知することができるが、そのフェロモンが何を意味するのは、モデルの設定では定めていない。進化の

過程において、その意味が規定され、それをコミュニケーションの手段に用いる蟻のコロニーが出現している。まず、第一のタイプは、すでに配置されたフェロモンを避けて移動するというものである。この場合は、「ここはすでに探索済みだから、ほかを探索してくれ」という意味で、フェロモンを用いていると考えることができる。これに対し、第二のタイプは、すでに配置されたフェロモンの中を移動するというものである。この場合には、「この周辺に砂糖がある」という意味で、フェロモンを用いていると考えることができる。というのは、フェロモンは時間が経つと消えてしまうため、フェロモンが残っているということは、最近まで蟻がその周辺にいたことを表している。また、蟻は砂糖がなければ死んでしまうので、蟻が生きているということは、その周辺に砂糖があることを表しているのである。このように、コロニーによって、まったく違う記号の意味を創発していることになる。コロニーによって、異なる進化を遂げることからも、歴史性をもっているともいえる。



以上のようなモデルの振舞いは、変数の変化によって把握できるような類のものではなく、実際に動きをみてみないとわからないものである。このような例からも、シミュレーションによる振舞いの観察の効果がわかるだろう。

- (26) 一般に、欠陥除去率は「業界トップ」のソフトウェア開発会社で 95%、後進的な企業では 70%を越えることはめったにないというのが実情のようである (Jones, 1996)。
- (27) これまでにも、エージェントベース経済モデルのシミュレーション研究のためのツールや言語が開発されてきた (Minar et al., 1996; Parker, 2001; RePast, ; Gulyas et al., 1999; 玉田, 2001)。しかし、これらはモデル部品の再利用を促進させるということにはつながっていない。モデル部品の再利用性を実現するためには、ドメインに特化したモデル化の指針と枠組みが必要であるが (岩村ほか, 1999; 井庭ほか, 2000)、これらのツールや言語では、分子相互作用や生態系などを含むマルチエージェントモデル全般を支援するという汎用性に重点が置かれている。また、分析・表示ツールの共有や、プログラム記述量の減少などを目的としているものもある。

(28) プログラム部品の再利用が行われていない大きな原因は、そもそも再利用可能なプログラム部品が存在しないということが挙げられる。あるプログラム部品が再利用可能であるためには、独立性をもったモジュールに切り分けられていなければならない、その上でそれが汎用性をもっている必要がある。そのため、再利用可能なコンポーネントを作成する側にも、それを利用する側にも負担が生じることになる。まず、プログラム部品を作成する側にとっては、通常の開発よりも初期開発にコストがかかるため、特別な理由がないかぎり、再利用可能なプログラム部品を作成するというインセンティブは生じない (Jacobson et al. (1997) の推定によると、再利用可能なコンポーネントは通常より 1.5 倍から 3 倍のコストがかかり、そのコストを回収するために 3 回から 5 回使用される必要があるという)。そして再利用する側にとっても、モデルのプログラム部品の再利用には躊躇が伴う。なぜなら、再利用する場合には、自分の作成しているプログラムと既存のプログラム部品との間にプログラミング言語やプロトコルの互換性がなければならない、さらにはモデルの粒度や要素の分類基準なども同じである必要があるからである。

再利用可能なコンポーネントの必要性や重要性にもかかわらず、以上のような二重の負担が生じてしまうのである。それゆえ、単に再利用や蓄積の必要性を訴えるだけではなく、各研究者が再利用性をそれほど意識しなくても、自然と再利用性の高いプログラム部品を実現できるような仕組みが求められているのである。

(29) 多様性が本質的に重要となる対象は、「解析には複雑すぎ、統計にはあまりに組織的な領域」(Weinberg 1975) に属する。そのため、このような対象に対しては、構成要素の数を減らして複雑さに対応する力学的アプローチも、数多く存在する構成要素の平均値をとることで簡略化する統計学的アプローチも不適切となる。また、相互作用や学習を伴うシステムでは、相互作用の順序や状況が決定的に重要となるため、時間を不可逆な流れとして扱う必要がある。

(30) "calculating" も同じ「計算」という訳語が当てられるため、混同しないように注意が必要である。"calculating" が数値計算や数学的な記号計算という狭い範囲の計算を指すのに対し、"computing" は、記号処理や論理演算、構造処理などを含む広い範囲の計算を指す。

(31) ここでいうモジュールとは、モデルの部品のことである。一般に、モジュールとは、建築・家具・機械・プログラムなどにおける機能単位のことであり、単独で一つのまとまった機能を持っているが、他のモジュールと組み合わせることで役割を果たすように設計されたものである。モジュール化されたシステムでは、その構成を変更する場合にも、関係のある一部のモジュールの変更だけで済ませることができる。また、モジュールごとに再利用することが可能となる。本稿の後半

