シンビオティック・システムの実現に向けて
—人，社会，環境，情報システムの協調系—

4 企業組織における共生の考え方とそのための計算モデル

寺野隆雄 *　terano@dis.titech.ac.jp
* 東京工業大学大学院知能システム科学専攻

最近の事件から

この解説を，最近起こった 2 つの事件を総括することから始めたい．1 つ目は，この解説のもとになった，2006 年 3 月の情報処理学会全国大会パネルディスカッションの前に相次いで発生した航空会社 J 社における（比較的小さな）事故の数々である．2 つ目は，今，この解説を書いている 2006 年 6 月に死亡事故の発生で注目が集まった S 社のエレベータの問題である．どちらも，「失敗学」[1] の観点からはいろいろな分析が可能な事件であろう．本稿では，これを題材に，企業や組織の行動においてしばしば重要となる共生の概念を，広い意味で計算して明らかにする方法論について述べる．

企業組織あるいはそこに含まれる個々人（これをエージェントと呼ぶ）は，生物と同様に，与えられた環境に非常にすばやく適応してしまう性質を持つ．生物の環境に対する適応を「馴化（じゅんか；acclimation）」というので，以下ではこの用語を使うことにする．

航空会社 J 社の事件の原因は，整備業務におけるコスト削減の圧力が強かったためと言われている．これは，経営効率化あるいはコスト削減という要求が，環境に対する評価尺度を一意に決め，エージェントがその評価尺度に馴化してしまったと解釈することができる．

S 社のエレベータ問題も S 社のエージェントたちにとってみれば，J 社の事件とまったく同じ構造を持つ．設置コストやメンテナンスコストの安い製品を納入するという評価尺度は企業経営の立場からは妥当なものである．さて，S 社のエレベータ事件で，私が問題としたいのは，私自身の研究室が，東京工業大学において S 社のエレベータが設置されていた J2 棟という建物に存在していたことである（**図 -1**）．

昨年，8 月に J2 棟に引っ越して以来，我々はエレベータの動きがおかしいことにはずっと気づいていた．何人かは箱に閉じ込められたし，待っているにもかかわら

図 -1　S 社のエレベータが設置されている建物

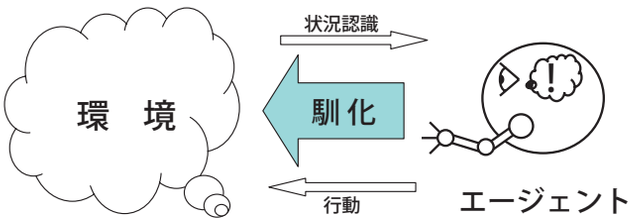


図 -2　エージェントの環境への適応

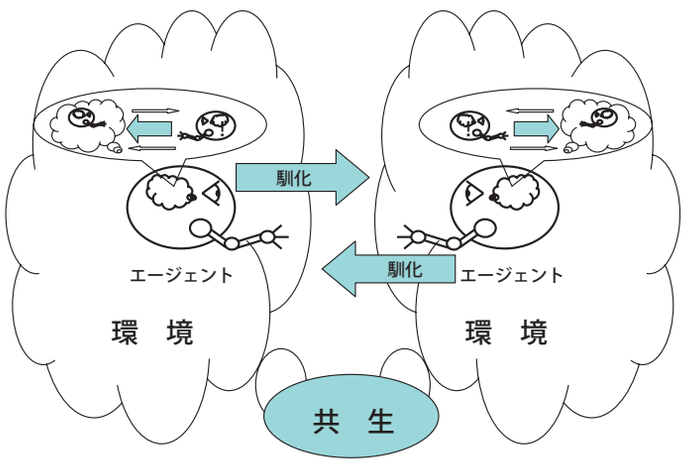


図 -3　エージェントの共生

ず，目の前を箱が通過することも多く，毎日のように修理と調整が行われていた．mixi というブログサイトにはそれを議論するグループまでできていたほどである．

ところが，我々大学の構成員であるエージェントにとっては，おかしな動きをするエレベータシステムが通常の環境になってしまったのである．慣れは恐ろしい．そう，我々は S 社のエレベータに馴化した．この時点で，エレベータシステムを所与の環境として S 社と東京工業大学のエージェントは共生関係になった．あの死亡事故が発生する前に，エージェントの環境への馴化に付随する問題点に気づき，共生関係にあるエージェントたちに，また，世間一般に対して，的確に警鐘を出すことができればよかったのである．

