

知能ロボットの知性の創発 (生き物・人間の巧みさと包摂構造からのアプローチ)

Emergence of the Intelligence of an Autonomous Robot : Approach from Emergence of Proficient Skills of Human and Creature with Subsumption Architecture

川副 嘉彦

Yoshihiko KAWAZOE

This study has investigated the approach to the intelligence or proficient skills in robots for breaking through the problems of the conventional robotics with SMPA framework. It is based on the emergence of the human's dexterity or proficient skills and the mobile robot experiments with the subsumption architecture (SA). It insists that the human dexterity or the intelligence and the proficient skills in robots exist in the subsumption architecture.

Key words: Robot, Autonomous, Emergence, Human's Dexterity, Intelligence, Complex System, Real world.

1. はじめに

柔軟性に富み、複雑な実世界での作業環境や人間の要求に良く適応し、自由で自然な動きを求められる知能ロボットに従来の Sense- Model- Plan- Act フレームワークに基づく方法を適用することは非現実的であり、実際に現実世界で本当に知的に動くロボットはまだ実現されていないし、現状では実現しそうな気配もない。

一方、包摂構造を用いた知能ロボットは、行動そのものを概念の中心にすえて、要素行動をモジュール化して並列的に積み上げていき、進化するような形で拡張する。新しい要素行動を付加するときには既存の要素行動には手を加えない。

文化的な型にはまることが死を意味した時代の上泉新陰流兵法に見える剣の思想はまさに包摂構造であり、無限の深さと広がりが見える。「特別な目的は持たないが、こういう場所に来れば見えてくるものがある。」と言う大リーグ・オールスターでのイチロー選手の場の論理は、すでに新陰流の極意を深めつつあるように見える。

本研究は、生き物の行動の巧みさ、人間オペレータの技量・巧みさ、人間の行為の巧みさ、さらに、上泉新陰流兵法を包摂構造の視点から吟味し、知能ロボットにおける知性へのアプローチ法を探る。新陰流兵法にみえる包摂構造が知能ロボットの未来を考えるとときに多くの示唆を与えてくれる可能性を指摘し、また「捻らない、うねらない、ためない」という古武術の自律分散的身体操縦法の理解が知能ロボットの知性の創発という観

点からきわめて挑戦的研究テーマであることを主張する。

2. 生き物の巧みさの発現

2.1 ミミズの穴ふさぎ行為とミミズの知能

ダーウィンの実験観察によると、ミミズの「穴ふさぎ」行動は柔軟である。ミミズは巣穴を、枯れ葉・小枝・小石など種々の物でふさぎ、夜の寒気で乾燥してしまわないようにする。ミミズは葉を巧みに識別する。寒い外気の下ではすべてが葉の基部から引き込まれ、暖かい室内では葉のところが先端から引き込まれる。暖かく湿った環境下では穴ふさぎは「いいかげんになる」。さらに細長い葉の柄（葉が落ちて柄だけになったところ）を穴ふさぎに利用する場合、柄の先端（固くてとがっている）と基部（太い）の利用率は、土地が固いところでは柄のところが先端から、土がやわらかく柄を容易に引き込めるところでは基部から、引き込まれる。利用される柄の性質は、土地のやわらかさという性質との兼ね合いで決まっており、最初から細くて固いということが利用しやすい形として決まっているわけではない。形だけではなくて太さについても、前もって知っている特定の基準に合う物を探しているわけではない。使われる柄の性質は、穴ふさぎがどのような場所で行われるかと同時に、目下の作業が穴ふさぎのどの段階にあるのかといったことによっても影響されている。ミミズが知識によって形や太さを探するようなことをやるのだとすると、吟味している間に干からびてしまう。幾何学や物理学の知識を豊富にもったミミズは、解析に時間がかかりすぎて死んでしまう。

2.2 土の中を垂直に穴を掘るモグラの知能

モグラは頭を絶えず左右に動かして土の硬さと石などの障害物を感じるとその反対側へ向きを変える。湿っている方向があれば湿っている方向に向きを変える。時々穴掘りを中断して重力感覚で下の方を確かめ、もっと深い穴を掘り始める。トンネルは、最初からここにおいでとモグラをいざなう「スキマ」として環境にあるわけではない。モグラは掘りながら土の中に潜在している「やわらかさのつらなり」を発見しているのである。トンネルは自然にできてしまう。もしモグラが知識によってトンネルを探するようなことをやるのだとすると、時間がかかりすぎる。

3. 複雑系としての人間の技量・巧みさの発現とロバストネス

倒立振子のように平衡点不安定な非線形系を人間が制御して安定化させるためには、人間には過酷な状況判断が要求され、人間は時と場合により複雑な行動を行うことが予想される。台車上の倒立振子の安定化制御(図1)にある程度習熟した試行者(人間オペレータ)の時系列実測波形についてエントロピー・カオス診断を行ったところ、無秩序さとカオス性を示した。オペレータの挙動にはリミットサイクル的な揺らぎが見られ、個人と習熟度の差異が顕著である。位相面表示の軌道は毎回少しずつ変わり、左右非対称な動きが生成される²⁾。試行回数が増えると変動振幅が減少する傾向がみられる。人間オペレータの時系列データからファジィ制御器を同定した結果は、試行回数1回目から10回目までの制御ルール表は非対称で微妙に変化していた。さらに、カオス・エントロピー診断によると、習熟度が増すと無秩序さの程度が低減し、運動の自由度の数が増える(腕系関節の自由度を多く使う)ことを示した。