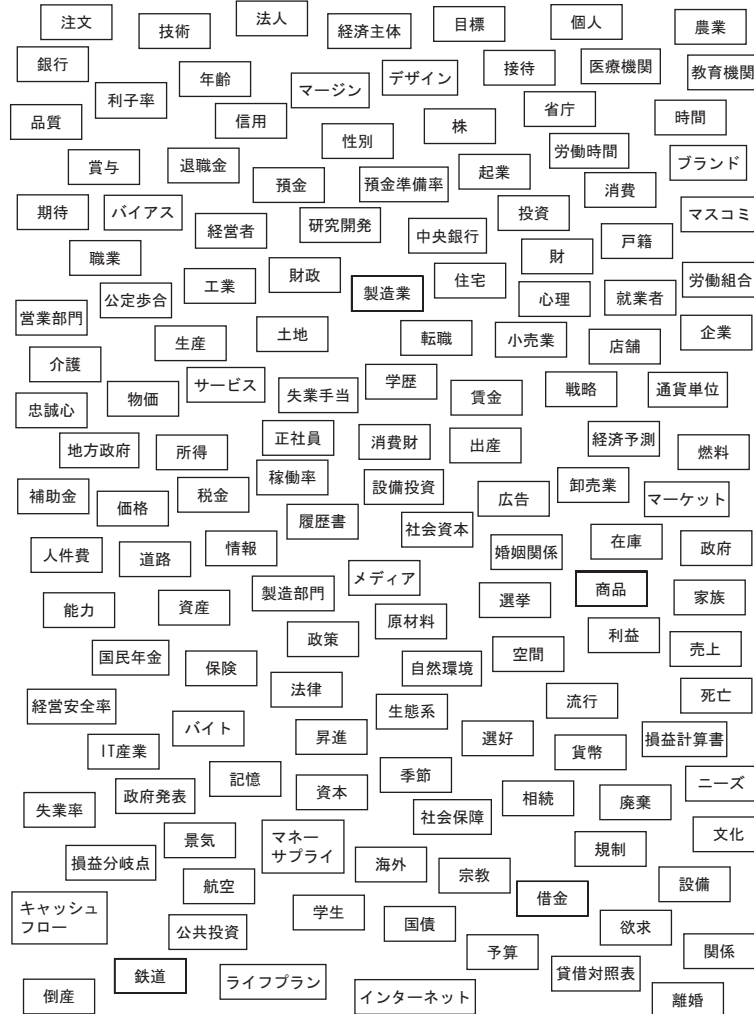
に出てくる「コンポーネント」も、一種のモジュールである。なお、最近は、ビジネスの分野においてもモジュール化の重要性が注目されている（例えば、国領 1995, 青木・安藤 2002 など）。

- (32) Penker and Eriksson (2000) や Marshall (1999) では、ビジネスモデルをオブジェクト指向によってモデル化するという試みが行われている。ただ残念なことに、これらの取り組みは、モデル記述の段階にとどまっており、本稿のようなシミュレーションによる分析につなげるということも行われていない。
- (33) このような概念化の能力は、人間が世界を理解したり世界に働きかけたりする上で本質的なものであり、知覚、記憶、言語などの認知・思考活動の基礎であるといわれている (Roth and Frisby, 1986)。例えば、私たちは、ベンチや折りたたみの椅子、車椅子、背もたれのない横長の椅子などを見て、それぞれ形が異なっているにもかかわらず、これらをひとまとめに『椅子』として認識する。このような分類・概念能力がない場合には、「すべてのものは異なっているということが分かるだけ」(Martin and J.Odell, 1995) であり、見えたものをいちいち「初めてみるもの」として対処しなければならなくなってしまう。また、新しく出会った椅子を『椅子』であると理解できないため、その扱いがわからず、うまく扱うことができなくなる。人間のもつ概念とオブジェクト指向の関係を明示的に論じたものに Martin and J.Odell (1995) がある。
- (34) ここで示した図は、UML(統一モデル化言語) に従って書いたクラス図である。UML の記法とその意味については、付録 A にまとめたので、そちらを参照してほしい。
- (35) 集約と関連は、実質的にはほとんど違いはない。集約には、集約リンクの連鎖が閉路を形成してはいけないという制約があるだけである。Rumbaugh et al. (1999) では、「集約と関連の区別は多くの場合、セマンティクスの違いというよりは、むしろ好みの問題」であるとしている。「集約は、集約側が本質的にその部分の総和であるという考えを伝えるもの」(Rumbaugh et al., 1999, p.265) である。これに対し、コンポジションは、「各部分が1つのオブジェクトに所有されていて、その各部分がそれを所有するオブジェクトから独立に存続しない」と (Rumbaugh et al., 1999, p.265) という強い制約を表している。
- (36) UML が誕生した経緯に軽く触れておくと、それは、オブジェクト指向の方法論は乱立状態が続いた 1990 年代前半に、方法論を統一しようとする動きから始まっている。ソフトウェア開発方法論 Booch 法を提唱していた G.Booch が、開発手法 OMT 法を提唱していた J.Rumbaugh とともに、これら 2 手法に登場する概念を組み合わせることに着手し、1995 年に Unified Method 0.8 を発表した。この流れに、ユースケースの概念を提唱した I.Jacobson が加わり、この 3 人 (“Three Amigos” と呼ばれる) を中心として、Unified Modeling Language 0.9 が

発表された。その後、他の企業なども加わって仕様が詰められ、1997年にOMG (Object Management Group)で標準言語として採択された。当初、統一方法論を開発しようとしていたが、OPENコンソーシアムによるOML(Open Modeling Language)の開発など、方法論の統一には、反発もあり、最終的には、方法論ではなく、モデリング言語を統一化するという決断をした。