以下，本稿では，企業や組織におけるエージェントの共生と馴化に伴う問題に対して，対処するための方法論について論ずる．この基本的な考え方は次のとおりである：

(1) 企業・組織のシステムは複雑系を構成する．

(2) 多数のエージェントを含む複雑系において発生する問題の解決には，コントロールという概念よりハーネスという概念が重要である．

(3) 複雑系をハーネスするには，生物の適応・進化を範とする計算主義的な接近法が効果を発揮する．

エージェントの馴化と共生

馴化と共生

エージェントが環境に適応するときの状況は**図 -2** のようにまとめられる．明示的でないにせよ環境から与えられる評価値あるいは淘汰圧が強ければ強いほど，馴化は急速に行われる．企業・組織の目的は，本来 1 つに限られるものではないが，そのうちのどれかが評価軸として強調されすぎると，その方向にそった馴化が起こる．

共生は，複数のエージェントの馴化が同時に起こることで発生する（**図 -3**）．個々のエージェントにとっては，環境の認識と行動は，図 -2 とまったく同じである．左のエージェントから見れば右のエージェントを含む環境に馴化している．右のエージェントも同様である．エージェントの観点からは共通の環境は存在しない．

しかし，環境に他のエージェントが含まれるがゆえに，状況は非常に複雑になり得る．個々のエージェントの適応行動が他エージェントとの相互作用を引き起こすから

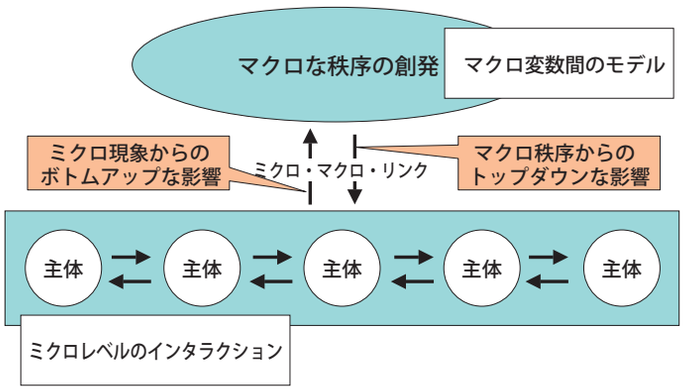


図-4　エージェント・ベース・モデリングのミクロ・マクロ・リンク構造

である．そして，エージェント群の共生は外部からの観察によって初めて明らかになる．

私は，このような複数のエージェント間の相互作用に注目し，それを明示的かつボトムアップにモデル化するのがエージェント・ベース・モデリングの接近法であると考える．

エージェント・ベース・モデリングの考え方

エージェントという言葉を適当な辞書で引くと次のような記述がある：代理人；特約店；行為の主体；作用物質；スパイ；外交官…．最近では，自律的なプログラムまたはプログラムの一部という意味でこの用語が使われる．インターネット上電子商取引きをサポートするシステムや，ユーザとのインタフェースにおいて，エージェントという用語が普及している．

これまでに述べてきたように，企業や組織あるいはそれを構成する個々人に対してエージェントという用語を使う場合はこれらとは少し異なるニュアンスを持つ．エージェントは，内部状態と意思決定能力とを備えた主体であり，環境とあるいは他エージェントと相互作用を行う．複数のエージェントによるボトムアップなモデル化とこれに基づいて創発的な現象やシナリオを分析するのがエージェント・ベース・モデリングである[2),3)]．

このモデル化の特徴は，i）ミクロ的な観点においてエージェントが（個別の）内部状態を持ち，自律的に行動・適応し，情報交換と問題解決に携わる点，ii）その結果として対象システムのマクロ的な性質が創発する点，iii）エージェントとエージェントを囲む環境とがミクロ・マクロ・リンクを形成し，互いに影響を及ぼし合いながら，システムの状態が変化していく点にある．

