

「2 中心モデル」とインターフェース表現†

三宅 美博*

生成プロセスを理解し表現するための基本的な枠組みとして「2 中心モデル」仮説を提案する。ここでは、わたしから切離され対象化された因果性という枠組みだけではなく、わたしとの関係そのものである同時性としての身体的はたらきに着目することになる。そして、同時性と因果性の相互拘束としてわたしにおける生成プロセスが捉えられる。さらに、このモデルは、相互拘束プロセスにおける同時性としての身体的インターフェース領域において、入れ子的に表現されなければならないことが示される。具体的には、人間と相互適応的にふるまう歩行介助ロボットとして構成しつつある現状を紹介する。

1. はじめに

生成とは不完結なる者に許された発展の一形態である。もし、わたしが世界全体を完全に見渡すことができ、しかもそれを完全に操作できるのなら、わたしにとって世界が生成するということはないように思われるから。その意味で、生成とは状態ではなくプロセスであり、そこでは徹底して局所からの視点に立つことが要請される。そして、このことは、われわれは合理的な存在として世界を外側から理解するだけではなく、責任を担う存在としてこの世界に参加しているのだという内側からの把握の重要性を主張することにつながる。そこで、ここでは、われわれが不完結になら

ざるを得ない背景を考察し、それにどのように対応してきたかについて説明する。そして、その際に用いられてきた、因果性に基づく合理的思考の限界がどこにあるのかを示し、本論における問題の提起としたい。

まず、われわれは世界における相互作用の内部に埋め込まれており、その内側から世界を捉えることしかできないということを認めよう。たとえば、会議に出席し議論している状況を考えればイメージしやすいだろう。このような状況は極めてありふれたものであるが、このとき、われわれは立ち止まって会議の流れ全体を俯瞰できる立場にはいない。むしろ、後の祭りという苦い経験を持たれた方は多いはずである。つまり、わたしを一部分として含む世界は常に動いており、わたしの行為を通して、他の人々と動的に分けられない相互作用の内部に置かれ続けているのである。たとえば、発言を控えて会議の成り行きを静かに見守ろうとしても、そのことがして会議の状況に影響を与えていることになる。つまり、わたしの行為は、何もしないという場合も含めて、相手の行為を喚起し両者のダイナミックスを不可分な関係にしてしまうのである。

このように、われわれは常に世界の一部分でしかあり得ないという原理的な制限のもとにある。したがって、その内側に埋め込まれているわれわれにとって、行為の結果は予測不可能なものとして現出するはずである。ここに「内側から観る」ということの難しさがある。しかし、生きていくためには、世界における未来を何らかのかたちで予測できることが必要である。このような状況下

† Dual-Centers Model and Interface-Embedded Expression
 Yoshihiro MIYAKE

* 東京工業大学 大学院総合理工学研究科
 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Inst. of Tech.

において、世界の全てが予測不可能であると言うだけでは生産的ではない。また、複雑な世界をそのまま複雑に捉えよといっても同じである。重要なことは、原理的な限界を踏まえてどのように未来を予測するのか、そしてどのように世界に参加するのかということなのである。では、われわれはいかにしてこの問題に対応してきたのであろうか？

ふつうの意味における予測は因果性に基づいて行われているように思われる。因果性とは、過去に基づく未来予測の方法である。そのため、われわれは会議が終わった後、会議の事後分析をすることになる。たとえば、わたしが会議の席上で誰かを怒らせてしまったとしよう。おそらく、そのような事態が生ずる過程において、わたしは決して相手を怒らせることを意図していたのではなかったはずである。そこで、次のような因果的な理解がなされることになる。自分が相手の発言の意図を誤解してしまった。そのため、相手に対して不適当な発言をし、それが相手を怒らせた。だから、次回の会議では、誤解に基づく発言であったことを相手に伝えよう。つまり、現在の立場から過去を解釈し、それを未来に適用するのである。そこでは、相互作用における不可分性としての同時性を、疑似的に因果関係に分解して再構成した上で、それを未来へと外挿することが行われている。 X をわたし、 Y を相手とすれば次のように表現できる。

$$X \Leftrightarrow Y \xrightarrow{\text{(同時性)}} X \rightarrow Y + Y \rightarrow X \text{ (因果性)}$$

しかし、このような因果性に基づく合理的な予測のどこに限界があるかは以下のような思考実験から容易に推測できる。たとえば、 $F_1: X_n \rightarrow Y_n$ 、 $F_2: Y_n \rightarrow X_{n+1}$ とおき $X_{n+1} = F_2(F_1(X_n)) = F(X_n)$ とする。このとき $1 \leq n \leq N$ に対して $X_{n+1} = F(X_n)$ が成立したとして、 $n > N$ に対しても $X_{n+1} = F(X_n)$ が成立するだろうか。具体的には、次のような数列の穴埋め問題を考えてみてよい。

1, 2, 3, 4, 5, □, …

少し考えれば容易にわかるが、上記の正解は6だけではない。たとえば、7でも10でも、あるいは☆でも正解である(もし、この解答が理解できないならば、因果的思考にやや囚われすぎているので要注意!)。 $1 \leq n \leq N$ に対して $X_{n+1} = F(X_n)$ が成立する様相は多対1の論理である。だから写像という形式で表現することができる。しかし、 $n > N$ に対しては $X_{n+1} = F(X_n)$ 、 $G(X_n)$ 、 $H(X_n)$ …の可能性が常に残されているのだ。その意味で未来に対する論理は1対多であり、これは明らかに因果性を超えている。