一般的にリミットサイクルは軌道安定だから過渡的な外乱にロバストであり、構造安定でもあるから状況の変化に応じた運動の変化が起こりうる³⁾⁻⁶⁾。倒立振子を倒さないように安定化制御するという技量・巧みさは、不安定で非線形な倒立棒系と非線形な人間系との相互作用により獲得された(発現した)もので、複雑系の世界と見ることが出来る。相互作用により倒立棒が倒れないで直立する状態が生まれるのである。コンピュータ制御実験によると、リミットサイクル的(線形的には不安定)あるいはリミットサイクル

が揺らぐような不規則的な動きは予期せぬ外乱に対してロバスト(頑健)であった⁷⁾。

多賀⁸⁾は、人間の歩行について、習熟が進むにつれて、始め凍結されていた自由度が独立に動くようになることで運動の安定化と複雑化が同時に起こること、身体を介した脳神経系と環境との間の動的な相互作用の在り方に運動の創発の可能性のあることを論じている。

ギブソンは、行動は「姿勢」に依存しており、立位のような平衡姿勢ですら多数の微細な修正の動きからなっており、立つことは止まることではなく、倒れないための「不安定幅」の持続であり、「姿勢」の止まら



Fig.1 Stabilizing control of an inverted pendulum on a cart.

ないという性質が、身体に動きをもたらす⁸⁾と述べている。

人間オペレータによる倒立棒の安定化制御における巧みさの発現は、不安定で非線形な倒立棒系と非線形な人間系との相互作用により生まれる。倒立棒系の非線形ダイナミクスと人間系の非線形ダイナミクスとが相互に作用し、系全体でリミットサイクル・アトラクターが生成されるのである。これが、安定かつ柔軟な制御の生成に対応する³⁾⁻⁷⁾。

4. 人間の行為における巧みさの発現

独自の碁風「宇宙流」で有名な第20期名人・武宮正樹は彼の著書⁹⁾で次のように言っている。「宇宙流」とは「自然流」のことである。「宇宙流」は最初から「地」をほしがるような戦法ではなく、「隅」にしる「辺」にしる、石を高く(中央に近く)打ち、戦ったうえで最終的に「地」を得るという「未来思考」の戦法なのである。碁も人生もわからないことばかりである。神ならぬ身の私たちは、間違ふことでしか碁の、そして人生の真理に近づくことはできない。結果にこだわるばかりでは、けっして真理は見えてこないのである。また、次のようにも言う。私は目標

を立てない。目標は「立てる」ものではなく「持つ」ものだと思っている。目標を「立てる」場合、その目標は、小さなもの、目先のものが対象になる。逆に、目標を「持つ」場合の目標は、人生を通してやりとげようような大きなものが対象になる。

「住吉の長屋」で日本建築学会賞を受賞した安藤忠雄は次のように言う¹⁰⁾。自然の移ろい、その刺激が人間の身体と精神をはぐくむ。どこでも等しく整えられた生活より、自然に応じて多様な日々のほうが、はるかに豊かである。建築とは自然と人間との対話を喚起する装置である。

第15回山本周五郎賞を受賞した作家の江國香織は次のようにコメントしている。「恋愛は、他人の意見や情報が役に立たず、主観的な判断だけで人が行動する数少ないもの。小説でも、登場人物の考え方に耳をすまして慎重に行動を決めています。」¹¹⁾

佐々木⁸⁾によると、リハビリテーションの現場では、運動障害の身体は、新しい環境と出会ったとき、新しい姿勢、動きを要求される。頸椎の脱臼・骨折により損傷部以下の知覚と運動が完全に麻痺した障害者の「靴下はき」の観察によると、(a) 転倒しないこと(調整され続ける)、(b) 足と手を接触する位置に脚をもってくる(全身の変形)、(c) 全身の変形を持続したまま足先位置で手先の操作をする、という3種を目標としており、(b)と(c)の間も(a)が持続して達成されていることが重要である。三歳児は皆、座るといふ確実な方法でこれを達成する。「靴下はき」の発達についても詳細な記述がある。

解剖学者・養老孟司¹²⁾は、人類の未来に関して次のようなコメントをしている。「社会が脳化していることが問題である。脳化とは、ああすればこうなると考えることである。すべてが意識のもとにコントロール可能だと思いたがることである。でも、肝心の人間は自分の死期さえわからない、不確定性に満ちた存在である。自分が不確かである程度に不確かな自然世界が、一番暮らしやすい。」

5. スポーツの達人と包摂構造

大リーグ1年目でいきなり数々の賞と記録を残した野球の達人・イチロー選手は次のように言っている。「やるべきことを一つ一つ積みあげていくのです。そうすると、そうしようと思わなくても、結果は出てくるのだと思う」¹³⁾。日本における1994年の大記録210安打の翌年、彼はさらに本塁打と打点を

飛躍的に伸ばした¹⁴⁾。大リーグ2年目の開幕戦2試合のヒットは、いずれも「追い込まれて」から打った「決して綺麗ではない」ヒットだったという。彼がオープン戦で絶好球をあっさり見逃していたのは、わざとツーストライクに追い込ませておいて、そこからの対応を試すためだったという¹⁵⁾。「一喜一憂はまわりがすることで、僕がすることじゃない」というコメントに環境の変化に強い彼のロバスト性(頑健性)を見出すことができる。

