

言語・認知・複雑系

Language, Cognition and Complex Systems

池上 高志
Takashi Ikegami

東京大学大学院総合文化研究科
The Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo.

Keywords: complex systems, active perception, joint attention, categorization, radial category, representation, cross-modality.

1. はじめに

複雑系は、主にコンピュータによる構成論的かつ実験的なアプローチにより、対象として自然現象の中の主観と客観のはざまを理解していこうというものである[金子 98]。コンピュータシミュレーションは何かの理論の証明に用いられるというより、コンピュータの中に非自明な現象を見つけて、その観察日記をつける気持ちで研究する。例えば進化的なシミュレーションでは、どんな形のものが出てくるかを「発見」できるという、古典的な意味での実験家的楽しみがある。研究対象としての主観と客観の間とは、簡単には生命現象と非生命現象を分け隔てる、志向性、動機、記憶、主観性、感覚、学習、進化、個別性、生と死、などを自然科学として理解するということでもある。あるいはこうした言葉を使わなくてはならない、素性とは何かを見極めようということでもある。そういった意味で、複雑系とは生命についての理論であり、新しい形の生命理論である。このレクチャーシリーズのテーマである言語は、生命固有のものであり新しい生命理論の避けては通れない問題である。

この論文では、おそらく言語のみが伝えることのできる質感の問題に言及したい。それは、何が起こったか、ではなくて、どのように起こったか、という事象の様態について描くこと、である。そのことをわかるための道具だとして、複雑系が擁するコンピュータによる構成論的なアプローチと、アクティブな知覚という視点が強力だと考えている。そのことを以下で順番に論じていきたい。

はじめに、一体シミュレーションで何がわかるか。といったことに答えてから本論に入っていくことにする。というのもこれは実際に非常によく聞かれる質問であるし、シミュレーションというものに懐疑的な人はいまだに多いだろうと推測されるからだ。一つには、進化のようにそれが実験的に調べようがない場合は、シミュレーションで仮想的な世界を構築することでのみ理解可能だからである。この場合、ある形質が実際進化的に到達可能かどうかを調べる場合と、最終的な到達点（形質）などはなくて、

進化していくさまを研究する場合がある。こうした進化シミュレーションにおいて、システムのエージェントや相互作用の仕方、進化のメカニズムが妥当なものである必要はあるが、現実の制約をどのくらい強くもち込むかは問題である。それは、人工生命の研究に限らず、「あるべき進化」、「あるべき言語」、「あるべき形態」といった可能な「パターン」の進化について考えることが、現実の再現ではない複雑系の特徴だからである。実際、現実の再現、というときの「現実」とは何か。現実とは、我々がシステムに見いだすリアリティーのことであるとするならば、むしろ現実には観測されていない、可能な形こそがリアリティーを形づくっている、というのは、かなり正しいように思う。コンピュータは何でも可能なのではなくて、むしろいろいろな制約から自由ではない。例えば、用いる方程式の形や時間発展のとり方などは、物理学や進化生物学におけるモデリングの影響を強く受けていて、それから自由ではない。しかしその不自由さがリアリティーを与えるという意味でもある。次章で、相互作用をもとにした言語モデルの話をし、3章で運動パターンと知覚構造の呼応関係を、4章で表象と言語に関して論じ、5章でアクティブパーセプションから見た言語の問題を扱う。6章で、言語の共感覚構造について書いて、まとめる。

2. 認知と言語の相互作用様式

相互作用をもとにした言語観というものを、「言語と認知の相互作用様式」で論じた[池上 01]。そこでは、まずマイケル・レディーの言語観[Reddy 79]を発展させて、言葉とは複雑な機械のキャッチボールだという話をした。言語は、話者のメッセージや意図がある形で縮約して伝えるものであり、言語の意味の伝達可能性は、むしろ縮約された言葉から背後の意味を取り出せる受け手側の認知能力にある。これをツールメーカーのパラダイムという。これに対し、言葉を意味の容器のように扱い、話者は意味を容器に入れ、受け手は意味をその容器から取り出すだけである。この見方が導管 (conduit) メタファーである。著者らが最初に指摘したのは、言語が意味をもち得

るかどうかは、受け手側の認知能力にすべて依存するものではない、言語のもつ「自律性」すなわち、認知機能とは独立したシステムとしての、能動的な側面をもった容器としての言語の側面、である。これを新しい導管メタファーと考えたい、というものであった。