ここで最も重要なことは、世界の一部分として相互作用の内部に埋め込まれているわれわれにとって、その相互作用を事後的に因果関係に分解し再構成した世界には、必ずその外部が存在するということである。事後的な再構成がわたしの側からの一種の解釈であり、わたしは解釈の前提をすべて明示的に表現することはできないということ考えたとき、これは当然の帰結である。この点において、因果性だけに基づく予測は明らかな限界をもつ。言い換えれば、因果性の持つ無謬性としての誤謬性に気づかねばならないのだ。こうして、われわれはどのように生成的に世界を予測するのかという新たな問題に出会うのである。

2. 「2中心モデル」という在り方

人間は、それでも因果性という合理的な予測方法にこだわり続けているように思われる。われわれは、社会制度として、あるいは教育システムや人工物環境として世界を因果的に逆構成しているからである。このような構造によって因果的に予測可能な領域が拡大し、われわれは合理性や最適性という考え方を無意識の内に受け入れている。これほどの強い志向性は、人間という生物の進化過程で獲得されたものと考えられ、特に、われわれの思考方法それ自体がわれわれの身体構造に由来している可能性がある。たとえば、われわれは

目と頭と手という機能分化した器官を利用して世界と相互作用している。このとき、対象を目で見て脳で理解し、それに基づいて対象を手で操作する。それぞれの相互作用は原因と結果が明確に分離されやすいように構成されており、ここに因果性の萌芽をみることができる。

しかし、すべての生物がこのような戦略で進化してきたのではないことは容易に推測されるであろう。明らかに、これは人間中心的な世界の見方であり、むしろ、このような人間中心主義の弊害が現代において顕在化しているとみることも可能である。事実、人間とはまったく逆の、リアルタイム化(同時性)を重視する戦略をとる生物も存在する。そこでは、身体を実体化させ中枢と末梢を構成する人間において最も捉えにくい、生成プロセスそのものに付随する性質が見えてくるはずである。むしろそのような生物の研究から、因果性の限界を超えるための着想を得られるのではないだろうか。このことは、われわれが世界から切離されたものとして存在し、事後的に合理的な解を求めるという形式だけではなく、われわれが責任を担う存在として世界に参加しリアルタイムに対応するという形式の知を求めることにつながる。つまり、わたしとの関係において世界を生成的に捉え、世界におけるわたしの未来を生成的に予測する方法である。われわれの研究室では、このような立場から、粘菌(Physarum)というアメーバ状の生物における形態形成プロセスの研究を進めてきた[1]。

まず、粘菌の紹介からはじめよう。この生物はカビの一種であり、胞子が発芽して生まれた微小なアメーバが多数融合して形成された、一辺が十数センチメートルにもおよぶ巨大な個体である。脳や神経系のように特別に分化した集中処理系を持たないにも関わらず、扇形の一個体として統御された形態形成を実現している。しかもそれを維持ながら移動するのである。非常にやわらかいアメーバ状の生物であり全ての部分が運動能力を持つことを考えたとき、各部分が積極的に統合するはたらきを持たなければこのようなことは決して

起こらない。そこで、わたしは粘菌の一部分に刺激を与え、その刺激に応じて形態が再構築されるプロセスに着目してきた。図1の場合であれば、えさ(△)を扇形の末尾に与えることで、それまでの先端部分が尾部化し尾部が先端化している。このプロセスで特に注目してほしいことは、個体の各部分の形態分化はあらかじめ固定されていないということである。しかも、結果的に定まってくる各部分の形態は、その部分の局所的な状況だけでは規定されておらず、部分間の同時的な相互関係から規定されているということである。

このように個体としての形態は状況に応じて融通無碍に変化するのだが、ただ一つ保存される構造上の分化がある。それは、図2に示すように、扇形の形態を構成するひも状原形質のネットワークであり、それはゲル状の原形質からなるチューブ状の構造とその中を流れるゾル状の原形質の二つから構成されている。前者が外質、後者が内質

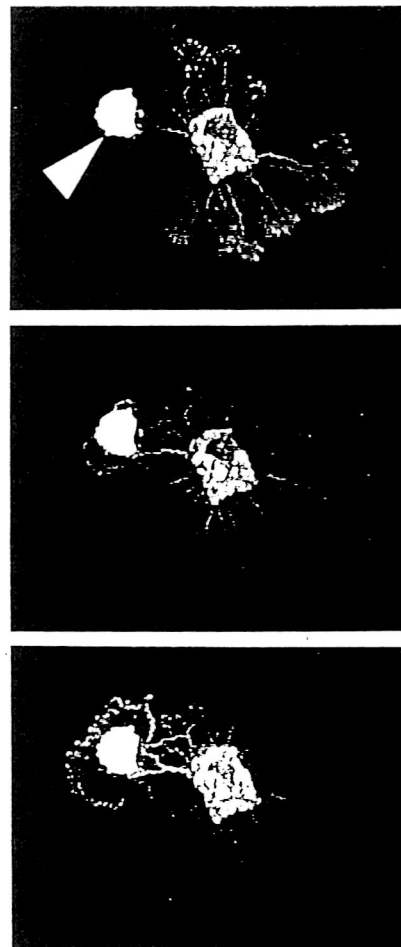


図1 粘菌(Physarum)

とよばれる。このチューブ状の構造は軸方向に相似形であることから、これをサブシステムの集合とみなせば、各サブシステムは外質系と内質系の2つの領域から構成されていることになる。外質系はゲル状であり、各サブシステムにおいて固定される形態としての多様性を内在させているように思われた。一方、内質系はゾル状であり、その往復原形質流動を通してサブシステム間での関係生成の多様性を内在させているように思われた。そこで、この2つの領域を近似的に分けて観測できるようにし、それらの相互関係を解析した。