- (37) この点について認知科学では、「われわれは外界に構造 (structure) を付与する」(Roth and Frisby, 1986)と表現されている。また、科学哲学では、観察の「理論負荷性」(Hanson, 1958)として知られている。
- (38) それぞれの科学分野には、基本語句 (primitive terms) という「その体系のなかでは定義を受けず、逆に他の語句を定義する基礎となるもの」(村上, 1975)が存在し、それが分析的方法の土台として用いられることになる。基本語句の例としては、ユークリッド幾何学における点や線、古典力学における質点の位置、時間、質量、経済学における財などがそれぞれにある(村上, 1975)。これらは理論的語句の基礎となり、他の理論的語句を説明するために用いられる。用いられる語句は、思考の単位として概念を固定するという役割も果たすといわれている(Engel, 1993)。
- (39) 組み合わせの規則は、語句と語句の関係性を規定するものであるが、複数の概念の関係性には、「全体と部分の関係などのいわゆる階層関係、または時間・空間・因果関係など非階層関係を形成」(仲本, 1999)している。
- (40) 明確に規定されているコードがという共通の了解をいかにして実現するのか。「コード」には、それを保証するような明確な規定が拘束力の強い形で含まれていなくてはならない」(池上, 1984)のであり、それには、次の4つのことが必要であるといわれている。第一にメッセージを作成する発信者が用いることのできる記号表現が明確に規定されていること、第二にそれぞれの記号表現に担わせる情報が記号内容として明確に規定されていること、第三に規定されている記号表現と記号内容の対応が常に排他的に一对一であるということ、第四に記号表現の結合に関して、許容される結合がすべて規定されているということである(池上, 1984)。
- (41) 本論文で取り上げる Boxed Economy Foundation Model は、バージョン 1.1 のものである(井庭ほか, 2001; Boxed Economy Project, 2003)。BEFMの定義は、次のようなプロセスで行った。2000年9月に3日間に Boxed Economy Project のメンバーである井庭崇、中鉢欣秀、高部陽平、上橋賢一、松澤芳昭、廣兼賢治、津屋隆之介の7人でブレインストーミングを行い、重要な概念を洗い出した後、それらをグループ化し、抽象化していった。そこでの議論をもとに基礎モデルの基本的な構造が決定された。その後、田中潤一郎と北野里美が加わり、現実へ適用するための整理が行われ、最初のバージョンを発表した(井庭ほか, 2000; 井

庭ほか, 2001)。



ブレインストーミングであげられた経済社会に関する言葉

2001年2月から6月にかけて、田中潤一郎、上橋賢一、北野里美、津屋隆之介、廣兼賢治、山田悠、井庭崇によって、「個人」、「企業」、「金融機関」、「政府」の4部門を基礎モデルによってモデル化することを試みた。約100の行動がモデ

ル化された (Boxed Economy Project, 2001; 田中ほか, 2001; 上橋ほか, 2001)。また、基礎モデルフレームワークの設計にあたり、浅加浩太郎と海保研が加わり、技術的な面からの再検討が行われ、バージョン 1.0 としてまとめられた (Iba et al., 2001; Iba et al., 2001; 井庭ほか, 2002)。

要員計画行動	新人募集行動	新人採用行動	勤務記録処理行動	時間外労働命令行動	人材育成行動
人物評価行動	賃金決定行動	賃金支払行動	解雇予告通知行動	解雇行動	退職願受取行動
退職金計算行動	就職応募行動	就職雇用契約行動	勤め行動	勤務記録行動	労働行動
時間外労働命令受取行動	教育研修行動	給料明細受取行動	辞令受取行動	解雇予告通知受取行動	希望退職行動
退職行動	販売行動	商品販売行動	在庫確認行動	仕入行動	出荷行動
入荷行動	注文受取行動	仕入管理行動	在庫管理行動	受注行動	価格決定行動
価格戦略行動	市場地位分析行動	市場調査行動	長期戦略行動	資金調達行動	商品戦略行動
短期市場動向調査行動	生産管理行動	生産行動	公定歩合支払行動	利息支払行動	預金行動
融資行動	担保売却行動	税金支払行動	振込・引落行動	財務行動	口座照会処理行動
公定歩合受取行動	国債償還行動	国債引受行動	引出行動	準備預金預入・引出行動	口座移転行動
返済行動	買物行動	店舗選択行動	商品購買行動	受容行動	購買前代案評価行動
銀行振込行動	現金支払行動	現金受取行動	口座照会行動	経営戦略行動	行動計画実行行動
行動計画実行行動	移動行動	消費行動	生活保護解約行動	生活保護申込行動	納税行動
銀行に行く行動	預金引出行動	預金預入行動	家計記録行動	新聞発行行動	新聞紙面編集行動
新聞制作印刷行動	新聞発送配達行動	情報受信行動	情報提供行動	財受取行動	統計作成行動
公表統計作成行動	予算決定行動	企業税収行動	所得税収行動	国債交換行動	国債買取行動
国債発行行動	生活保護支給行動	生活保護受付行動	公共投資行動	手数料決定行動	地価査定行動
土地登記行動					

- (42) 吉田 (1990) は情報の処理を、「情報貯蔵」、「情報伝達」、「(狭義の)情報変換」の3つに分類しているが、これを BEFM における表現で表すと次のようになる。

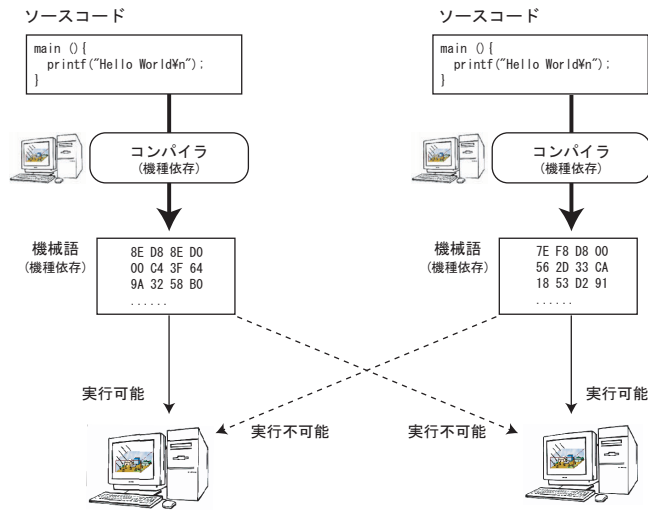
情報貯蔵は、情報の時間変換ことを意味するが、それは「個体内貯蔵と個体外貯蔵に2分され、それぞれ記録・保存・再生の3段階から成り立っている」(吉田, 1990) という。基礎モデルでは、個体内貯蔵は、Information が Agent によって保持されることを意味しており、個体外貯蔵は、Agent のもつ Goods によって、Information が付随していることを表わしている。どちらの場合も「記録・保存・再生」は、Behavior によって行なわれることになる。