この新しい導管メタファーは、別のいい方をすると、言語システムそのものが、ある種の力学系システム(内在的な運動性をもったという意味)であり、逆に言語を介することで人間の側に、知覚や信念レベルの構造、志向性の形が刻まれるということである。グライスの公準は、そうした言語の自律システムとしての特徴と考えることもできるだろう。例えば、電子メールによるコミュニケーションが、我々の取り交わすメッセージの内容をそれに適応させるようになったのと同様、言葉のもつ自律性もあらゆる形で我々の思考形態に影響を及ぼしている。

このグライスの公準にあげられる性質は、必ずしも言語固有ではなく、むしろ心の能力に照らしたものだといえる。その心の能力の例としてプレマックらが提案した、心の理論を考えてみよう[Premack 78]。心の理論は行為のパターンに付随する心の状態を予測する能力のことだ、と定義を与える。ただしこの予測は、完全な予測ということが大事なのではなく、むしろ予測し得ないことがあることを認めよう。予測することが大事だとしたのが我々の議論であった。自律的なシステムは完全な予測を可能としない。だからこそ、その予測し得なさの承認を通して、ジョイントアテンションが生成される。すなわちジョイントアテンションとは、そうした相手の自律性への承認にあることを議論した。

言語を精密な相互作用と考えるとき、しかしその精密さは意味の不定性をミニマムに押さえるということではない。むしろ相手との協調関係を構成し、志向性をそろえるという役割として言語的相互作用は位置づけられるという議論であった[宇野 02]。これに照応するコンピュータシミュレーションが二つある。一つはリカレントネットワークどうしに会話をさせるというモデル[Igari 02]。ここでは互いに参加している会話をインプットとアウトプットをもったシステムとみなし、その関数関係のモデルを推測する。そして、そのモデルの構造をなめらかに保つように次の発話を選ぶというモデルであった。そうした中で会話のモデルがどのように変遷し、変わっていくかを力学系的な視点から解析したものである。もう一つは、囚人のジレンマゲームを用いて2人のプレイヤーが互いに相手のモデルをつくりながらゲームをするが、そのときに協調と呼ばれるものがどういう形で発展するかを論じたものである[Ikegami 98]。双方のシミュレーションモデルに共通するのは、予測という構造が完全にはうまくいかない状況で、かえって協調性が進化する。また予測の破れがあるまま会話を続けることで、自発的にトピックスの変遷が起きるというものであった。不定性=予測の難しさ、を解消してしまわないで保つこと、それが我々の考えたゴール型のジ

ョイントアテンションのメカニズムである。しかし不定性の生成と維持の重要性は、それだけではない。不定性は、相手に探索行為を要求する。その探索行為、自分で相手の中に何かを見いだそうとする行為が、その不定性を承認させてゴールジョイントアテンションを成立させる。不定性の知覚とそれを支える探索行為という構図は、アクティブな知覚と呼ばれるものの一つである。以下では、そのアクティブな知覚を通じた言語理論について論じる。

3. 運動による認知

Gibson が提唱した知覚の理論[Gibson 62]とその発展したものは、次のことをベースにしている。1) 知覚は、自分で積極的に作り出す運動によってグラウンドされる。2) 知覚は、探索行為を伴っている。3) 目的的に思われる単一の運動も、実は複数の運動の束からなっている。

こうした考えは、特に運動という観点を強調したものに絞っても、D. H. Reed[Reed 00]、佐々木[佐々木 00]、K. O'Regan[O'Regan 01]、Alva Noëらによって、発展させられている。O'Regan は、視覚に関して1) で述べたような自発的な運動による「見え」を強調し、経験や知覚に関し、運動のマスという観点から論を展開している。佐々木は、例えば事故などで身体に障害をもった人間のリハビリテーション過程の中に運動群の発達(上の3))を見ている。例えばアクティブタッチということに関し、Gibson はクッキーカッターの形を目をつぶって当てるという実験を通して、自己生成運動の重要性を訴えている。これは、クッキーカッターを目をつぶったまま掌に押し付けて、その形を当てるというものである。まず動かさずにクッキーカッターを押し当てただけでは、正解率は50%である。しかし、ランダムに掌にいろいろな方向から押し当ててもらると、75%になる。そこで最後に自分で押し当てると、95%になる。こうした自己運動による探索行為の重要性(上の2))は、例えば最近のパウアーとパーソンズの小脳の働きに関する報告[Bower 03]にもあげられている。ただしここでいう探索行為は、意識下のレベルで生じる自律的な探索行為である。