その結果、両者は交互に拘束し合う形でそれらの可能性を相互限定していることがわかってきた。特に、内質系には周期2～3分の化学リズムが観察され、それは隣接するサブシステムの内質系との間でお互いに同調し合い動的にコヒーレントな状態を生成していた。これは相互引き込みと呼ばれるが、そのような同時的な相互作用によってリズムの間での位相関係が生成された。そして、その位相関係に表現されたサブシステム間での関係が外質系における形態の生成を拘束した。しかし、内質系のコヒーレント状態は周期1～2時間程度で生成と崩壊を繰り返しており、それが再生成するプロセスにおいては、逆に外質系に固定された形態が内質系のコヒーレント状態の生成を拘

束していた。そして、これら一連の相互拘束の結果、個体というシステム全体として適切であるように、各サブシステムにおける形態上の分化が進行した。

このような実験の詳細については省略するが、これを、わたしが世界に埋め込まれている状況のメタファーとして捉えてみることにする。つまり、ここまでは粘菌という生物を見てきたわけであるが、ここからは粘菌を通してわたしを捉えるのである。ここで視点が外側から内側に変化していることに注意してほしい。そして、粘菌全体を一種の世界として捉え、その上で一つのサブシステムにわたしを対応付けて考えてみることにする。そうすると、ここで明らかにされたメカニズムは、世界に包摂されたわたしの在り方に関する構造でもある。内質系はリズムの相互引き込みによって不可分な相互作用の内部にあり、これはわたしにおける同時的な関係を生成するはたらきに対応づけることができる。一方、外質系は内質系における関係生成を受けて形態分化として一義的に固定され、さらに次の段階における内質系の関係生成にはたらきかけており、これは同時的な関係を事後的に解釈し因果的に予測することに対応する。

人間における実験的知見としては、たとえば、ペッペルは心理物理的な方法によって、2つの出来事の時間的前後関係を分離できる時間差の下限は30ミリ秒であり、時間的一まとまりとして認識できる上限は3秒であることを報告している。そして、それに基づいて、意識や時間が一様かつ連続な現象ではなく、むしろ周期的かつ生成的な現象である可能性を示唆している[2]。また、小林は、母子関係における身体運動の相互引き込みという同時的な相互作用が、言語という意識化されたはたらきを赤ちゃんが獲得する上で重要であることを示唆している[3]。このように、人間においては因果性を意識生成のはたらきに、同時性を身体的関係生成のはたらきに対応づけることが可能だろう。ただし、粘菌において内質と外質が互換であることを考慮すれば、この2つのはたらきを実体化されたものと捉えてはいけなくなる。

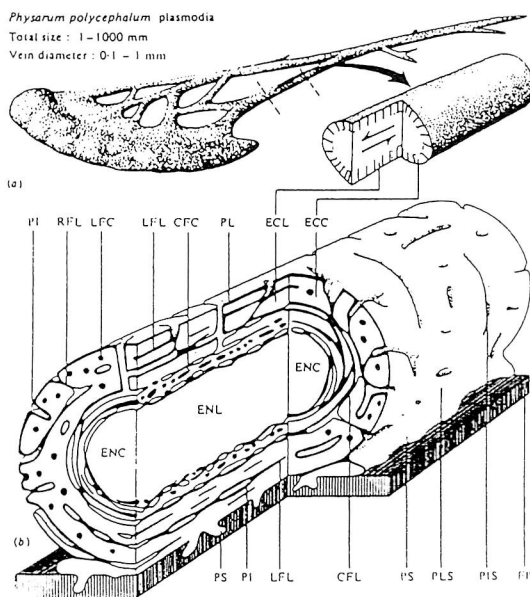


図2 粘菌の構造
(Fleischer & Wohlfarth-Bottermann(1975)より)

その意味でも、ここでは「はたらき」と呼んでおり、意識と身体を二分しているのではない。

こうして、図3に示されるような、「2中心モデル」仮説が提案されることになる。そこでは、相互作用を分離することに基づく因果性(causality)としての意識生成的はたらきと、分離される前の相互作用の同時性(mutuality)としての身体的はたらきの両方が注目されることになる。そして、このような分けるはたらきとつなぐはたらきという異なる2つのはたらきの間での相互拘束プロセスを通して、わたしが埋め込まれている相互作用としての世界を、その内側から相補的かつ生成的に捉える方法が2中心モデルである。2中心モデルの詳細については、清水の著書[4]、あるいは、わたしの前論文[5]を参照してもらうことにして、ここではモデルの構成を視覚的に説明することにしよう。ただし、視覚化することは対象化された因果的理解につながりやすく注意が必要である。

まず図4に示されているのは、わたしの身体的はたらきにおける、わたし(X)と相手としての他者(Y)の同時的な相互作用である。このとき重要なことは、わたしと他者の相互作用はまだ分離されておらず、それに伴ってわたしにとっての現在とは点ではなく、ある厚みをもった有限の区間になることである。そのため、同時性の領域において、時間は有限区間の離散化された列として現れることになる。それは、相互作用の内部に埋め込まれているわたしにとって観測可能なものは、わたしと他者の同時的な関係だけであり、わたしと他者の間に動的にコヒーレントな関係が生成するには有限の時間を要するからである。このような意味において、身体的な相互作用における現在という区間内では、コヒーレンス生成という形式における同時性の論理が成立していると考えられる。例えば、粘菌において明らかにされたリズムの相互引き込みはその一例である。