このような接近法は，**図-4** に示すような，エージェント間のミクロレベルのインタラクションで創発するマクロな現象，ならびに，それがトップダウンにエージェントに影響を与えるというミクロ・マクロ・リンクの現象の分析に有用である．

複雑適応系をなす企業・組織の共生行動に伴って，特徴的なマクロ・イベント（事件）が発生する場合は，このようなミクロ・マクロ・リンクの観点に立ったシステムの理解が重要である．我々は，企業・組織の行動をうまく制御し，このシステムから複雑さを除去したいという誘惑にかられる．しかし，現代社会の複雑性は除去できるものでも制御できるものでもない．以下では，コントロールとハーネスの概念によってこれを説明する．

コントロールとハーネス

コントロールの概念について

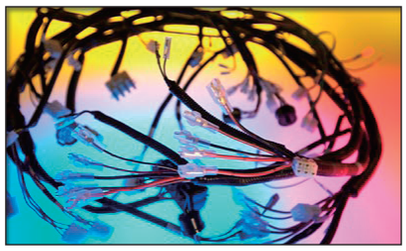
制御あるいはコントロールは，エージェントと環境を含む対象システムの構造を同定し，入力あるいは外乱の変化に対応しつつ，対象システムを所定の状態に維持するあるいは変化させる作業である．制御理論の観点で，対象システムを定式化することはきわめて自然に思える．しかし，少し立場を変えてみると，コントロールという場合，システム設計者あるいはシステム操作者には，神のような視点から対象システムを完全に理解することが要請される．組織行動論の議論では，したがって，コントロールとは「力の強い者，権力者が，力の弱い者の意志や行動を強制的に変化させていく」ことが強調される．J社やS社の事故にあたっても，担当者はこのような観点からコントロールされていた可能性は否定できない．

ハーネスとはなにか

ハーネス（harness）の原義は「馬具をつけて馬を御す」ことであり，転じて，「自然力を有効に利用する」意味を

(1) パラグライダ用
(Wikipediaより)

(2) ロッククライミング用
(www.kamoshika.co.jpより)



(3) 電子機器用
(www.activejapan.comより)

(4) 競走馬用
(Wikipediaより)

(5) 盲導犬用
(Wikipediaより)

図 -5　いろいろなハーネス

指す．インターネット上の百科事典である Wikipedia には次のような説明がある(**図 -5**)．

(1) パラグライダー本体にパイロットをつなげる椅子状のもの．
(2) ロッククライミングで用いる安全ベルト．
(3) 工業製品において配線をまとめるもの．
(4) 競馬の繋駕速歩競走のこと．
(5) 盲導犬やペットの犬の胴体に装着する胴輪．ハーネスにリードを取り付けて使用する．

我々が注目したいのは，(4) または (5) の意味でのハーネスである．騎手と競走馬，あるいは，盲人と盲導犬の関係は，前者が後者をコントロールして得られるものではない．もちろん，後者は前者の指示にしたがった行動をする．しかし，後者の力は前者よりも勝る．前者は強い力で後者の行動を変えているわけではない．また，盲導犬は盲人がいくら前進することを望んでも，自動車が接近してきている場合は決してその命令に従ってはならない．

力の弱い者が他者と連携してシステムを操作するのがハーネスの本質である．この意味で騎手と競走馬，盲人と盲導犬は共生の関係にあり，その関係を活かすのが器具としてのハーネスである．

複雑適応系をハーネスするための方法論について

ハーネスの考え方については分かっていただけたと思う．しかし，ハーネスという概念は，このままでは意思決定に活かすことはできない．文献 4) の主張は，これを操作的なものにするためには，生物の進化，あるいは，進化計算の研究 [5] の中で，明らかになってきたオペレータを使用することが重要であるということである．もちろん，これは，進化生物学やコンピュータ科学の概念を直接，企業・組織に関連する複雑適応系に適用することを意味していない．

以下では，文献 4) の主張と例題に従って，複雑適応系をハーネスするための方法論について述べる (**図 -6**)．ここでの説明は，エージェントによるシミュレーション・モデルとして実現できるほど精緻でも，また，企業・組織の問題に直接適用できるほど具体的でもない．しかし，このような接近法は新しいモデル化には有