こうした運動と対で考える知覚の理論の重要性は、機械的記憶と経験の違いに光を当てるし、何よりもわかったという感覚に接近することができる。例えば写真で知る折鶴と、自分で折る折鶴は、脳へのしまい方は違っていると期待される。その違いは、折鶴という「表象」は、二次元の絵に「折鶴」というラベルを張り付けただけではない。自分が鶴を折っていく際の折紙の手触りや紙の擦れる音、きれいに折り目が見つからないという感覚、その他のいろいろな感覚が折り混ざって、折鶴という表象をつくりあげる。つまり、脳の中の事物の表象とは、運動感覚的なものの複合体であり得る。こういう経験から立ち上がってくる表象こそが、実世界で駆動するロボットを構成す

る場合に、有効になってくる。

Rolf Pfeifer と Christian Scheier は 1995 年に、空間を動き回るロボットを使って、「ものの大きさ」を知覚させるように進化させた[Scheier 95]。具体的には二つの背の低い半径の異なる 2 種類の円筒を用意する。ロボットは車輪のついた平らな形の移動体で簡単なセンサと「腕」をもっている。この腕を使って小さいほうの円筒をもち上げることができる。細かい設定は省略するが、このロボットの内部のニューラルネットワークを進化的な手法できたえると、はじめは自分のもてるものもてないものも、同じだけの時間を円筒の前で消費してしまう。やがて自分がもち上げられないものはとばして、自分のもち上げられるものだけもち上げようとする。それはあたかも大きさの表象を獲得したかのようなのである。この例は、大きい・小さいというカテゴリーを、単に視覚的ではなく自分の運動を使った経験に基づいて、結果としてカテゴリー化している。その意味でこれはアクティブな知覚を構成論的になし得た例と考えることができる。このような運動経験による知覚の分類として、表 1 をあげることができる。

ところで運動を伴わないでこれらを、例えばアルゴリズム

表 1

| 区別のカテゴリー | 運動のカテゴリー | 論文 |
|--------------|---------------|--------------|
| 大きい・小さい | もてるもの・もてないもの | [Scheier 95] |
| 部屋 A,B | 廊下を曲がって見る巡行運動 | [Tani 98] |
| 制限された三角形/正方形 | 斜めに沿って動くかどうか | [Marocco 02] |
| 一般的な三角・四角 | 辺に沿って動き回る | [Morimoto] |
| 球体・立方体 | 指の動き | [Nolfi 02] |
| 速い・遅い点滅光 | 回転運動をする | [Iizuka] |

ミックにカテゴライズできるかといわれればそれは可能であろう。だからといってこれらが下等なカテゴリー化の仕方だとは考えてはならない。なぜならば、この表の上二つのカテゴリーは、Lakoff がかつて強調した放射状カテゴリーをなしており、あるカテゴリーを絶対的に指定する要素は書き下せないのである[Lakoff 87]。そうしたカテゴリーは典型的な集合要素を例示することができるだけである。大きい円筒と小さい円筒の境界はないし、速い・遅い点滅の境界も絶対的には存在しない。例えば二つの部屋の違いも廊下のゴミをも部屋の要素とみなすかどうかで、境界はぼけてしまう。数学的な定義そのまま当てはまらない生活の場に存在する三角と四角は、ラディアルになる。つまり、我々が数学的な表象をもとにカテゴリー知覚をしているのでない限り、カテゴリーは必然的に、実世界のノイズにまみれている。運動経験をもとに構成されるカテゴリーは、ノイズにロバストな構造をもつ形式的にはうまく扱えない放射状カテゴリーなのである。