一方、図5においては、この同時的な関係に基づいて、わたしの内部の意識生成的はたらきにおいて再構成された因果的關係性が示されている。こ

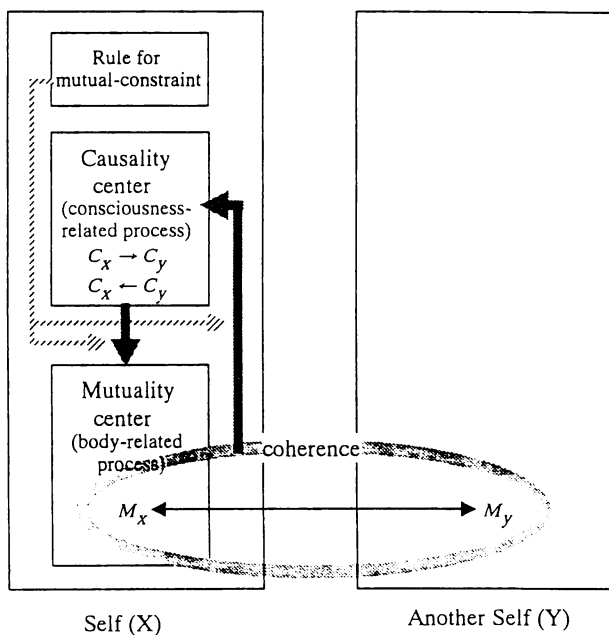


図3 2中心モデル

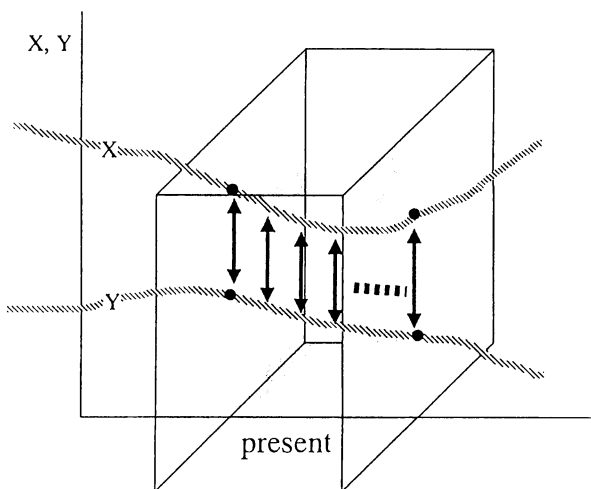


図4 同時性

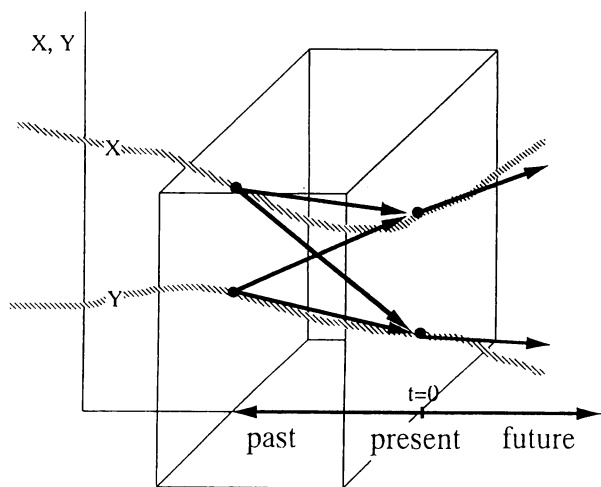


図5 因果性

の因果性の領域では、わたしと他者の相互作用は、わたしから他者、および、他者からわたしという因果関係に擬似的に分解され、それらの加算として相互作用が再構成される。これは、瞬間としての現在から逆行的視点をもって、同時性の領域において区間として扱われた現在を分解し、過去として捉え直すことに対応している。そして、それを外挿することによって未来を予測することが可能になっている。これは現在を中心として、過去と未来に対して対称かつ一様に分布する時間が仮想的に導入されたことに対応する。

このとき2つのはたらきの間での相互拘束プロセスは以下のように考える。同時性の領域において生成した身体的コヒーレンスを因果的な関係に分解することは一種の逆問題であり、因果性の領域には何らかの先行的な知識としての解釈モデルが必要とされる。そして、そのモデルに対する拘束条件として同時的關係を用いることによって、現在という区間内でのわたしと他者の相互作用を擬似的に因果関係に分解することが可能になり、さらに、わたしと他者の未来を予測できることになる。そして、その予測に基づくわたしの行為が逆に同時性の領域に対する拘束条件となり、身体的コヒーレンスとしての新たな同時的關係が生成する。そして因果的予測と生成した身体的コヒーレンスの関係から、解釈モデルの妥当性が評価され修正されることになる。

しかし、このような相互拘束を繰り返すことによって、わたしがわたしの埋め込まれている相互作用を適切に解釈し予測できるようになるか否かは一般には自明ではない。ここには一種のメタ・ルールとしてのルール生成ルールを仮定する必要がある、実際、われわれはこのようなルールを進化的に獲得してきたように思われる。たとえば、わたしを他者の立場に置き、その視点を通してわたしを見るという自他の関係における対称性はそのルールの一例としてあげられるだろう。

3. インターフェースとして表現すること

ここでは、2中心モデルをどのように表現すればよいかを考えよう。最も重要なことは、2中心モデルとは、相互作用の内部に埋め込まれたわたしと他者の関係生成に関するモデルであって、わたしから分離して対象化されたわたしと他者の関係に関するモデルではないということである。対象化することは、2中心モデルの枠組みでいえば、意識化された因果的領域においてのみ表現していることになる。そして、そのような枠組みの中で生成プロセスを扱おうとすると、いわゆる無限退行としてのパラドックスに陥ってしまう。しかし、何らかの形で対象化されたモデルとして表現しなければ、2中心モデルという枠組みは直接的な経験の内部にとどめざるを得ない。では、どうすればよいのであろうか。

この問題の根幹には、わたしの内側から世界を生成的に表現する視点と、そのように生成された世界を対象として外側から表現する視点の対立があるように思われる。そして、内側からの表現と内側からの視点の外側からの表現は異なるカテゴリーの問題として捉えられなければならない。むしろ、その両者を混同することが問題の本質を最も隠蔽してしまうことになるだろう。そして、このような原理的な不可能を認めた上で、外側からの表現が、どうすれば内側からの表現に接地されるのかという問題に取り組まなければならない。そして、この問題に対するわたしの答えは、わたしにおける2中心モデルの内部において2中心モデルを表現するということである。2中心モデルとしての生成的在り方を可能たらしめているものが、わたしにおける2中心性であるのだとすれば、これは必然的な要請となる。