テニスの達人・コナーズは次のように言う¹⁶⁾。「コートでは、どろどろの戦いが展開されていて、試合中の自信が重要である。試合中の自信は、ただ自分に勝つぞと言いきかせたり思い込ませたりするのは違う。そんなものは簡単に敵に打ち返されてしまう。信じるものは本物でなければダメだ。本物の自信をつける方法はただひとつ。しっかりとサボらずに十分時間をかけて練習すること。そして、心から自分はできるのだという確証を持つことだ。目的を持って練習することが必要である。練習時間の長さではなくて、どれだけ充実した時間を過ごしたかが意味を持つ。」

テニスの巧みな動きも、「サーブの入れ方」、「バウンドしたボールの打ち方」、そして「バウンドするまえのボールの打ち方」、この3つの単純な要素行動を実践的な環境で積みあげるだけで、プロでなくても相手や状況次第、それぞれのレベルで、巧みな(賢い)ダブルスが生まれてくる。ただし、自分より格段に未熟な相手とのゲームでは、巧みさは発現する余地がない。

6. 新陰流兵法にみえる包摂構造

「武術において解こうとしている問題とは、予測もつかず襲ってくる相手の襲来をいかに抑えるかであり、その抑えの中に、いかにして一挙に術の恒常性を見つけ出すかといったものであろう(著者要約)」と新陰流剣術の遣い手・前田英樹¹⁷⁾は書いている。前田は上泉新陰流兵法について詳細な鋭い考察をしているが、包摂構造に類似する部分の一部を以下のように要約することができる。ただし、身体の運用について誤解が無いように正確に記述することは至難の業であり、冗長に成らざるを得ないことをお許し願いたい。

「移動する際の体の軸は3本あって、体を左右に分ける中心の軸と左右の肩から両膝を縦に通って地に達する2本の軸で、敵手に対して体が真正面を向いて移動するときに

は、中央の軸が生きて働いており、右肩、右腰が前方に出た右偏身（みぎひとえみ）の移動では右軸が生きて働き、左肩、左腰が前方に出た左偏身（ひだりひとえみ）の移動では左軸が生きて働いている。ひとつの軸が働く時には、他の二つは潜在的状態にあり、潜在して一本の軸を支えている。」

「これら三つの軸移動のなかに、敵手の無際限な移動は吸収され、そのなかで崩されてしまう。」

「事実上無数にあるはずの移動軸は、3つに積分される。三つが確定されるのは、移動軸と両手太刀による斬り下げ（あるいは斬り上げ）動作との連関による。45度の斬り下げに対して確定される移動軸は、左右の二つしかない。真直ぐの斬り下げに対しては、中心軸の1本だけが連関する。3つに積分された移動軸と3つに積分された太刀筋（左右の45度と真直ぐ）との厳密な連関が新陰流刀法の大基盤である。」

「頭上からの真直ぐの太刀筋では、刀を斬り下げる身体の移動軸は体の中心線にあり、刀の上げ下ろしは正確にこの線の上を通るのでなくてはならない。斬り筋と、斬る対象に向かう移動軸との完全な一致が、太刀筋の前提である。45度の斬り筋では、身体は正面に向かって正確に45度開き、移動軸は前の肩から前膝の線を通る位置に置かれる。右上から左下に斬り下げる太刀筋では、身体は右偏身（みぎひとえみ）になり、移動軸は体の右側に置かれる。斜め太刀の斬り筋が、軸を立てた身体の移動と完全に一致して行われるなら、太刀の傾きは45度であり、身体の開きも45度であるしかない。」

「45度の左右の太刀筋・順逆と真直ぐを加えれば5つの太刀筋があると言える。ひとつの太刀筋が尽きるところ、必ずもうひとつの太刀筋が始まろうとする、そんな仕方で連関してなくてはならない。正面向き真直ぐ（十文字勝）の太刀筋は、この円環を一挙に閉じて、収束させるものとなる。」

「動く相手との関係となれば、斬り筋にさまざまな高低が生じてくる。この高低は、吊り腰の姿勢による体全体の浮き沈みで処理できなければならない。斬りかかる相手の拳を自分の移動軸上のほぼ肩の高さで捉え、45度の自分の斬り筋がそこで相手の動きと接点を取るようにする。この接点と自分の移動軸との間には、常にほぼ3尺の距離がある。」

「したがって、45度の4つの太刀筋で成る円環が、相手を誤りなく捉え、引き込むため

には、相手が斬りかかるその調子と深さとをよく読んでいなくてはならない。読んだ上で、しかるべき接点をとる。相手の調子は自分との関係で拍子になり、深さは間積もりとなる。斬りかかる相手の動きの大小、強弱を、こちらは自分との間の拍子として捌く。敵手の斬りつけの浅い深いは、自分が出す動きとの間の間積もりに変換する。そこから太刀筋は決定される。拍子と間積もりとを必然的に含んでいない太刀筋はあり得ない。相手の動きと接点を取る最も原則的な拍子と間積もりは、相手と同じく45度の太刀筋で自分のたとえば左肩先へ切りつけてくる場合、相手の執刀手を明らかに視て、自分の移動軸上三尺の位置でそれを切り落とす。これによって相手の動きはその移動軸を崩される。」