しかしここで、カテゴリー化における表象のあり方について再び考えてみよう。

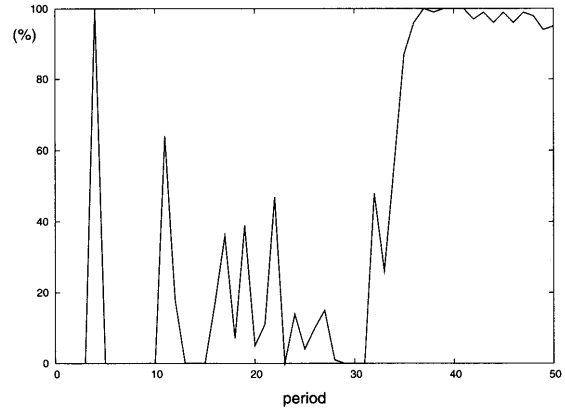


図 1 十分進化させたあとのエージェントが光源にたどり着く確率を縦軸に、横軸は明滅の周期として見たもの。エージェントは光源からのインプットを自律的に開閉できるような機構をもつカオスニューラルネットワークを備えている。エージェントは 5 から 50 までの 10 種類の周期でそのうち半分に近いように進化させられる。そうして進化させたエージェントを使って、一般の周期に対し到達確率分布を計算している。詳しくは[Iizuka]

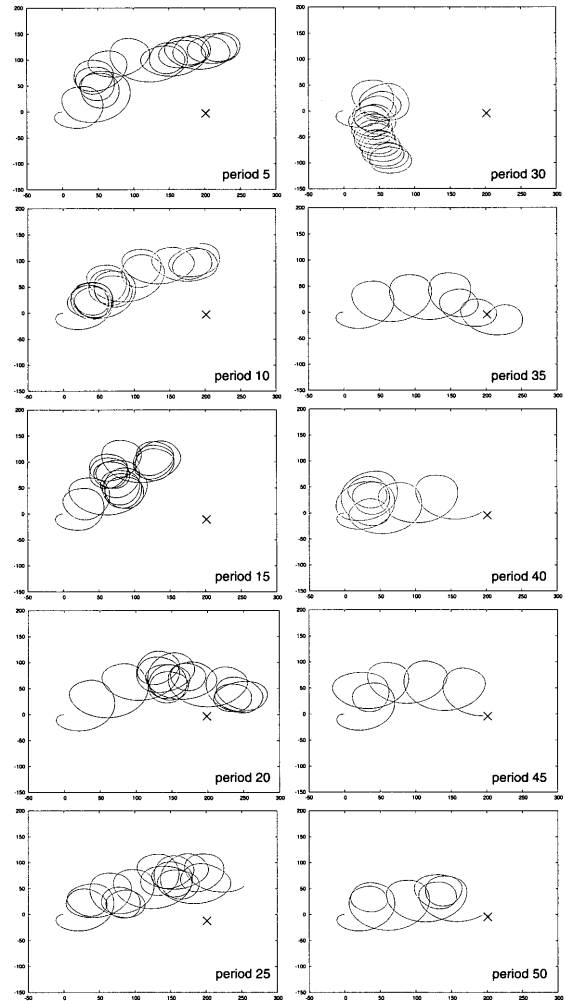


図 2 図 3 の周期に対応する平面上の運動。運動のスタイルは基本的には回転運動である。周期 35, 40, 45, 50 には、与えられた時間以内にたどり着くことができる。運動のパターンも、たどり着く場合とそうでない場合で区別される

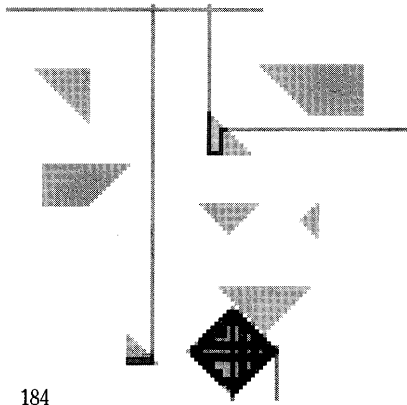


図3 十分進化させたあとのエージェントが平面上に並べられた四角形と三角形の上を動き回る様子。
ここでエージェントは、四角形の上にてできるだけ長く留まるように進化している。このエージェントは内部に可変なネットワークをもち、例えば四角形と三角形を区別し、その上で自分の運動のパターンを変えながら、四角形の内部を動き回っている。詳しくは[Morimoto]

4. 表象と言語

Beyond Modularity という本 [Smith 92] の中で A.Karmilo-Smith は、表象書換えのダイナミクス (RR) の話を書いている。乳幼児は発達とともに、表象を次々と書き換えていく。その書換えは、何か適応度があってそれにより適応する方向に書き換えられていくのではなく、それぞれの領域で表象は十分なものになるのに、発達とともに変わるべくして変わるのである。Karmilo-Smith はしかし、運動の発達と表象はその発達の仕方を分けて議論している。暗黙的で手続き的符合化の表象である I 表象から、いろいろな領域の表象と結合でき、かつ意識的にアクセス可能な E3 表象へと発達する。一方行為の発達そのものは U 字シェーブを見せながら発達するという理論である。このことを参照しながらもう一度、シミュレーションを見てみよう。