つまり、2中心モデルをわたしにおける相互拘束プロセスの外側で表現するから対象化されるのであり、そのプロセスの内側から表現することが必要なのである。ただし、相互拘束は基本的にわたしの内部にあり、唯一、同時性の領域としての

身体的はたらきにおいてのみ外部と接続されている。したがって、2中心モデルを同時性の領域において入れこ的に表現し、それをわたしの相互拘束プロセスの内部において作動させるという表現形式が有効になる。このことは、わたしと他者のインターフェースとしての身体におけるモデル表現ということである。つまり、わたしが、世界を内側から捉えるときの「道具」として表現する方法であり、わたしにおける自己としての2中心性を自己表現として表現する方法である。そして、このような枠組みによって、わたしにおける生成プロセスを擬似的に表現することが可能になる。そして、そのインターフェースを身体化できる更なる他者との相互作用において、わたしにおける生成プロセスがわれわれとして共有されるのである。

非常に簡単な例として、一本の包丁があったとしよう。この包丁は、それを使う人間の相互拘束プロセスの内部におかれ、身体的インターフェースの一部となることで様々な機能を生成する。切る、刻む、砕く、さらには武器としての使用すら可能である。包丁そのものは決して生成的ではないが、それを人間が使用することによって、その人間との関係において機能が生成されている。そして使う人を育ててくれる。包丁を制作した人間は、その包丁が使用される局面における生成を記述してはいない。しかし、その制作者が内的に体験したであろう生成プロセスを、その使用者は使用することを通して擬似的に追体験できている。さらに、新しい使用方法を使用者自身が発見し表現することで、その使用者は制作者としてすらその包丁と関わるのが可能となる。このようなアプローチは、表現本来の姿であるアートに回帰しているようにも見える。しかし、これが論理を捨象した単なる過去への回帰であってはならず、そのためにも2中心モデルという在り方を踏まえる必要がある。

以上のような枠組み内であれば、わたしの身体的インターフェース領域において2中心モデルを擬似的に表現可能であるように思われる。その場

合、どのような方法でわたしの相互拘束プロセス内に表現するかが、次の重要な問題となって現れてくる。このとき、ひとつのプロセスは、わたしの因果性の領域を通して擬似的2中心モデルをわたしのインターフェース領域に構成することであり、もうひとつのプロセスは、その構成されたモデルをわたしの同時性の領域に埋め込み身体的コヒーレンスを生成させた上で、再び因果性の領域へはたらきかけることである。この様子は、図6に示されている。道具の場合であれば、前者は制作することに対応し、後者は使用することに対応する。そして、これらのサブプロセスを接続することによって、わたしにおける相互拘束プロセス内部に2中心モデルを表現できるようになるのである。

このとき、インターフェースとして構成される擬似的2中心モデルの同時性と因果性としては、どのような表現が可能であろうか。まず、同時性の領域としては、わたしにおける同時性の領域としての身体的はたらきと相互作用できることが必要である。そこで、わたしと擬似的2中心モデルの間に身体的類似性を仮定すれば、つまり、2つの部分系間の時定数が近いとみなせば、リズムの相互引き込みを利用して同時性を表現できるように思われる。これは、粘菌において観察されたように、わたしと他者の間での身体的コヒーレンス

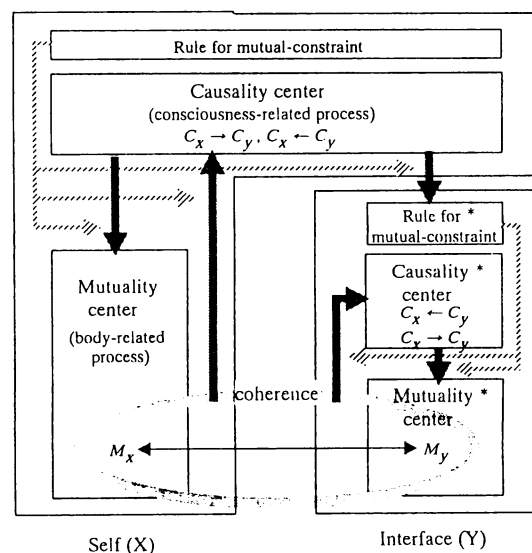


図6 インターフェース表現

生成を可能とするメカニズムの一例である。この領域において、時間は離散化された有限区間の列として現れるので微分的表記は不可能であるが、個々の有限区間内に対して外的な物理時間を用いれば擬似的には以下のような記述が可能となる。

$$\dot{\phi}_x = \omega_x + f(\phi_x - \phi_y) \quad (1)$$

$$\dot{\phi}_y = \omega_y + g(\phi_x - \phi_y) \quad (2)$$

ここで $\omega_x \approx \omega_y$ とすると

相互引き込み状態になるので、

引き込み振動数 ω_e の回転座標系からみると

$$\dot{\phi}_x = \dot{\phi}_y = 0 \text{ となり、(1), (2) は}$$

$$f(\phi_x - \phi_y) = \omega_e - \omega_x \quad (3)$$

$$g(\phi_x - \phi_y) = \omega_e - \omega_y \quad (4)$$

ここで関係量として位相差をとると

$$\Delta\phi = \phi_x - \phi_y \quad (5)$$

これを(3), (4)に代入して

$$\Delta\phi = f^{-1}(\omega_e - \omega_x) = g^{-1}(\omega_e - \omega_y) \quad (6)$$