「相手との間に、いかにしてこうした関係の流れを作るか、その流れのさまざまな変奏を恒常的に生み出すかが稽古内容の一切となる。単純にして無限の体系であり、我と敵とをひとつのものにする制度だと言える。」

「この兵法は、勝つことに替えて創ることを、奪うことに替えて与えることを本質とした。何が勝つことであるかを決めるのは、所詮は世の出来合いの価値でしかない。人から何か（たとえば命、地位、金銭）を奪おうと望むのも、そういう価値に従ってでしかない。けれども、もっと別の道がある。出来合いの価値を絶え間ない柔らかな創造に替える道、何もかも支配せず、みずから創造する新たな価値を与え続ける道がある。上泉伊勢守晩年の兵法が、敵ではなく味方を、敗者ではなく無数の共鳴者を作り出した理由がここにある。」

さらに、基本と極意に関して初心者（入門者）の第一日目の稽古について述べている。

「相手に向かって正面向きに立つこと。体の中心に移動軸をおいて吊り腰で歩くこと（4足獣が歩行するときの移動軸は脊椎と一致するが、人間は脊椎と直交している。吊り腰は、猿が二本足で立ち上がった瞬間の姿勢、フィギュアスケートの選手がジャンプした後の着地時の姿勢、能の姿勢に近い。腰が天井から吊り上げられたかのような姿勢で足が浮くと言われる）。新陰流剣術はこれから始めるよりほかない。徹底してこの歩きから始め、それがいかに難しいかを知る。この時、右片手で小太刀を執り、それを中心軸に沿って下段に提げおろしておく。進みながら、小太刀がその位置から決して外れないようにすることは、初心者にはなかなか骨がおれ

る。こうやって移動軸と刀との恒常的な連関を最初に覚え、また、移動軸の存在そのものをも感得していく。この連関は、片手小太刀を真直ぐに上げ下ろす動作と体の前進とが完全に一致するとき、初心者にも明瞭に自覚される。ゆえに、この動作を繰り返し稽古させる。初心者がこの動きを行う時、彼の左右の肩、腹、腰などに（指導者が）ゆっくりと打ちを出していけば、小転（こまろばし）になり、彼の小太刀は、指導者の拳（執刀手）を打ち落としてしまう。第一日目の稽古が終わってから、これが極意だと、指導者は彼に言う。これ以上は決してないのであると。」

「実際、上泉の新陰流は、ここに始まり、ここに終わる体系になっている。あらゆる太刀筋は、ここから展開し、ここに収束する。したがって、この稽古は生涯のあらゆる段階で続けていくべきものとなる。この単純極まる動作が、どこまで、どのようにして深くなっていくかは、各人が年月をかけて経験してみるほかはない。この動きが太刀筋、間積もり、拍子を作り出すやり方は、ほんとうに深くなっていく。深くなるというのは、日常動作の本性から遠ざかるという意味であり、深まるものは、量ではなく、質以外にない。深まるものが質以外にないのなら、最初にその質が植え付けられていない限り、上達の過程は始まりようがない。故に、基本と極意とは、まったく同質のものでなくてはならない。」

太刀筋はテニスのスイング、間積もりはプレイヤー・ラケットとボールとの位置関係、拍子はタイミングとうけとることもできそうである。移動軸と刀との恒常的な連関は身体の本質の動きとラケットの動き・面の関係であり、移動軸の存在は丹田（体の重心）を意識すること、丹田の動きと手で持ったラケットの動きは一体という意味にもとれる。

「カリキュラム主義は、学校教育同様、上達の過程を量で捉えた考え方であろう。あれを知り、これを知り、知っていることがだんだん増えて、最後は卒業になるというようなものである。武術、学問、技芸、いずれの領域においても、このような意味での上達は実際には存在していない。無いことを有るかのようには言うのは、上達の真の過程に目を向けることができずにいる、あるいは、その過程を自分自身で歩く工夫の努力も喜びも知らない、結果として、詐欺同然の教育課程とやらをでっちあげる。これは近代だけの病弊ではない。＜上達＞を圧殺するすべての社会組織が個々の人間に押し付けてくるものであ

る。」

「基本と極意とが同質のものであることは当然であるが、しかしながら、基本の単純さと極意の単純さとは、同じ性質のものではない。基本から最も遠ざかったものが極意でなかったら、稽古などは馬鹿馬鹿しいものである。小転（こまろばし）が極意であるのは、太刀（かた）を通して見いだされるさまざまな問題への同時的な一切の回答があるからである。このような回答が引き出されるためには、稽古中に出会うあらゆる偽の問題（たとえば、いかに素早く刀を振るか、というような）が正確に克服されていなければならない。この克服は、真の問題を立てる行為と同じになる。太刀筋、間積もり、拍子はそのようにして現れてくる。太刀（かた）を稽古する者は、これらの問題をさまざまな局面で解き、無数の解を、小転（こまろばし）によって一挙に結びつけるのだと言える。」

「結びつける一点は、最初に与えられている。結びつけられる無数の解は、太刀（かた）を通して自分で作り出さなくてはならない。それが可能なのは、結びつける最後の一点が始めに与えられているためである。しかし、それは基本に帰ることなどではない。なぜなら、この一点は無数の解によって常に作り直され、深くされていくからである。」