情報伝達は情報の空間変換のことを意味するが、「発信・送信・受信の3段階から成り立っている」(吉田, 1990) のであり、「個体間の情報伝達のみならず、個体内の情報伝達をも含意する」(吉田, 1990) という。「発信・送信・受信」は、Behavior によって行なわれることになり、その送受信には Channel を用いることになる。BEFM では、Agent 間の伝達であれ、Agent 内の伝達であれ、同じように Channel を介して行うことができる。

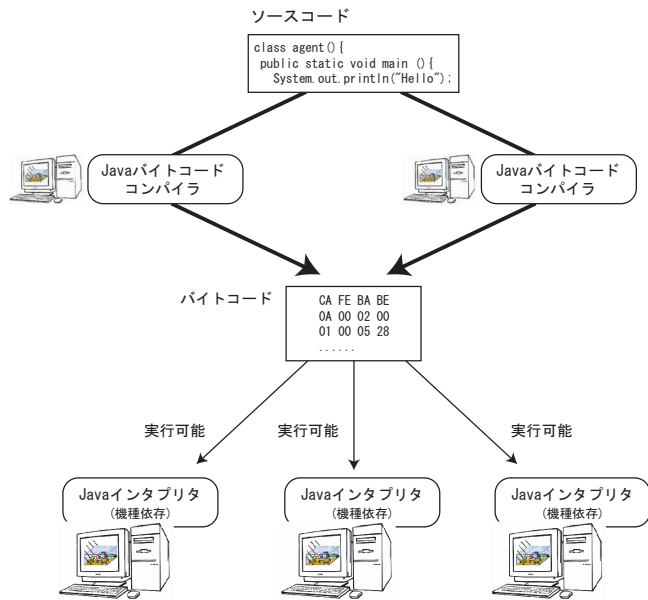
情報変換は情報の変容のことを意味するが、それはさらに「情報の担体変換」、「情報の記号変換」、「情報の意味変換」の3つに分けられるという。BEFM では、担体変換は、対象となる Information の担荷体である Goods が変化することで表現される。記号変換は、異なる形式の Information に内容を読み替えることで表現される。意味変換は、対象となる Information のもつ InformationContents の内容が変化することで表現される。

- (43) BEFM に基づくモデルでは、一人のエージェントが複数の Behavior をもつことができ、それらの Behavior の連携も Channel を介した財や情報のやりとりで行う。

- (44) このような方針が必要なのは、概念モデルでは、モデルに登場する要素はすべて BEFM 概念モデル・フレームワークのクラス (型) を「特化」するかたちで記述されるが、シミュレーションモデルの設計・実装では、その特化関係を必ずしも「継承」として実現するわけではないからである。
- (45) 継承を用いた実装には、動的な変更ができないことや、多重継承ができないなどの限界があり、また、実装のしやすさや実行効率などの問題で、継承を用いるべきでないこともある。この問題を回避するための代表的な方法が、パワータイプを用いた設計である。
- (46) BEFM フレームワークに基づいた Behavior の状態遷移を簡単に作成するために、「コンポーネントビルダー」を提供している。後述するように、モデル作成者は、GUIによって Behavior の状態遷移図を記述することで、Java プログラムのスケルトンを自動生成させることができる。
- (47) InformationType も Information の一種であることから、エージェント間のやりとりでは InformationType をそのまま送受信することができるのである。
- (48) 従来のようなソースコードレベルでの補助では、プログラミング技術や再コンパイルする必要があったが、コンポーネントによるプログラムの作成では、ソースコードに手を加えることなくモデルを作成・設定・変更できる。テスト済みの部分とそうでない部分を明確に区切ることができるので、品質管理上のリスクを回避できるという利点もある。
- (49) これらコンポーネント開発者とシミュレーション実行者は、同一のチームメンバーであることもある。また、時間や空間を越えてお互いに知らない人同士であることもある。もちろん、コンポーネント開発者とシミュレーション実行者が同一人物であっても構わない。
- (50) Java 仮想マシン (Java VM) 上であれば、オペレーティング・システムを問わず動作させることができる。つまり、BESP を利用するユーザがそれぞれ異なるコンピュータ環境を使っていたとしても、まったく同じように実行ことができ、また、BESP のために作成されたコンポーネントも作成されたコンピュータ環境に依存しないため、他のコンピュータ環境でそのまま利用することができるのである。C 言語などでは、実行可能ファイルはマシン依存の機械語であるが、Java 言語は、その中間言語として機種に依存しないバイトコードに変換される。そのため、Java VM 上であれば、機種に関係なく、実行することが可能となる。



C のコンパイル



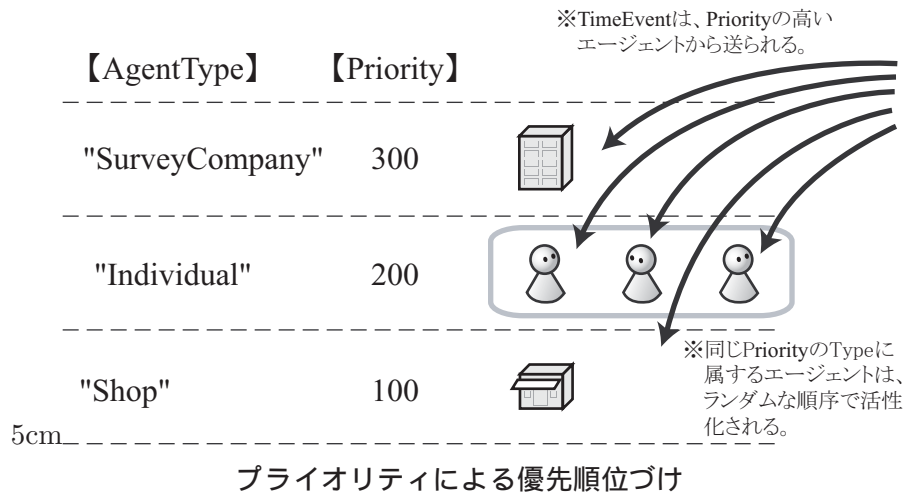
Java のコンパイル

(51) エージェントの優先順位は、Priority の数値の高い順に TimeEvent が配信される。

- 同じ優先順位のエージェントはステップ毎にシャッフルされ、ランダムな順番で時計信号を受け取る。
- 高い優先順位のエージェントは、低い優先順位のエージェントよりも若い順番で時計信号を受け取る。