ここで考えるのは運動とともに出現した知覚がどういった内部状態によって支えられているかである。上の運動パターンによるカテゴリーの生成の表をもう一度見てみると、円筒の大小は円筒の曲率を測定できればいいし、部屋の違いは廊下を回ったときの風景の予測パターン、三角と四角は辺に沿って進んだ角と辺から、明滅する光はその周波数を計ればいい。

こうすると、カテゴリー化のための表象とは、ある単純な区別のきっかけになるパターンへの写像の問題となってしまうかに見える。これは人工知能のフレーム問題の一種である。円筒の区別は、体の大きさを確定してしまえば一意的に決まるかに見える。もし円筒がすべりやすかったり、こわれやすかったりして他の要素が加味してくると複雑なカテゴリーが要求され、フレームそのものが露呈する。運動は絶対的なロバストネスを保証してないことは注目すべきであろう。つまり、この一連の研究では表象+

運動、というように独立なモジュールの連結という形でネットワークが与えられるならば、古典的カテゴリーとして決定不能な問題となる。しかし表象と運動が分離不可分な形で与えられることで、この問題は放射状カテゴリーという形で解かれる。例えば先の表で、明滅する光源の周期を弁別する例を考えてみよう。このとき円筒の大きさを区別する問題とは違い、動かなくても周期は見るだけで分離できるはずである。例えばそういう光の周期パターンという表象を内部に獲得し、ある周期以上ならばニューロン A が発火、そうでなければニューロン B が発火するとしよう。そしてこのニューロン群からのアウトプットをモータ出力に連結し、ニューロン A が発火していれば光源に近づき、B ならば遠ざかるように制御する、と考えることもできるだろう。しかしここで獲得されたものとは違っている。運動と分離不可分な形で獲得された表象の重要性は、次のようにまとめられる。

- i) 運動と感覚を対にして獲得することにより、例えば最初に議論した折鶴の運動的理解が可能となり、経験と単なる記憶が差別化できる。
- ii) 放射状カテゴリーは、共通性質をもとには切り分けられない集合である。切り分けられないきちんと定義できない集合を、あたかもそれがあつかうように使えるということを実現するのが、運動と感覚対によるカテゴリー化である。

この明滅実験における、運動のカテゴリーとそれによる明滅周期のカテゴリーを図 1 と図 2 に示す。

この結果が示すように、一見単なる視覚によるラベル付けと見られる光源の周期の弁別も、運動と不可分だということは、言葉によるラベル貼付や文法について新しい視点を提供する。それがアクティブパーセプションによる言語観である。そのつながりを以下で示したい。

5. アクティブパーセプションと言語

今ある事態や状態の因果関係の表明として、考えられる文法構文に例えば理由文がある。理由文は一般に、 $p \rightarrow q$ (p が主節で q は従属節) として表示する。しかし重要なのはこのときの言明 ($q \rightarrow p$) が、必ずしも原因と結果の関係になっていないことである。

川の流れが速いから、まっすぐ歩けない。

という理由文では、流れが速いという知覚が、まっすぐ歩けないという事態を引き起こしているわけではない。流れが速いことと、まっすぐ歩けないことは同時認識である。まっすぐ歩けないことと、流れが速いことは、二つでその事態の表象をつくり上げている。それは、前件か後件かどちらか一方を発話しても、意味そのものは損ねないこと、言語表象の運動性あるいは時間性を表している。運動を表象生成の手段と捉えるのではなく、むしろ前章で論じたような表象と運動の分離不可分性を示すことである。

もう一つの大事な観点は運動の多様性である。先ほどの知覚とそれを支える行為の表は、1対1の関係を与えている。それは、そこで扱っていた知覚が、0か1かの判断を与えるものだからである。しかし、知覚というのはいくらでも多様な多様な感じのものである。例えば、ものの手触りにしても、ざらざら、つるつる、べとべと、べちゃべちゃ、ねちゃねちゃ、といくらでも多様なものが存在し得る。そして、べちゃべちゃがどんな感じなのかを他人に説明することは難しい。こういうの、という具合にべちゃべちゃを経験してもらうほかはないだろう。しかしそのべちゃべちゃ感や、ねちゃねちゃ感はどうやって獲得され区別されるのだろうか。もちろん、こういう体性感覚に受容野は存在しない。ある種の運動とともに感覚運動野に生じるパターンがそれに対応するとして、それらが峻別可能なのは、対応する運動のレパートリーが多様だからである。もし、運動のレパートリーが前に進むか後ろに進むしかなかったとしたら、多様な知覚、感覚質はもたらされなかっただろう。知覚とは、運動と対になって出現するものだけだけでなく、その多様なレパートリーによって与えられる。