さらに、歩行やスポーツの動作体系について詳細な鋭い考察をしている。

「スポーツ選手の頂点は、残酷なほど若い時にやってくる。酷使して、あちこち壊れかかった体を残して現役を退いた時には、彼らは後進の指導とかいうもの以外、スポーツに対してもう何をしたらいいのかわからない。

（中略）」「私が誉めそやしたい技術は、もっと別なところで、おそらくは黙々と生きている技術である。年齢の積み重なりと強く関わり、それによってのみ少しずつ可能となってくるような技術である。こういう技術は、組織的にはほとんど利用することができない。利用するには、いささか手間がかかり過ぎる。待つ時間が長過ぎる。けれども、ほんとうに上達する技とは、そうした在り方しか実はしていないものではないだろうか。」

上泉新陰流についての前田英樹の論述を長々と要約引用したが、その鋭い考察は、今後の知能ロボット、科学技術、文化、社会を考えるときに多くの示唆を与えてくれる。文化的な型にはまるものが死を意味した時代の剣の思想の無限の深さと広がり、無限の挑戦的研究テーマを与えてくれるように見

える。この混迷の時代に救われる思いを与えられるのは筆者だけではないであろう。すでに古武術研究の第一人者・甲野善紀¹⁷⁾は、古伝の術理を探求し、流儀にとられない稽古法・自由な発想法で各種スポーツの選手・指導者のみならず、組織運営法のヒントにしようにとする大手企業やロボット工学の専門家にも影響を与えつつある。「捨らない、うねらない、ためない」という自律分散处理的身体操縦法の解析はまだ未知の分野である。

7. 行動型知能ロボットにおける包摂構造と知性の発現

7.1 行動型知能ロボットにおける包摂構造

従来の知能ロボットは、モデル・ベースト・ロボットと呼ばれ、SMPA (Sense-Model-Plan-Act) フレームワークに基づいている。これは、図2に示すように、外界をセンサで認識し、そのモデルを内部に構築し、行動計画を立て、そして実際に行動を起こす。しかし、このような直列方式では、(1) ロバストネスの欠如という問題がある。各機能を実現するモジュールのどこかに誤りがあると、最終行動は失敗してしまう。しかも、致命的な失敗を招く恐れがある。(2) 開発方法が困難である。開発のスタイルとして、モジュールごとに完全を目指して設計して最終的にそれぞれのモジュールを統合するアプローチを採るのが普通である。しかしこの方法では、ある理想的な状況において各モジュールがうまく動いたとしても、それらを統合するとうまく動かないことが多い。また、新たな機能を付加しようとする、それが他の機能モジュールの設計仕様に影響し、結局すべてのモジュールを一から作りなおすことになる。知能ロボットの実現が期待されるのは、作業の精度、速度、効率を追求する従来のロボットに対し、柔軟性に富み、複雑な実世界での作業環境や人間の要求に良く適応し、自由に自然な動きを見せるロボットである。このようなロボットに従来の知能ロボットの開発で採用された方法を適用することはきわめて非現実的であり、現実世界で本当に知的に動くロボットは、長い間の研究にもかかわらず、まだ実現されていない²¹⁾⁻³⁰⁾。

一方、地球の歴史は46億年、単細胞生物が出現したのがおよそ35億年前、単細胞から昆虫に進化するのに30億年かかったのに対して、昆虫から人類に達するのにわずか5億年しかかかっていない。人類が農耕を始めたのが約2万年前、文字を書くようにな

ったの

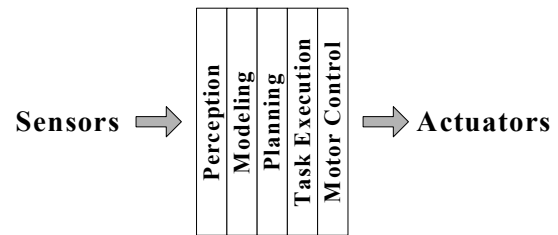


Fig.2 Conventional model-based Robot.

が5000年前、専門的知識を所有するようになったのはここ数百年だと Brooks, R.²¹⁾²²⁾は指摘している。さらに彼によると、「実世界で行動することの本質」とは、動的な環境世界のなかで動きまわること、視覚、そして生存に関連する作業をやっける能力である。この「本質」の部分は、「進化」がその時間を最も多く費やしたところであり、いったんこの「本質」が獲得されたなら、問題解決行動、言語、専門的知識とその応用、推論などはすべてこの本質に比べたら極めて単純な事柄である。現実の世界で人間と共存し、それ自身によって知的な存在であると人間に認められるような自律的な移動ロボットを製作するには、われわれ人間が住んでいる現実世界でテストすることが決定的に重要であり、単純化された世界でテストしたものを現実の世界に移そうとしても、すべての部分が再構築されねばならない。ロボットの知的行動と見なされるような動きには必ずしも複雑な処理が必要ではなく、単純な行動でも、環境に応じて適切に発現すれば、外から見れば知的に行動しているように見える。これが彼の提案した Subsumption Architecture (SA) を用いた Behavior-Based Robot (SA ロボット)²¹⁾²²⁾であり、行動そのものを概念の中心におく。