異なる同優先順位の AgentType が存在する場合も、その全てのエージェントに対してシャッフルを行う。例えば、AgentType-A(優先順位 0), AgentType-B(優

先順位 0), AgentType-C(優先順位 10) のタイプを持つインスタンス Aa, Ab, Bc, Bd, Ce, Cf(小文字はインスタンス名) がいたとすると、まず、Ce, Cf がシャッフルされ、ランダムな順番で時計信号が送られる。次に、同優先順位の Aa, Ab, Bc, Bd が一度にシャッフルされ、ランダムな順番で時計信号が送られる。



(52) Component Builder は、統合開発環境である eclipse のプラグインとして作成されている。

(53) ここでのパターンの3つの部分というのは大枠での分類であり、具体的に何を記述するかという決まった形式はない。パターンの記述形式として有名なものには、Alexandrian 形式、Coplien 形式、GoF 形式、POSA 形式などがある。

Coplien 形式は、Alexander (1977) の Alexander 形式の本質的な部分を見出しとして採用したものであり、デザインパターンの記述に用いられている。別名 (Alias)、問題 (Problem)、文脈 (Context)、影響力 (Forces)、解 (Solution)、結果文脈 (Resulting Context)、根拠 (Rationale)、力学 (Dynamics)

GoF 形式は、Gang of Four(Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides の 4 人を指す) の Gamma et al. (1995) のなかで用いたデザインパターンのテンプレートである。基本的な項目は、目的 (Intent)、別名 (Also Known As)、動機 (Motivation)、適用の条件 (Applicability)、構造 (Structure)、構成要素 (Participants)、協調関係 (Collaborations)、結果 (Consequences)、実装 (Implementation)、サンプルコード (Sample Code)、事例 (Known Uses)、関連するパターン (Related Patterns) である。パターンの名前は、喚起的パターン名、名詞句名、意味のある喩え名で命名される。

POSA 形式は、Buschmann et al. (1996) で用いられている形式。基本的な項目は、名前と別名 (Also Known As)、例 (Example)、前提 (Context)、課題 (Problem)、解決策 (Solution)、挙動 (Dynamics)、実装 (Implementation)、補足

(Example Resolved)、バリエーション (Variants)、適用例 (Known Users)、結果 (Consequence)、参考 (See Also) である。

- (54) アレグザンダーによると、このようなパターンの考え方は、建築家からは反発も多いという。これは、「パターン」という言葉が、「パターン化された」や「ワンパターン」というような使い方のように、ネガティブなイメージを伴うことによる。アレグザンダーは次のように言及している。「もの同士の関係の構造がデザイナーの優れた創造力からではなく、このような言語から生じるという考えは、建築家にとって不愉快きわまりないものです。彼らは、自分たちが建築や街やその一部を創造したのであり、それが彼らの豊富なイマジネーションのたまものであると思っています。」(Grabow, 1985, 邦訳 p.70)。同様の反発は、ソフトウェアパターンにおいてもみられるようである。「ソフトウェアパターンを使うことで創造性が阻害される、あるいはソフトウェアパターンはあまりに即物的すぎて我慢がならない、という意見」(鈴木ほか, 2000) も根強いのだという。

このような現状に対し、「ルールが『制約』だと考えられている」(Grabow, 1985, 邦訳 p.71) ことが誤解のもとであるとし、パターンのもつ生成力の側面を強調する。「ルールを制約とみなすかぎり、創造の中心は独立に存在し、制約は単に創造を侵害するもののように感じられるでしょう。しかし一度ルールに生成力があると認めれば、創造の核心に迫ることができます。」(Grabow, 1985, 邦訳 p.71)。アレグザンダーのこのような議論では、しばしば自然言語との対比のため、チョムスキーによる文法の生成力の議論が取り上げられる。「英語のルールのおかげで創造的になれるのは、単語の無意味な組合せにいちいち思い悩まなくてすむからである。」(Alexander, 1979, 邦訳 p.170) と延べ、それと同じように、パターンは制限ではなく創造性の基盤であるという。「英語のルールのおかげで、膨大な数の無意味な文章に立ち入ることなく、意味をなすより少ない文章(といってもかなり多いが)に目を向けられる。その結果、人はそのより微妙な意味の違いに全精力を注げるのである。もし英語にルールがなければ、何時間も苦しんだあげくに一言もしゃべれないことになる。」(Alexander, 1979, 邦訳 p.170)。