これはリズムの相互引き込みの最も簡単な表現であり、これと類似な構造のシステムであれば広く有効である。このとき、内的に観測可能な量は、離散的な時間区間ごとに式(6)として確定される同時的関係性ということになる。

一方、因果性の領域においては、わたしと擬似的2中心モデルに対応した2つの部分系の間での相互作用が仮想的に構成される。この領域は、物理的な身体とは直接的には関係ない領域であるため、部分系の時定数をかなり自由に設定できる。そこで、それらの時定数が大きく異なるとみなせば、断熱近似的な手法が利用可能になる。断熱近似とは、相互作用する部分系のうち一方の時間変化が充分速いとき、もう一方の遅い変化をする部分系から見て、その速い変化をする系が常に定常状態に見えるとする近似である。つまり、速く変化する系は遅く変化する系に隷従すると考えることに対応する。これは相互作用を一方向的な因果関係で近似することに対応している。

$$\dot{q}_x = -\gamma_x q_x + f(q_x, q_y) \quad (7)$$

$$\dot{q}_y = -\gamma_y q_y + g(q_x, q_y) \quad (8)$$

ここで $\gamma_y \gg \gamma_x$ とすると

(8)は $\dot{q}_y = 0$ (断熱近似) より

$$q_y = (1/\gamma_y)g(q_x) \quad (9)$$

これを(7)に代入して

$$\dot{q}_x = -\gamma_x q_x + f((1/\gamma_y)g(q_x)) \quad (10)$$

となり X から Y への一方向的な作用となる。

同様に $\gamma_x \gg \gamma_y$ とすると(9), (10)は

$$q_x = (1/\gamma_x)f(q_y) \quad (11)$$

$$\dot{q}_y = -\gamma_y q_y + g((1/\gamma_x)f(q_y)) \quad (12)$$

となり Y から X への一方向的な作用となる。

これらは2中心モデルを擬似的に表現する方法の一例でしかない。しかし、このようにインターフェース領域において形式化することによって、初めて2中心モデルは使えるモデルになる。

4. 歩行介助ロボットの構成

このようなアプローチは、インターフェースとしてのロボットを構築する中で実践されている。特に、高齢者や身障者の歩行介助という具体的な問題の中において、ロボットと人間が歩調を合わせて一緒に歩くことで、歩行運動を安定化し安心化することの実現をめざしている。介助という問題を選んだのは、ここにおいて必要とされる機能が、人間とロボットの相互に分離できない相互作用に基づいており、しかも、内的観測における生成的予測のモデルケースとして適切であると考えたからである。特に、歩行において介助を必要とする人々の場合、いったん転倒してしまうと不可逆的な傷害を受けることが多く、転倒する前にそれを防止する予測的な歩行支援技術が必要とされている。

さらに、ロボットというインターフェース形式に注目している理由は、ロボットの身体系を通して同時性が、表象系を通して因果性が擬似的に表現できる可能性があるからである。ただし、ここでは実機としてのロボットを構築するのではなく、計算機の内部にロボットモデルをシミュレートし、その歩行に伴う足音を通して人間と相互作用させている。それは、同時性とは、物理的身体を通して力学的に相互作用することではなく、人間とロボットの相互作用それ自体が不可分であるということにあるからである。そこで図7のように、ロ

ロボットの足の接地を音として合成し人間にヘッドフォンを通して聞かせ、一方、人間の足の接地をセンサーで検出し計算機に送ることで実現している。特に、ここでは歩行介助という目的との関係から、可搬性を考慮して図8のような構造のコンパクトな介助システムを構築しつつある。

まず、ロボットモデルにおける擬似的な2中心モデルとしては、図9のような構成とする。詳細は略するが、同時性の領域については、ロボット

モデルの身体系に非線形リズムとしての性質を与え、人間の歩行リズムと相互引き込みさせることで実現している。これは隣り合って人と並んで歩くときに無意識的に歩調が揃ってしまう現象を踏まえている。因果性の領域では、ロボットの表象系に2つの非線形振動子からなる結合系を用い、ロボットと人間の歩行リズムの解釈モデルとして、断熱近似的に相互作用を分解し予測することになる。このとき、相互拘束は以下のように進められる。同時性の領域において、歩行リズムの相互引き込みを通して位相関係としての身体的コヒーレンスを生成する。そして、因果性の領域の解釈モデルにおいて、まずロボット側に対応する振動子の内部状態(固有周期)を断熱近似的に定常状態におき、観測された位相差を生成するように人間側の内部状態を推測する。次に、その結果に基づいて、人間側の振動子の内部状態を断熱近似的に定常状態におき、目的を実現するようなロボット側の内部状態を予測する。その結果

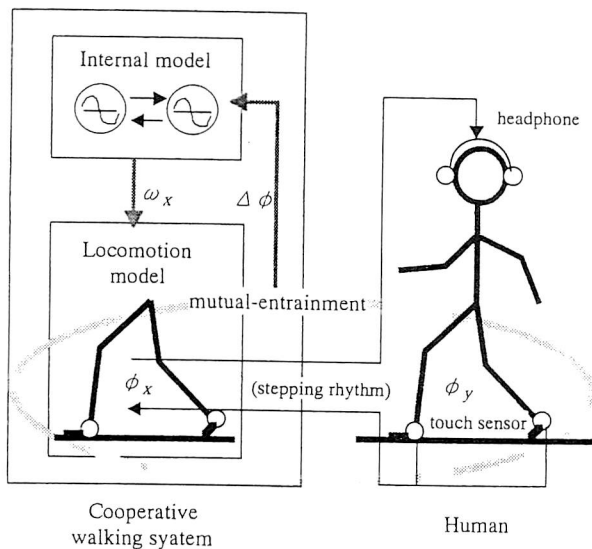
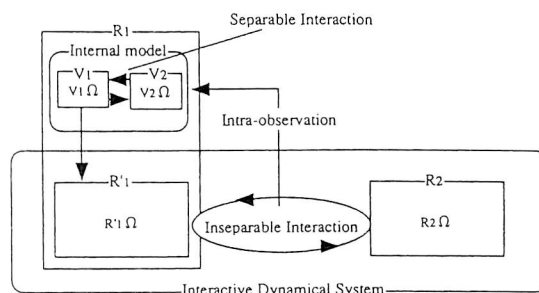