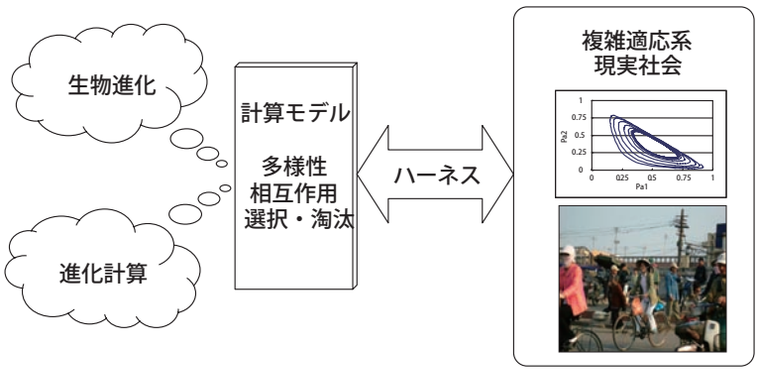


図 -6　複雑適応系をハーネスするための計算モデル

用であると考える．ここで中心となる概念は，多様性（variation）を維持すること，エージェント間の相互作用（interaction）を促進すること，淘汰・選択（selection）あるいは評価尺度を適切に設定することの 3 つである．

J 社，S 社の事件とも，企業・組織へのエージェントの馴化・共生が誤った方向に進んだことによって発生した．これを適切な方向へハーネスするのがこの 3 つの概念である．

多様性に関する議論

まず，企業・組織の問題をハーネスするためには，多様性の維持が重要な概念として挙げられる．このための主要な考え方は，エージェントの機能・能力・環境の情報などを複写することによって多様性が保たれるというものである．ただし，ここでは正確な複写を要求しない．逆に，複写の際に「誤り」すなわち部分的な多様性を必然的に混入させるのがポイントである．

これは，生物進化の観点からは，突然変異により種の性質が変化すること，ならびに，冗長な遺伝子を持つことによって多様性が維持されていることに相当する．進化計算の立場からは，個体を生成するときにある程度の確率を持って対象の一部を変化させる Mutation オペレータを積極的に導入することに対応する．

企業・組織の問題の例として文献 4）の前書きに著されているのは，生産プロセスの品質管理システムである．第 2 次世界大戦が終結した後，我国の生産システムに導入された初期の品質管理は，アメリカ人であるエドワーズ・W・デミングによって考案された統計的手法に基づく．このアイディアは，日本では，広く展開され，自動車産業で大きな効果をあげた．ここで重要なのは，誤りを伴う複写によって，展開の過程で少しずつ工夫が加えらたことである．ついで，この品質管理の思想は，再び複写され，欧米の自動車産業を回復させるのに決定的な役割を果たした．ここでも，再び複写の過程で，品質を改良するための手順が少しばかり変更されている．このような品質管理方法の複写プロセスでは，その都度，品質改良が加えられていることが分かる．

相互作用に関する議論

次に重要な概念は，企業・組織を構成するエージェントの間で相互作用を行わせるためのメカニズムを導入することである．これは，個々のエージェントが部分解をすでに持っているならば，その組合せでより良い解が容易に生成できることを意味している．

生物進化の観点からは，相互作用の実現は，冗長性な遺伝情報を持つ複数の個体からの有性生殖に相当する．これにより，子個体において優性の形質が発現することが期待される．進化計算の観点からは，これは，優れた部分解の組合せによってより良い解が得られるというビルディングブロック仮説を支持するものである．部分解の組合せを作り直すという非線形な操作が優れた解への到達を容易にする．進化計算における Crossover オペレータがこれに相当する．

企業・組織の問題の例として文献 4）の前書きに著されているのは，ソニー（株）の創始者である井深大氏に関する逸話である．彼が，研究所の各部門を調査しているとき，録音機能を持たない軽量テープレコーダを見つけ，それと，他部門で開発されていた軽量ヘッドホンと組み合わせることを思いついた．これによって，歩きながら音楽を聞くという新しいライフスタイルにつながる可能性を見出したのである．そこで，別々の部門であった 2 つの技術グループを統合し，相互作用のパターンを変更した．これが，ウォークマンというまったく新しい商品の実現につながった．