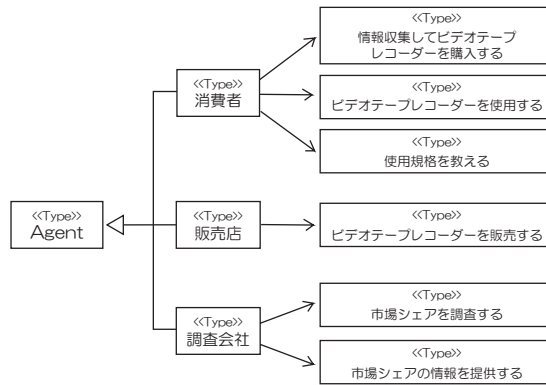
- (55) パターンによる設計やコミュニケーションの支援の効果について、実務家からの定性的な評価が多いが (Coplien, 1996; Fraser et al., 1997)、変更容易性についての定量的な評価も若干行われている (Precht and B. Unger, 1997)。Precht and B. Unger (1997) によれば、パターンの知識があるグループの方が、知識のないグループに比べて、変更に必要な工数が 25% 少なくて済み、品質の若干の向上が見られたという。
- (56) モデル・パターンとは直接関係がないので、深入りはしないが、この先の文章で、アレグザンダーは、複雑系の考え方に通じる考えを展開していることは注目

に値する。「建物や町の『構造』の大部分が要素の関係のパタンで構成されている。(中略) 一見、この関係のパタンは要素から切り離されているかのように見える。(中略) なお詳しく見れば、これらの関係が付け足しどころか要素に不可欠のものであり、むしろ要素の一部でもあることがよく分かる。(中略) さらに詳しく見ていくと、このような見方ですらまだ十分に正確とは言えないことが分かる。つまり、関係が要素の属性であるばかりか、実は要素そのものが関係のパタンなのである。つまり、私たちが『要素』と考えるものの多くが、実はそれとその周辺のものとの関係のパタンの中に存在することを認めさえすればよい。いわゆる要素は神話にすぎず、事実、要素自体が関係のパタンに組み込まれているばかりか、それ自体が関係のパタン以外の何物でもないことが十分に認識できるのである。要するに、側廊を定義するには、身廊と内陣や東窓との関係のパタンが必要であり、しかもそれ自体が、その奥行、その間口、身廊との境にある柱、外部との境にある窓 … などとの関係のパタンでもある。」(Alexander, 1979, 邦訳 p.75-76)。この考え方は、要素が還元的に定義できない、すなわち、関係性の中で定義されるという複雑系の考え方に通じるものがある。

- (57) アレグザンダーのパターンの考え方は、本論文で後に取り上げるメンタルモデルの考え方に通じるものがある。「すべての人びとがパタン・ランゲージを念頭に抱いている。あなたのパタン・ランゲージは、建設方法についてのあなたの知識の総計である。あなたの念頭にあるパタン・ランゲージは、隣人の頭にあるものとはわずかに異なっている。完全に同じものは二つとないが、多くのパタンやパタンの断片は共有される。設計行為に直面した人のとる行動は、その時点での自分の頭にあるパタン・ランゲージに支配される。もちろん、各人の記憶にあるパタン・ランゲージは、各人の体験の成長とともにつねに進化する。だが、彼に設計の必要が生じる特定の時点では、たまたまその時点で蓄積されたパタンに全面的に頼らなければならない。慎ましいものであれ、とてつもなく複雑なものであれ、彼の設計行為を完全に支配するのは、その時点で念頭にあるパタンとそれらの組合せで新たなデザインを形づくる能力である。」(Alexander, 1979, 邦訳 p.167)。
- (58) 「インタラクティブシステム」の中には、本論文で提案する Boxed Economy Simulation Platform で採用している「Model-View-Controller」のパターンが含まれている。
- (59) Boxed Economy Foundation Model や Boxed Economy Simulation Platform の設計においても、デザインパターンが数多く利用されている。例えば、Boxed Economy Foundation Model では、Behavior をコンポジションパターンによって、インスタンスレベルで合成している。また、一連の ~ Type は、Type Object パターンであり、~ Manager は、Manager パターンの設計である。

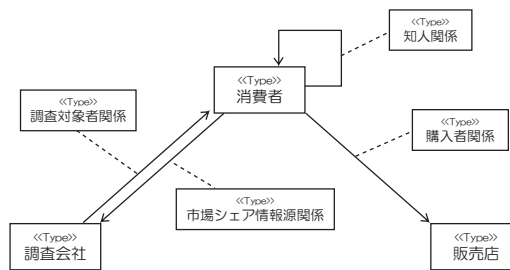
- (60) アンチパターンには、プロジェクトマネジメント以外のパターンも含まれている。アンチパターンは、開発のアンチパターン、アーキテクチャのアンチパターン、マネジメントのアンチパターンの3種類に分類できる。
- (61) このモデルでは、そのとき存在するノードのなかから平等にリンクされるため、存在時間が長いノードは多くのリンクを得る機会が多く、リンクを多く持つようになる。
- (62) ベキ乗分布とは、確率密度関数がベキ乗の関数に従っている分布である。原理的には平均値が0で標準偏差が無限大という奇妙な分布であるが、非常に強い安定性がある(高安および高安, 2001)。ここで取り上げたネットワークのほかにも、多数の要素が相互作用するシステムは、「ベキ乗法則」に従うということが知られている。例えば、砂山における雪崩の規模と頻度(Grumbacher, 1993)、地震の規模と頻度(Johnston and Nava, 1985)、そして価格変動の規模と頻度の関係(Bak, 1996)などは、どれもベキ乗法則に従っていることが知られている。また、都市人口とその順位(Simon, 1995; 武者, 1980)、単語の出現頻度とその順位(Zipf, 1949)、企業所得とその累積分布(Okuyama et al., 1999; 高安および高安, 2001)などがある。このように、多数の要素が相互作用するシステムでは、絶えず臨界状態に近い状態を保つ性質があるとして、この状態を自己組織的臨界状態と呼ばれている(Bak and Chen, 1991; Bak, 1994; Bak, 1996)。
- (63) この優先的選択成長モデルは、古参のノードほど多くのリンクを持つ可能性がある。これに対し、結合度だけでなく、適応度にも比例するように改良された適応度モデル(Bianconi and Barabási, 2001)もある。
- (64) 1970年代にR. Axelrodは、繰り返し囚人のジレンマゲーム大会を行っている。「選手権の出場者は、経済学者、心理学、社会学、政治学および数学の各分野で活躍するゲーム理論の研究者であり、これらのべー四人の応募作に、『でたらめ』(RANDOM)というプログラムを加えて、総当りのリーグ戦方式で競わせてみた」(Axelrod, 1984, p.iv)。そこでの勝者は、『しっぺ返し』(TIT FOR TAT)という単純な戦略であった。『しっぺ返し』は、最初は協調し、次からは相手が前回とった行動を真似するという戦略である。これは、実際の人間のつきあいにおいて、協調関係を引き出すものとして知られている(Oskamp, 1971; Wilson, 1971)。さらに、第一回の結果を踏まえて、第二回の大会も行われた。「今度は六つの国から六二人の応募者があった。その大半はコンピュータ愛好家であったが、中には進化生物学者、物理学者、コンピュータ・サイエンスの各教授、それと前回の参加者も五人含まれていた」(Axelrod, 1984, p.iv)という。結果は、またしても『しっぺ返し』が勝利している。
- (65) 過去の自分の手や前回以前の相手の手は、直接的もしくは状態遷移に埋めこまれたかたちで、記憶することができる。