図7 歩行介助ロボット



1. By Intra-observation, R_1 gets $R_{12}\phi(t)$, the phase difference between R_1 and R_2 at time t .
2. if $|R_{12}\phi(t) - R_{12}\phi(t-1)| \leq \text{threshold}$
 - (a) Define the phase difference between V_2 and V_1 as $V_{21}\phi(vt)$, then search $v_2\Omega(vt)$ such as

$$\min (R_{12}\phi(t) - v_{21}\phi(vt))$$
 under the fixed $v_1\Omega(t-1)$. Here vt means virtual time.
 - (b) Define the phase difference between V_1 and V_2 as $V_{12}\phi(vt)$, then search the most suitable $v_1\Omega(t)$ to the aim, as an example,

$$v_{12}\phi(vt) = 0$$
 under the fixed $v_2\Omega(t)$.
 - (c) Change $R_1\Omega(t)$ corresponding to $v_1\Omega(t)$.
3. Put a time step from t to $t+1$.
4. R_2 responds to the action of R_1 and changes its own action. As a result, $R_{12}\phi(t+1)$ arisen.
5. By Intra-observation, R_1 gets $R_{12}\phi(t+1)$.
6. If the choice number 2. satisfied, then
 - (a) To modify the modeling error of internal model, define the error function E as bellow.

$$E = (R_{12}\phi(t+1) - v_{12}\phi(vt))^2$$
 - (b) Change the parameter of internal model within the range where the dynamics of coupling nonlinear oscillators are guaranteed normal properties.
7. Back to 2.

図9 擬似的2中心モデル

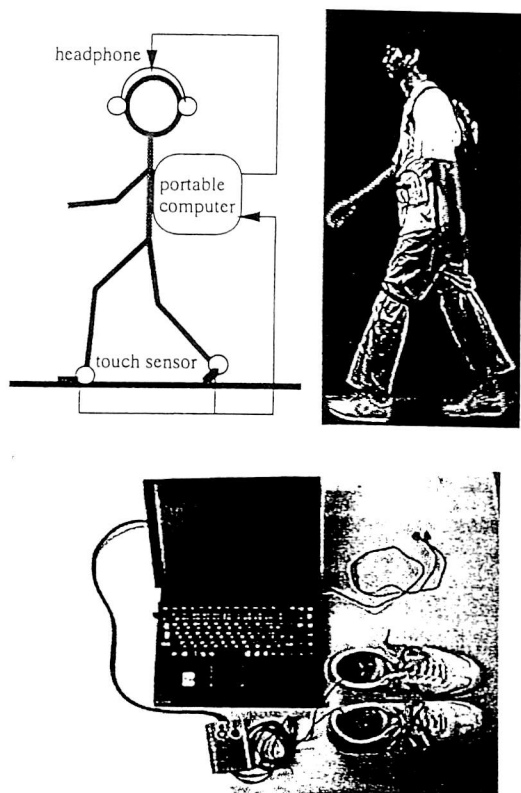


図8 歩行介助ロボット

を再び同時性の領域にもどし、身体的コヒーレンスを生成させる。そして、目標と生成された位相関係との差に基づいて解釈モデルを修正し最初にもどるという手順を経る。

次に、わたしがこの歩行介助ロボットを使用する局面における相互拘束プロセスについて調べることになる。特に、人間(健常者)の片足におもりを装着し左右の歩行パターンを非対称にして、歩行を不安定化した場合に対する歩行介助について調べている。具体的には、人間とロボットの間での歩行の周期を一致させ、位相差を0に接近させることで歩調を合わせることを実現し、さらに、人間の歩行の安定化と非対称性の緩和を目指すことになる。

結果の一例として、図10に歩行運動における周期、位相差、非対称性の時間発展を示す。図中の矢印が人間とロボットの間での相互作用の開始に対応している。ここで注目して欲しいことは、人間とロボットが相互に適応し合うことによって上記の目的を実現していることである。特に、歩行周期においては人間とロボットの各々のオリジナル歩行周期の中間的な周期に収束しており、歩行パターンにおいても人間の非対称性とロボットの対称性の中間的な非対称性になるように人間側の非対称性が緩和されている。これらは2中心モデルの特徴を非常によく表している。つまり、ロボットが人間に合わせる、あるいは、人間がロボットに合わせるという因果的な適応関係ではなく、相互に適応しているからである。このような相互適応プロセスが見られるということは、人間における2中心性とその擬似的表現としてのロボットの間でのダイナミクスの対称性を意味しており、ここで提案した擬似的2中心モデルの妥当性を示すものでもある。さらに、興味深い性質として、このような手法によって、歩行時のゆらぎが減少していることが挙げられる。たとえば、周期や非対称性の時間ゆらぎを相互作用開始の前後で比較してみるとよくわかるだろう。明らかに相互作用開始後の方が安定している。このことは人間とロボットの歩行が相互引き込みによって一体化し、

それに基づいて予測することで、より安定なアトラクターを生成したことに対応している。ここでは、特に力学的な介助をしているわけではなく、歩行に伴う足音のリズムだけで相互作用しており、それだけで人間の歩行を安定化できることは驚くべきことである。なお、比較のために、同条件下で因果的な制御手法である適応制御と同時性に基づく制御手法である相互引き込みを行ってみたが、いずれの場合も上記のような機能を実現できなかった。このことは、内的観測という状況下における2中心モデルに基づく生成的予測の有効性を示している。

