

「人間における知能の力学的理解特集号」

解 説

行動から知能への力学的設計論にむけて

中村 仁彦*

1. はじめに

心・技・体の三つがそろわないといい相撲ができないなどといわれる。心と体の結びつきは普通に考えるよりも密接なようである。ロボティクスでは最近、大きな技術的な進歩が見られた。電子回路技術、アクチュエータ、バッテリー、軽量化のための機械加工、制御技術、ソフトウェアなど、さまざまな技術の発展が結びついた結果、ヒューマノイド型のロボットの実現が可能になった。なんとか体の方はできてきたというところである。

ロボットの實用機械としての原点は、放射性物質のハンドリング用のマジックハンドとして第二次世界大戦中にアメリカで開発されたものにある。その後、産業用ロボットとして工場内での溶接や、塗装、組立などに利用されてきた。人工知能の研究用機械としてもう一つのロボットの原点がある。人間の知性を探るという立場から人工知能の研究が始まり、その中で実世界にはたらしかける体としてロボットが必要とされた。SFの中のロボットもこのようなコンテキストで扱われることが多い。ロボティクスにおいて物体や環境の認識から、運動計画、運動制御のための研究はさまざまに行われ、知能の要素技術については多くの成果をあげてきた。しかし、これらの成果の蓄積にもかかわらず、肝心の人間の知性あるいは知能のまわりをぐるぐる回るだけで、ロボットは一向に「知能」をもつような気配がない。これらの個々の要素技術を積み上げれば自然に、知能に手が届くと考えていたところに大きな思考の落とし穴があったのではないだろうか。

身体の力学系と脳神経系が多重階層的、連続的に構造化された複雑系が示す非線形力学系の挙動の中に、人の知能や心の情報処理の本質があると考えられる。このような視点は脳科学、生理学、物理学、哲学、認知心理学、発達心理学などの広い分野において、少なくない研究者たちに共有されている世界観のように思われる。

筆者らは、戦略的基礎研究推進事業「脳を創る」の中の1プロジェクトとして「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」を1998年から2003年までの予定で推進している。脳科学や認知科学の最近の

パラダイムに学んで、直接的に知能のメカニズムを対象として研究に取り組もうというものである。ここでは、知能の本質的な情報処理を連続的な力学系として設計し、ロボットの身体の力学系と統合することが、脳型情報処理機械の設計論であるとの仮説に立って、知能のメカニズムの構築を目指している。

2. 身体（からだ）と知能（こころ）の情報処理の力学的パラダイム

津田 [1] は「カオスの脳観」の中で少数自由度の秩序状態（不完全なアトラクターで完全に安定でないもの）の間を高自由度の乱れた状態を経由しながら渡って移る様子をカオスの遍歴とよび脳の情報処理の原理と指摘した。さらに金子との共著 [2] のなかで、カオスの遍歴は力学系が記号列を生成するプロセスではないかとの論点を示し、カオスとシンボル・論理の関わりを示唆した。カオスの遍歴と見られる現象は流体の乱流や光乱流の挙動の中にも現れるとも述べている。

W. Freeman [3] はウサギの嗅覚神経系（嗅球脳波）について研究し、嗅ぎなれたにおいては神経電位の動的なふるまいの中に秩序が見られ、新しいにおいを嗅ぐ際にはカオスが観測されることを発見した。また、嗅球の神経回路モデルをつくり実験で得たカオス現象を再現することに成功した [4]。Freeman はこのような研究を通じて、カオス現象が「心」のメカニズムではないか論じているが、論理とは異なるとしている [5]。

一方、R. Penrose [6] は非アルゴリズム的な動力学的法則が心の物理学の基礎であると考えている。この力学はニューロンの電気活動よりもずっと小さな世界で働き、神経細胞の中で細胞の骨格を成すたんぱく質でできた微小管がその役割を担っているといわれる。そこでは量子効果による非線形な力学が意識や心の情報処理を行っているという。量子脳理論と呼ばれる説である。量子脳理論は非チューリング・マシンのなつまり非アルゴリズム的な情報処理の源を量子力学の非決定論的側面に求めていると理解されて、批判を受けることがある。Penrose はこれを認めず、Einstein の一般相対性理論によって修正した新しい量子力学、つまり「量子重力論」が脳理論の構築には必要であるとしている。

認知科学の中でも運動や力学に関わる問題が重要であ

* 東京大学 大学院 情報理工学系研究科

Key Words: brain-like information processing, intelligence, behaviour, nonlinear dynamics, humanoid.

る[7]. 力学と脳の情報処理に関して川人ら[8]は, 大脳皮質領野間に双方向結合があるとの解剖学的な知見に基づいて, 人の速い視覚情報処理を説明する双方向性計算理論を立てた. これを小脳の運動制御の神経回路モデルに展開し, 運動の動力学的順・逆モデルをもち運動誤差を計算して利用する順逆緩和型神経回路モデルを提案している. ここでも運動と力学が脳の情報処理の重要な問題であることが主張されている.