- (66) コンテスト・シミュレーションの拡張には、本論文での拡張のほかにも、強い戦略の個体数がより多く生き残るという「生態学的シミュレーション」(Axelrod, 1984) や、戦略の遺伝子を遺伝的アルゴリズムによって改善させる「進化的シミュレーション」(Axelrod, 1997) などがある。
- (67) 自分に勝った「エージェント」の中からランダムに選択するので、それらのエージェントが同じ戦略を採用する場合には、その分その戦略は採用されやすくなる。
- (68) この閾値に関する仮定は、後に述べる進化的モデルにおいてははずされる。
- (69) ここでのモデル化では、安富 (2000) のモデルにおける 1 ターンが、本モデルの 2 ステップになっている点に注意が必要である。
- (70) 日本語では VTR(Video Tape Recorder) というのが一般的であるが、本論文では VCR に統一する。
- (71) Beta 方式の方が技術的に優れていたというのが通説であるが (浅羽, 1995; 山田, 1997)、二方式が消費者にどう認知されていたのかについては疑問が残る。Klopfenstein (1989) は、アメリカにおけるコンシューマーレポートにおけるサーベイを取り上げ、各方式が画像品質で優れているといわれた回数は、Beta 方式が一度、VHS 方式が二度、大差なしが四度という結果であったと指摘している。VHS 方式の二時間録画が可能であるという点が勝敗を決めたという説 (吉井, 2000) や、VHS 方式で発売された特定分野のビデオソフトが原因で VHS 方式に傾いたという説もあり、必ずしも Beta の方が優れていたというわけではないようである。本論文では二方式に差異を設定せず、同じ条件での実験を行う。ここで提案するモデルの初期値の変更やモデルの拡張によって各方式に特徴を設定することが可能であるが、本論文では扱わず今後の課題とする。
- (72) 需要の相互依存性を提唱し分析した Rohlfs (1985) の言葉を借りるならば、家庭用 VCR の普及における前半期においては、市場全体におけるマーケットシェアが意思決定に影響を与える「一様な通話特性」よりも、密な関係をもった集団が内在し、それが影響を与える「非一様な通話特性」が強かったということになる。
- (73) ここで、このモデルの作成プロセスにおける分析フェーズの図を掲載しておく。分析フェーズでは、モデル化しようとしている対象が、「どのようなものであるか」(What) を明確化するために、対象領域に登場する Agent、Information、Goods、Behavior、Relation をすべて洗い出して定義することから始める。まず最初にエージェントとその行動を明らかにする。