このことは3章の、運動と知覚の対応づけの表1に、実は紙面に垂直な方向にレパートリーの軸があることを示している。この軸は、知覚の質、あるいは様態と関係づけられる。我々の実験に関して、この第3番目の軸を考えてみる。一応その運動の多様さを調べたのは、一般的な三角と四角の分別に伴う運動の多様性である。ここでは、エージェントは三角は素通りし、四角の上に長く滞在するように進化するが、四角形を認識したあとピークルはその運動パターンを変化させて、いろいろな仕方四角形を埋めつくす。どういう場合にどういう埋めつくし方をするのかは、その四角形に来る前にどういう形を遍歴してきたか、いま滞在している四角形はどんな形か、そういうことに依存して埋めつくしの運動パターンは変化している[Morimoto]。形の弁別とともにもたらされる運動のレパートリーが、ここでいう形の違う四角形に伴う感覚の質の違いを与えている、と期待される。

6. ま と め

前章に述べたオノマトペに限らず、人は言葉を聞いたときに、それが何に関するモノかということと同時に、いかにそれを語っているかということに無関心ではられない。例えば、次の一節を見てみよう。

枕もとを見ると、八重の椿が一輪畳の上に落ちている。代助はゆうべ床の中でたしかにこの花の落ちる音を聞いた。彼の耳には、それがゴムマリを天井裏から投げつけたほどに響いた。夜が更けて、あたりが静かなせいかとも思ったが、念のため、右の手を心臓の上のせて、肋のはずれに正しくあたる血の音を確かめながら眠りについた。

これは、漱石の「それから」の冒頭近くにある一節だが、これを読んだときに我々のところに想起されるものは、はたして代助がどうしていたか、であろうか。代助が朝起きて、枕もとに椿が落ちていた。ということを読んだ人に伝えてもこの一節を読んだときに受ける質感は決して伝えることはできないだろう。最初に心に去来するのは、何をしたかではなく、どう事態は進行しているかということにある。しかも漱石はここで、一つの状況を視点の移動を用いて多層に描きだしている。そこに質感を立体的に掘り出す秘密がある。これは何も漱石のような卓越した文章に接した場合ばかりではない。日常的に我々が取り交わす、この言葉そのものが、何をではなく、いかに、ということをも第一義的な機能として考えていることもできるだろう。

そして、言葉をきいただけで、いかに、が伝えられるのは、言語がもともと言語以外の器官との連合に依存して機能しているからである。それは個々人の経験における五感との間に共感覚構造のネットワークをはりめぐらしている。赤（あか）と音を聞いたなら、視覚野が刺激されて赤い夕陽が記憶から立ち上り、夕焼けの街の匂いが嗅覚細胞を刺激し、バルコニーのてすりの冷たさが甦るかもしれない。逆に上の漱石の一節には、赤という色は出現しない。しかし落花した椿、心臓、血の音、そうしたものが、赤という色を読者に喚起させないではおかない。言葉というものが、人々の心を強く揺さぶるのは、そのような共感覚によるということが出来るだろう。逆に、そのような経験との共感覚性がなければ、例えば「命令」などの発話行為的な文は理解できても、言語を介したゴール的なジョイントアテンションは不可能である。

運動がつくり出す放射状カテゴリーと、運動のもつレパートリーを考えていくことで、認知の本質的な問題、感覚質と言語の問題に接近してやろう、というのが、ここで紹介した小さなシミュレーションが示す大きな夢である。

謝 辞

共同研究者の宇野良子、飯塚博幸、森本元太郎、鈴木啓介さんらに感謝します。特に宇野さんには初期の原稿に関して有益な助言をいろいろいただきました。これら一連の研究は、21世紀COE「融合科学創成ステーション」と、栢森情報科学振興財団からの援助を受けて行っています。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bower 03] Bower, J. M. and Parsons, L. M.: 小脳の知られざる役割, 日経サイエンス 11月号 (2003)
- [Gibson 62] Gibson, J. J.: Observations on Active Touch, *Psychological Review*, Vol. 69, pp. 477-491 (1962)
- [Igari 02] Igari, I.: Numerical Studies of Language and Discourse Complexity: A Dynamical Systems Approach, 東京大学博士論文 (2002); Igari, I. and Ikegami, T.: Coevolution of Mind and