このような事例は，新製品の発明や開発においてしばしば見出され，報告される．それを相互作用の効果であ

ると意識できるかどうかが結果において大きな差異を産むことになる．

淘汰・選択に関する議論

多様性の維持と相互作用の促進だけでは，企業・組織の問題は解決しない．J社の例でもS社の例でも，個々のエージェントは，工夫し，効率化することで与えられた問題を解決しようとしてきたのであるから．最後に重要になるのは，企業・組織の問題に対して，どのような測定基準・評価尺度を設定するかという問題である．これが，結果として，淘汰・選択の基準になり，問題解決において「正しい」方法を与えることになる．

生物進化の観点からは，これは自然淘汰に相当する．ここで重要なのは，評価尺度そのものも環境によって定まるという考え方である．イギリスで産業革命時に，ハネの色が黒っぽい蛾が急速に増加したことはよく知られている．しかし，これは蛾の形質が突然変化したことを意味しない．工場の煤煙で黒っぽい環境が多くなったということが，たまたま黒っぽい蛾に有利に働いたのである．

一方，最適化を追求する進化計算の観点からは，淘汰・選択の問題は，どのように評価関数を定義するかという問題と，どのような世代交代モデルを採用して優れた個体群を維持するかという問題とに分かれる．特に企業・組織の問題においては，常に複数の妥当解領域が存在し，また，解も一意ではないことを認識しておくべきである．

企業・組織の問題の例として文献4）の前書きに著されているのは，日本の「人間国宝」制度である．伝統芸能の実践者を敬うというこの制度は，特定の伝統芸能が危機的状況になるのを避け，その重要性を回復するために重要である．さらに示唆されるのは，このような賞を与えるという制度は，芸術家たちの活動における適応の方向を決定づけるだけではない．人間国宝の制度は，製作される芸術品の品質の正しさが競争の結果として正式に認定される以前に，将来重要になる可能性を残す伝統的手法を保存するリスクを担保するものになっている．

人間国宝にならなければ，その技能・芸能は滅びる．そのような弱い存在になったエージェントを，評価尺度を変えることによって生き返らせるのがこの制度である．これは淘汰・選択メカニズムのデザインがエージェントの問題解決に大きな可能性を与えることを示唆する．

共生コンピューティングの世界に向かって

本稿では，企業・組織行動において発生するエージェントの共生の現象について考察し，それに対処するためには，コントロールよりもハーネスという概念が有効であることを主張した．

コンピュータ資源が遍在的になる今後の世界は，エージェントが構成要素となる複雑適応系である．このような世界は，もはやトップダウンの方法で制御することは難しい．複雑性をなくすこともコントロールすることもできないのである．今後の世界をハーネスするような社会システムのデザイン原理が必要であると考える．

本稿で述べた，生物の適応進化にならった多様性・相互作用・選択淘汰の3つの概念をもとにした方法論はそのひとつである．このような計算パラダイムに基づく方法論をどのように実際の問題に適用すべきか，あるいは，実際の問題に適用するためにはハーネスの概念をどのように変更していけばよいかは，あきらかではない．

しかし現実は待ってくれない．最近，発生したMファンドをめぐる事件や，科学研究費補助金の不正使用問題などをハーネスする制度をデザインするにはどのような方法が考えられるだろうか？　我々，情報処理分野の研究者・技術者が取り扱うべき課題は多い．

参考文献

1）畑村洋太郎：失敗学のすすめ，講談社文庫 (2005).
2）寺野隆雄：エージェント・ベース・モデリング：その楽しさと難しさ，計測自動制御学会，計測と制御，Vol.43, No.12, pp.927-931 (2004).
3）寺野隆雄（監訳）：対立と協調の科学―エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明―，ダイヤモンド社 (2003).
Axelrod, R. : The Complexity of Cooperation : Agent-Based Models of Competition and Collaboration, Princeton University Press (1997).
4）高木晴夫（監訳），寺野隆雄（訳）：複雑系組織論―多様性・相互作用・淘汰のメカニズム―，ダイヤモンド社 (2003).
Axelrod, R. and Cohen, M. D. : Harnessing Complexity, The Free Press (1999).
5）Goldberg, D. E. : The Design of Innovation, Lessons from and for Competent Genetic Algorithms, Kluwer Academic Publishers, Boston (2002).

（平成18年7月14日受付）