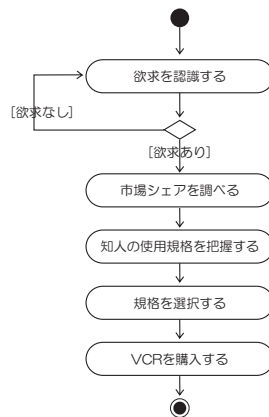
規格競争モデルにおけるエージェントとその行動

また、それらのエージェントの関係について記述する。



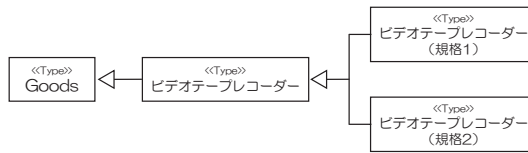
規格競争モデルにおけるエージェント間関係

そして、エージェントの行動のフローチャートを行動アクティビティ図として記述する。

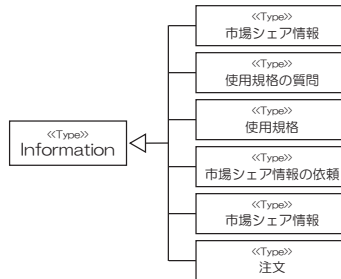


「情報収集してビデオテープレコーダーを購入する」行動のアクティビティ

この過程で、登場する財や情報も洗い出していく。

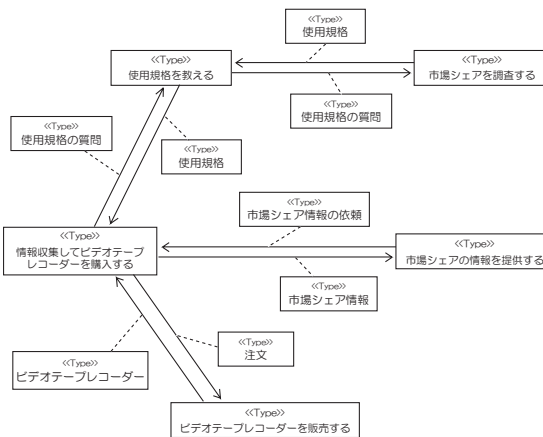


規格競争モデルにおける財



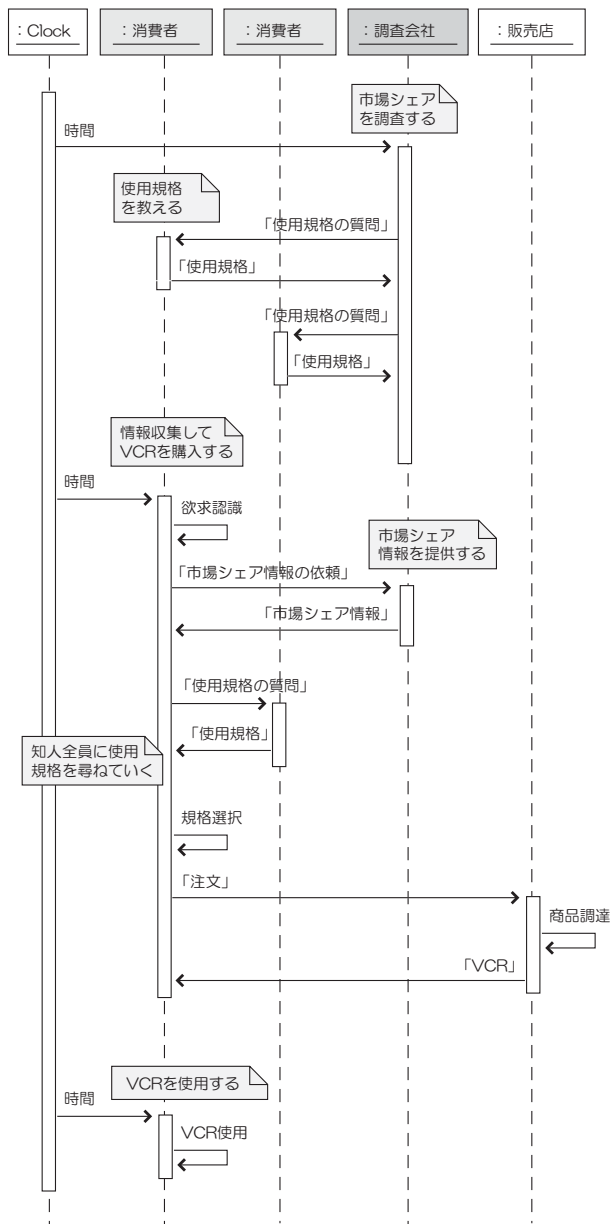
規格競争モデルにおける情報

これらの分析をもとに、各行動の間でどのような相互作用 (財や情報のやりとり) があるかを表現したものが、次の図である。



規格競争モデルにおける行動間のやりとり

また、エージェント間のやりとりの1つのシナリオを、時系列に示したものが、次の取引シーケンス図である。



規格競争モデルの1シナリオ

以上のような記述によってモデル要素の洗い出しと定義が終わるまで、このプロセスを繰り返していく。

- (74) 実際には、大域的なマーケットシェアを完全に知ることはできないが、ここでは消費者は選択の際に流通・小売側の情報を通じて間接的に知ることができると仮定する。
- (75) 欲求認識のモデルは本来であれば、広告やくちコミによって家庭用VCRという製品の存在を知り、それに基づいてエージェント内部から欲求が発生するという

モデルが妥当であるが、本研究は家庭用 VCR 製品全体の普及ではなく、その普及の中で展開される規格競争を対象とするため、製品欲求の発生を外部から与えるという単純化をはかることにする。

- (76) 現実の普及率のデータにおいて 1990 年が落ち込んでいるのは、その年からアンケートの中に「ビデオディスク」が加わったために引き起こされた混乱が原因となった統計データ上の変調であることが知られている (電通総研, 1994)。
- (77) 消費フェーズの拡張としては、セルやレンタルのビデオソフトの利用によって経験やソフトを蓄積するフェーズとすることが考えられる。
- (78) 購買後代替案評価フェーズの拡張としては、消費経験により発生した所持方式に対する満足・不満足度を評価するモデルを用意し、買い換えや買い増し、くちコミなどの際に参照する知識を構築するフェーズとすることが考えられる。
- (79) この規格競争モデルでは、各時間ステップにおける購入者数の集計が、Rogers の普及率 (Rogers, 1982) に合致するように、消費者エージェントの欲求認識を制御している。そのため、市場全体を眺め、普及率を制御する機能を実現するために、DiffusionControlFunction エージェントが導入された。
- (80) ここで紹介するシミュレーション結果は、井庭ほか (2001) に基づいている。
- (81) 参考までに本モデルのスケールを示しておく。本モデルでいう消費者エージェントは実際には個人というより世帯に近いと考えられるため、1985 年の世帯数との比で表すと 1024 : 37980 で約 1/37 のスケールのモデルということになる。
- (82) エージェント間関係に対照性があるとする仮定は、ビデオソフトをやりとりする知人であれば相手も自分を知っているであろうという経験的理由によって妥当と思われる。
- (83) 本論文では選好 P_{ij} をランダムに設定し、各方式に差を設けないが、各方式の特徴や性能の違いなどにより P_{ij} に偏りをつけ、その効果を調べる実験や、供給側のマーケティング活動などにより動的に変化する P_{ij} のモデルなどが可能である。
- (84) なお、Arthur (1994) のモデルでは決定論的な選択モデルのため逆転現象は生じ得ないということも付記しておく。
- (85) パラエティー・シーキングとは、低関与型の商品選択行動であり、購買時点においてさまざまな商品やサービスを探しまわる傾向のことである。