- Language presented at *the International Conference on Evolution of Language*, Paris (April 2000)
- [Iizuka] Iizuka, H. and Ikegami, T.: Discrimination with Subjective Couplings (submitted to SAB 04, preprint)
- [Ikegami 98] Ikegami, T. and Taiji, M.: Structures of Possible Worlds in a Game of Players with Internal Models (ps.gzip file), *Acta Polytechnica Scandinavica Ma.* 91, pp. 283-292 (1998)
- [池上 01] 池上高志: 言語と認知の相互作用様式, 辻 幸夫 編: ことばの認知科学辞典, pp.158-175, 大修館書店 (2001)
- [金子 98] 金子邦彦, 池上高志: 複雑系の進化的シナリオ, 朝倉書店 (1998)
- [Lakoff 87] Lakoff, G.: *Women, Fire, and Dangerous Things*, The University of Chicago Press (1987)
- [Marocco 02] Marocco, D. and Floreano, D.: Active Vision and Feature Selection in Evolutionary Behavioral Systems, From animals to animats VII, Hallam, B., Floreano, D., Hallam, J., Hayes, G. and Meyer, J.A. (eds.), *Proceedings of 7th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 247-255, Cambridge, MA: MIT Press (2002)
- [Morimoto] Morimoto, G. and Ikegami, T.: Evolution of plastic Sensory-motor coupling and Dynamics Categorization (submitted to artificial life XI, preprint)
- [Nolfi 02] Nolfi, S. and Marocco, D.: Active Perception: A Sensorimotor Account of Object Categorization, in From animals to animats VII, Hallam, B., Floreano, D., Hallam, J., Hayes, G. and Meyer, J.A. (eds.), *Proceedings of the International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 266-271, Cambridge, MA: MIT Press (2002)
- [O'Regan 01] O'Regan, J. K. and Noë, A.: A sensorimotor account of vision and visual consciousness, *Behavior Brain Science*, Vol. 24, pp. 939-1011 (2001)
- [Premack 78] Premack, D. and Woodruff, G.: Does the chimpanzee have a theory of mind?, *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 4, pp. 515-526 (1978)
- [Reddy 79] Reddy, M. J.: The conduit metaphor: A case of frame conflict in our language about language, Ortony, A. (ed.), *Metaphor and Thought*, pp. 284-324, Cambridge: Cambridge University Press (1979)
- [Reed 00] Reed, E. S. 著, 細田直哉 訳, 佐々木正人 監修: *アフォーダンスの心理学*, 新曜社 (2000)
- [佐々木 00] 佐々木正人: *知覚はおわらない*, 青土社 (2000)
- [Scheier 95] Scheier, C. and Pfeifer, R.: Classification as sensory-motor coordination: A case study on autonomous agents, Morau, F., Moreno, A., Merelo, J. J. and Chacon P. (eds.), *Proceedings of the 3rd European Conference on Artificial life*, pp. 657-667, Springer (1995)
- [Smith 92] Smith, A. K.: *人間発達の認知科学*, ミネルヴァ書房 (1992)
- [Tani 98] Tani, J. and Nolfi, S.: Learning to perceive the world as articulated: An approach for hierarchical learning in sensory-motor systems, in From Animals to Animats V, Pfeifer, R., Blumberg, B., Meyer, J. A. and Wilson, S.W. (eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 270-279, Cambridge, MA: MIT Press (1998)
- [宇野 02] 宇野良子, 池上高志: ジョイントアテンション/予測と言語~志向性をそろえるメカニズム~, *認知言語学論考*, No.2, pp. 231-274 (2002)

2004年2月5日 受理

著者紹介

池上 高志



1989年東京大学大学院理工学研究科博士課程物理専攻修了。理学博士。その後1年間の学振期間(京都大学基礎物理学研究所)を経て、1990年より神戸大学自然科学研究科助手、1994年より東京大学総合文化研究科、現在に至る。専門は複雑系の数理学。コンピュータシミュレーションによる生命や認知の基本問題を研究する。