最近、ロボティクスの学問体系の未熟さが改めて指摘されており³¹⁾⁻³³⁾、感覚から行動を直接結ぶ手懸かりを発見することにこそロボティクスの神髄があるという指摘がある。知能ロボットの研究開発が大規模プロジェクトとして展開されるようになってきたにもかかわらず、巧みな(知的な)ロボットの実現という意味では、費やされる多くの時間と経費に対して、ゴキブリ程度の行動をするロボットさえ実現されていないという現実は、将来の見通しがよいとは言いがたく、ロボットの知性(巧みさ)にも「心・技・体」という行動要素群が求められるとすれば、生

き物に習って「体」, 「技」, 「心」の順序で積み上げるのがよさそうである。まず「体」が動くこと, 次は「体」を動かしながら「技」を積み上げること, 最後は「体」と「技」を持続しながら「心」を積み上げるのである(27-29)。

行動型SAロボットは, 行動そのものを概念の中心に据えて図3の例のように要素行動(エージェント)ごとにモジュール化し, 並列的に積み上げる。各要素行動は, 知覚から実際の動作まですべての機能を独立して持たされており, 上位の行動が失敗しても, 下位のLevelの要素行動が実行され, 致命的な失敗を防ぐことができる。新しいレベルを付加するときには, 既存のレベルには手を加えない。要素行動を積み上げていくにつれて行動が広がっていき, 次第に能力が向上していく。図3は本実験で用いた自律走行型ロボット³⁴⁾である。

7.2 自律ロボットの巧みさの発現

人間共存型ロボットが具備すべき要件は, 1) 人に危害を加えない, 2) 障害物に対応できる, 3) システムがフェイルしないことである³⁵⁾。要素行動 Escape, Avoid, Cruise の3つを実装したきわめてシンプルなSA移動ロボット³⁴⁾を用いてまず障害物回避行動における巧みな動きの発現を試みた²⁷⁾²⁹⁾。要素行動Cruiseは動き回り, AvoidとEscapeは行き詰らないようにする。アルゴリズム無しのシンプルな構造であるにもかかわらず, 生き物の巧みな動きを思わせた。センサの検知範囲の不安定さ, メカニズムの誤差, 実行中の走路の摩擦の変化などからくるパラメータ変動の影響を受けて軌跡が毎回少しずつ変わり, 人間と共存する環境でも適応した。障害物が突然現れたような場合に, 高度なアルゴリズムを備えた従来の頭でっかちロボットが危機状態になるのに比べてはるかに知

的である。以上の実験により, 次の点が確認できた。(1) 知的行動は要素行動群と外界との相互作用によって発現する。(2) それは簡単な要素行動モジュールの積み重ねにより実現できる。(3) ロボット自身の拡張(知的レベルの向上)も簡単である。(4) 従来のモデル・ベーストのように外界の完全なモデルの獲得が不要である。(5) 簡単な処理で実現でき, 外界に対してロバストなロボットが得られる。

7.3 SAを用いた行動型ロボットの目的行動

次に目的行動を追加した。要素行動 Escape, Avoid, Cruise に Search を積み上げた。Searchは, CCD(Charge Coupled Device)カメラによってRGBの取得を行い, 色の識別行動をする。床と壁の赤い部分を判別して検知すると, その場で歓喜の右回転をする。さらに, Avoidは, 今後の目的行動の拡張を考慮してIRの代わりに位置検出素子(PSD)を採用した。PSDは, IR(近赤外線)と距離測定機能を持つ。

図5の軌跡は, 同じ条件下でも, 単純に目的地に到達する場合もあれば, 複雑な道なりに目的地にたどり着くこともあることを示す。図6は, 図5(b)のEnd Point付近の動き, 図7は障害物をさらに複雑に配置した実験環境での行動の例, 図8は動いている人間に対しても反応して回避行動を取ることができた例である。センサーをPSDに変えた結果は, 処理時間が増したにもかかわらず障害物回避能力が向上した。色識別処理も時間がかかるので動作が鈍くなることも考えられたが, SA理論による自律走行は十分巧みな動きを示した。障害物を回避しながら色の識別を行い, 目的の場所へ到達するという知的レベルの向上を要素行動を積み上げるだけで容易に行うことができた。ロボットの動きは生き物の動きに似ている。

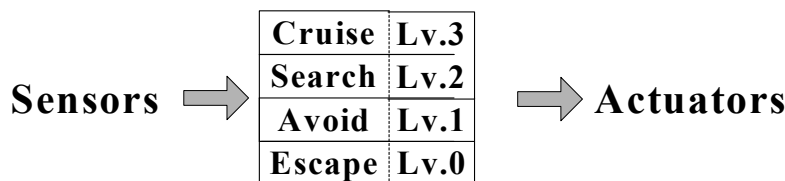


Fig.3 Subsumption architecture model.