さらに、同プロセスにおける人間側の心理的な状態を心拍数ゆらぎの大ききで評価したところ、相互作用開始後の相互拘束プロセスにおいて顕著

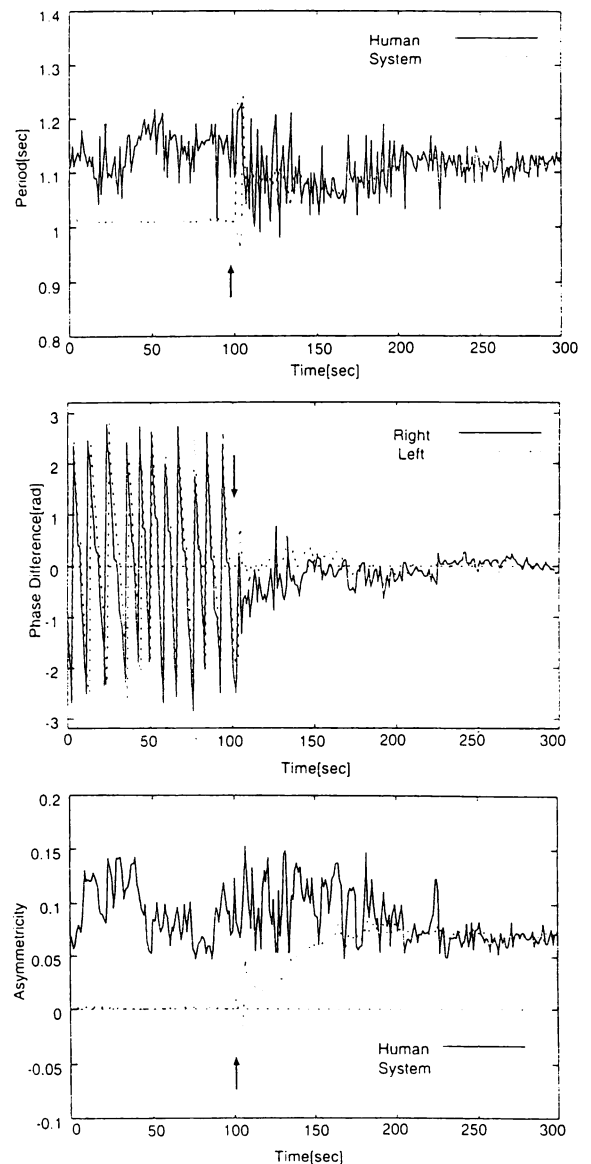


図10 相互適応プロセス

な変化が観察された。このことは人間側の意識生成的はたらきとしての因果性の領域において、何らかの生成的プロセスが生じていることを示唆している。主観的には「時間の流れが変わる」ような体験がなされる。つまり、わたしは、自己表現を通して表現されたわたしとの差異を生じることになり、それがして新たな自己表現へと接続されることになる。このことによって歩行介助ロボットの使用という同時性の領域におけるはたらきは、構成としての因果性の領域のはたらきに再接続されることになり、わたしにおける相互拘束プロセスがループを形成したことになる。これらの結果は、2中心モデルを自己表現的なインターフェースとして生成的に表現できる入口にやっと到達できたことを意味している。

ただし、わたしにとっての自己表現であるインターフェースが、介助を実際に必要とする人々にとって真に有効であるか否かは現段階では不明である。しかし、このようなアプローチの延長上に、世界に参加し責任を担う存在としてわたしを理解し表現できる可能性があり、それは結果としての有効性につながると信じている。そして、これは、わたしのルール生成ルールに依存した問題でもある。現状では、2中心モデルの擬似的表現としての歩行介助ロボットを構成し、それをわたしとロボットの相互作用の内側からわたしが使用することによって、わたしの相互拘束プロセスの内部に入れこ的に2中心モデルを位置づけるという段階に到達できただけである。今後は、これを実際に介助を必要とする人々に使用してもらうことを通

して、わたしにおける自己表現的インターフェースから、われわれにおける自己表現的インターフェースへと開いていきたい。

5. おわりに

「2中心モデル」は、まだまだ研究途上の仮説である。しかし、上記のような具体的アプローチの中で、少しずつではあるがその有効性が示されてきていると考えている。今後とも、このような枠組みの重要性にご理解とご関心をいただければ幸いである。最後に、本研究を進める上で常に討論に加わってくれている博士課程の小川健一朗くん、歩行介助ロボットの構築を進めてくれている修士課程の宮川透くん、田村寧健くんから心から感謝する。

参 考 文 献

- 1) 三宅 位置情報「場」と生命的自律性, 数理科学 No. 394(1996)
- 2) Poeppel MINDWORKS, Harcourt Brace(1988)
- 3) Kobayashi et al. "Quantitative evaluation of infant behavior and mother-infant interaction," Early Development and Parenting, Vol.1, pp.23-31(1992)
- 4) 清水 生命知としての場の論理, 中公新書(1996)
- 5) 三宅 「生命」における設計, 現代思想 Vol.25-7(1997)

(1997年9月17日 受付)

[問い合わせ先]

〒226-8502

横浜市緑区長津田町4259

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・
知能システム科学専攻

三宅 美博

TEL : 045-924-5646 FAX : 045-924-5646

E-mail : miyake@dis.titech.ac.jp

著 者 紹 介

三宅 美博 (みやけ よしひろ)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・知能システム科学専攻

1983年 東京大学薬学部卒、1989年同大学大学院博士課程修了。金沢工業大学情報工学科助手、講師、助教授を経て、1996年より東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。薬学博士。