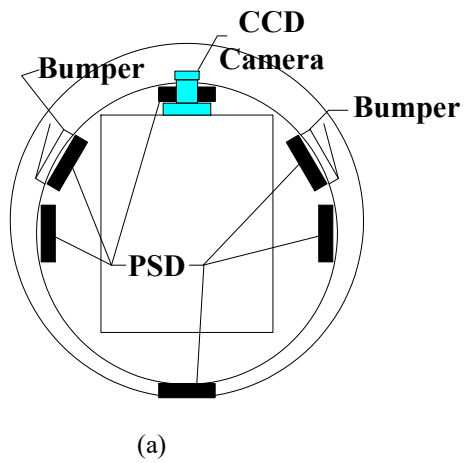
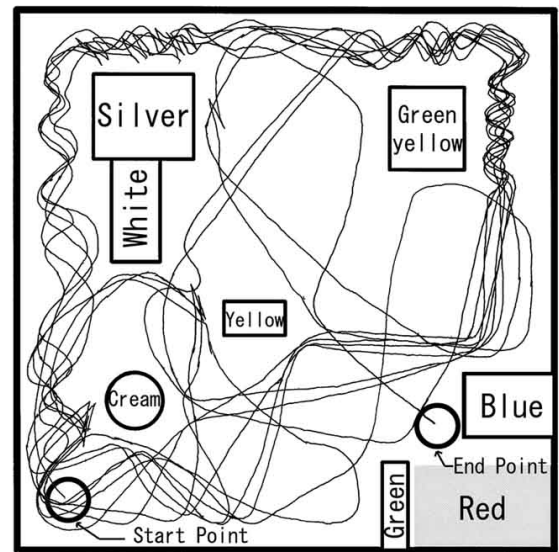
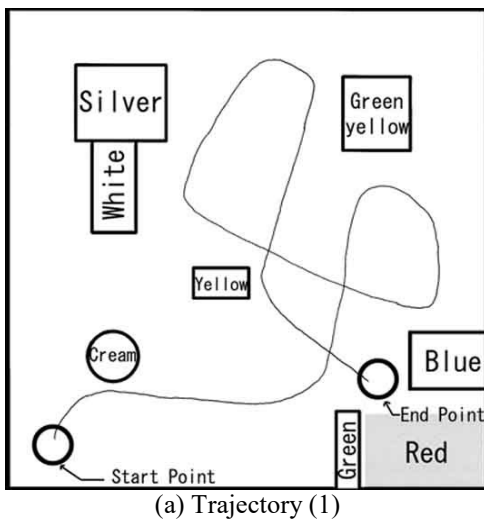


Fig4. Mobile Robot



(a) Trajectory (1)
(b) Trajectory (2)
Fig.5 Behaviors (Escape · Avoid · Search · Cruise)

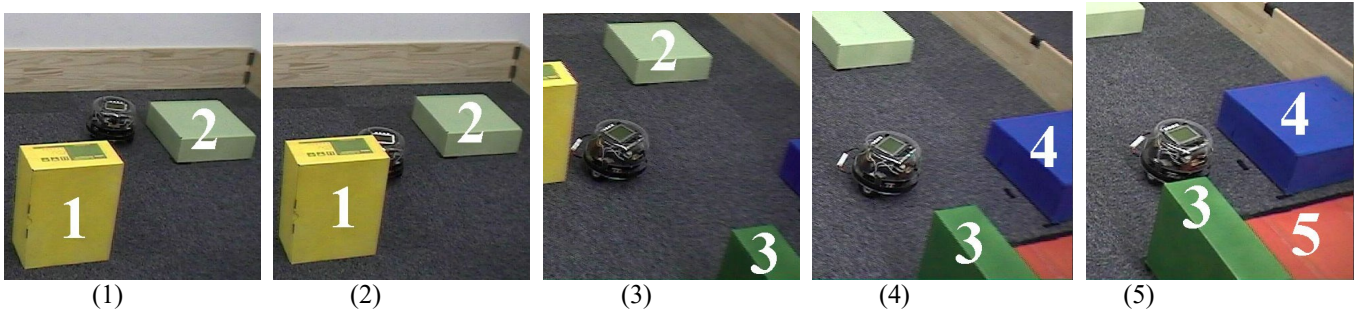


Fig.6 Behaviors with SA(Escape·Avoid·Search·Cruise) Environment I

1:Yellow 2:Green Yellow 3:Green 4:Blue 5:Red



Fig.7 Environment II

(a)

(b)

(c)

8. おわりに

大リーグ・オールスター直前に打率首位（1年目は3位，2年目は2位，今年2003年度は3年目）になって，イチロー選手はインタビューに次のように答えた。「結局は相手が少し下がったからこうなっているだけ。そういうものに僕は惑わされたくないし，価値観は見いださない」。さらに，開幕当初は低迷した（4月は打率2割4分3厘）ことについて，「野球は毎日ゲームがある。その辺が救いでもあるし，大変でもある」。「表面的なところではなく，そこに隠れているものを見てもらいたい」¹⁸⁾。オールスターに選ばれて，「誇りに思う。自分の力以上のことはできないが，力未満のことはしていけない」¹⁹⁾。オールスターで活躍して，「特別な目的は持たないが，こういう場所に来れば見えてくるものがある。」²⁰⁾。

イチロー選手の「場」の哲学である。彼はすでに新陰流の極意を深めつつあるように見える。

一見華やかなロボットブームと裏腹に，知能の原理説明とシステム構成法の観点からは，閉塞感を感じている研究者が多く，徹底的に開発努力した人の中には従来の延長線上でない新たな原理と根底からの技術革新が今こそ必要だと確信している人も多いことを國吉³⁶⁾が最近指摘している。さらに，「リアルタイムの創出知」の事例として清水³⁷⁾の柳生心陰流の研究を紹介し，今解かれるべき本質的な問題が，究極的には柳生心陰流の「活人剣の原理」をめざすものだと述べている。

本研究では，上泉新陰流兵法に見える包摂構造が知能ロボットの未来を考えると多くの示唆を与えてくれる可能性を指摘した。また「捨らない，うねらない，ためない」という古武術の自律分散的身体操縦法の理解が知能ロボットの知性の創発という観点からきわめて挑戦的研究テーマであり，すでに古伝の術理を探求し，流儀にとらわれない稽古法・自由な発想法が各種スポーツの選手・指導者のみならず，組織運営法のヒントにしようとする大手企業やロボット工学の専門家にも影響を与えつつあることを指摘した。

文献

- 1) 佐々木正人，知性はどこに生まれるか，講談社，(1996)
- 2) Kawazoe, Y., Measurement of Chaotic Behavior of Human Operator stabilizing an Inverted Pendulum and Its Fuzzy Identification from Time Series Data, J.Robotics & Mechatronics, 13-1. (2001), pp.23-29.
- 3) 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究（第1報，原因を探る諸実験），日本機械学会論文集 51-461, pp. 404- 409.(1985)
- 4) 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチン

グに関する研究（第3報，低速ハンチングの計算機シミュレーション），日本機械学会論文集，51-471, (1985), pp.2789-2795.

5) 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究（第9報，非線形挙動の考察），日本機械学会論文集，56-523, (1990), pp.693- 699.

6) 多賀巖太郎，歩行の創発，日本ロボット学会誌，15-5, (1997), pp. 680- 683.

7) Kawazoe Y (1992), Manual control and computer control of an inverted pendulum on a cart, Proc. of the First International Conf. on Motion and Vibration Control, pp.930-935.

8) 佐々木正人，物と行為を一体に記述する試み：靴下はきの場合，季刊「発達」，22-87, (2001), ミネルヴァ書房，pp.2-8.

9) 武宮正樹，「宇宙流」生き方のすすめ―"ここ一番"は明日やってくる，廣済堂出版

10) 朝日新聞夕刊，2002年4月6日，自然との対話呼び起こす建築：安藤忠雄（建築家，東大教授）

11) 加藤修，朝日新聞，2002年5月17日，ひと：江國香織さん。

12) 養老孟司，明日はあるか，朝日新聞，2002年1月8日。

13) 山田佳毅，「重圧」無縁・揺るがぬ自信，朝日新聞，2002年3月30日。

14) 石田雄太，イチロー&マリナーズ Ichiro: the desire for evolution, Sports Graphic Number, 23-8, (2002), pp.52-57.

15) 由利英明，定位置も飛躍への通過点，朝日新聞（夕刊），2002年5月27日。

16) リンバーク，M. 編，金井哲夫訳，勝利の秘訣，(1996)，アスペクト出版。

17) 甲野善紀・前田英樹，剣の思想，青土社，(2001)

18) 藤島真人，朝日新聞（夕刊），2003年7月14日

19) 堀川貴弘・由利英明，朝日新聞（夕刊），2003年7月15日。

20) 由利英明，朝日新聞（夕刊），2003年7月16日

21) Brooks, R. A., A robust layered control system for a mobile robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 1, 14-23(1986).

22) Brooks, R. A., Intelligence without representation, Artificial Intelligence, Vol.47, (1991), pp. 139-159.

23) Gomi, T, Impact of Non-Cartesianism on Software Engineering, Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.487-519.

24) 五味隆志，知的移動ロボット：知能の新しい見方，ロボットの新たな役割，Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.427-454.

25) 井上博允，重点領域研究「知能ロボット」，日本ロボット学会誌，16-5, (1998) ,p.578-585.

26) 能島裕介・小島史男・久保田直行，多目的行動調停に基づく移動ロボットの行動獲得，日本機械学会論文集，68-671, (2002), pp.2067-2073.

27) 川副嘉彦，複雑系としての人間の巧みさと自律ロボットの知性の発現，日本機械学会2002年度年次大

- 会講演論文集, pp.171-172, (2002).
- 28) 川副嘉彦, 知能ロボットの知性の創発 (第1報, 複雑系としての人間の行為・運動の巧みさとサブサンプルション・アーキテクチャ), 埼玉工業大学紀要, 第11&12号, pp.9-19,(2002)
- 29) 川副嘉彦, 知能ロボットの知性の創発 (第2報, SAを用いた行動型移動ロボットの自律走行の発現), 埼玉工業大学紀要, 第11&12号, pp.21-31,(2002)
- 30) Seraji, S. & Howard, A., Behavior-Based Robot Navigation on Challenging Terrain: A Fuzzy Logic Approach, IEEE Trans. on Robotics & Automation, 18-3, (2002), pp.308-321.
- 31) 梅谷陽二, RSJ-黎明期から今日まで, 日本ロボット学会誌, 20-6, (2002), pp.566-567.
- 32) 有本卓, ロボティクスは先端科学技術になりうるか, 日本ロボット学会誌, 20-6, (2002), pp.569-570.
- 33) 広瀬茂男, 大衆工学としてのロボット, 日本ロボット学会誌, 21-2, (2003), pp.138-140.
- 34) Jones JL, Rug Warrior Pro™, Assembly Guide, AK Peters LTD (USA).
- 35) 西田洋一郎・中川一・中内靖・森 泰親, 接触センサを用いた動的環境に適応したロボットの開発, 日本機械学会論文集, 63-606, (1997), pp.492-498.
- 36) 國吉康夫, ロボットの知能-創発実体主義の挑戦-, 計測と制御, 42-6, (2003), pp.497-503.
- 37) 清水博, 生命知としての場の論理-柳生新陰流に見える共創の理-, 中公新書(1996).