N. Bernstein [9]は運動の問題を文脈の問題と自由度の問題に分けた. 前者は筋肉の指令が同じでも現れる運動はその前後の運動によって干渉を受け変化する. この文脈をとられることが必要であるという指摘である. 後者は, 多くの筋肉の自由度を脳が集中的に制御するのは現実的でなく, 筋肉間の干渉構造(協応構造, あるいは synergy)を作り上げて制御する自由度数を抑えている. この協応構造を獲得するのが学習や熟練であるとの考えである. この観点から動的運動の力学を利用した自己組織化の原理が注目されている[11]. このような考え方は, J.J. Gibson [10]のアフォーダンスで有名な生態学的アプローチに結びついている.

哲学者 H. Bergson は「物質と記憶」[12]のなかで視覚的な記憶と運動の筋肉感覚を「運動図式」と呼び, それらを時間の流れの中で統合するのが「動的図式」であるとした. 運動のパターンを身体(物質)の世界に開いてその関係を獲得することが人間の認知活動であるという考えである. 守永はこの図式が言語活動を可能にしていると説明する[13]. つまり, 図式は感覚器から入ってくる情報を記憶に結び付けて, 分節化するために用いられる. この分節化が言語活動の源であるとの説である.

知覚と運動とを統合した記憶とそれによって行われる分節化は, こうして記号や言語, コミュニケーションの問題につながる. C.S. Peirce は記号と対象との関係を三つに分類している[14]. 対象との類似性によって成り立つ「アイコン」, 対象からの触発によって成り立つ「インデックス」, 法則によって対象と関わる「シンボル」である[15]. 運動のパターンの記憶から, それが対象と持つ関係, さらに一般的な法則にまで, 記憶が抽象化していくのが人間の脳の特徴である. T. Deacon はむしろ, コミュニケーションが進化圧となって脳が発達した側面を指摘し, 言語と脳の共進化説を唱えている[16].

大型の類人猿においてミラーニューロンが次々と発見され, 生得的に模倣(ミメシス)の能力を持つことが人間や類人猿の脳の機能的特徴を表していると認められるようになった[17,18]. ミラーニューロンとは他人の動作を観察するとき(受容)と, 自分が同様の動作をするとき(生成)の両方の場合において発火する脳の神経細胞のことである. また, 人間の乳児が生後数十分から母親の模倣を始めることが知られるようになった. 模倣は人間のコミュニケーションの始まりであり, 多くの発達模倣を基礎に築かれていくと考えられている. 言い換え

れば, 模倣がブートストラップとなって, Bergson の動的図式が始まり, 分節化, 記号化, 言語化へとつながると考えられる[19]. 模倣(ミメシス)はロボティクスにおいて, 國吉ら[20]によって learning by watching あるいは teaching by showing として先見的な研究がなされ, 従来から関心をもたれていた研究分野でもある.

このように模倣が運動の受容と生成のまとめ役となり記号化を行い, さらに記号が力学的情報として, 神経系の力学現象の中で身体の感覚情報と一体となって重層的に扱われ, さらに抽象化された形の記号化へと進んでいくのではないかと. 記号は対母親や社会の中でのコミュニケーションに使われ, 記号化を強化するのみならず, メタシンボル化, それに基づいた推論, 類推, 発想につながっているのではないだろうか.

ひるがえって, 機械の「知」の構成論はどのような形になるのだろうか. 膨大な数の人の神経細胞の機能をシミュレートする大規模ニューラルネットを完成させ, それらが生命の発生の経路をたどって上述のように自己組織化されるのを待つというのは, あまりにも気長で, 楽観的過ぎるであろう. ロボティクスで蓄積された運動制御やそれらの計算論などの要素技術を基礎として, 力学情報としての記号を生成する模倣のメカニズム, 身体的な感覚情報と記号の力学情報を統一的に扱う力学的な情報処理これらを, 多重階層的に作り上げていく構成論を構築することで機械の知能にたどりつく道が開けるのではないだろうか. このような観点から, CREST の「脳を創る」の筆者らのプロジェクトでは京都大学, 大阪大学, 埼玉大学, 産業総合技術研究所と共同で, ヒューマノイドの運動制御および計算論, 力学的な情報処理と模倣とその記号化, それを用いた他者行動の理解などの研究をはじめている.

3. ヒューマノイドの力学的脳型情報処理

3.1 力学的情報処理の研究課題

筆者の複雑系への関心は非ホロノミック力学系の研究に始まる. 1自由関節を持つ平面2リンク系という単純な力学系においても非線形性によって周期運動やカオス的な運動を生じること, それを利用することによって巧みな運動ができることを見てきた[21]. また, 2輪の移動ロボットに乱流の運動方程式を組み合わせることで, エルゴード性により滑らかな運動を行いながらも予測が不可能で, 連結し閉じた2次元空間の全体を動き回る性質をもつ, カオスの移動ロボットを実現できることを示した[22].

また, 筆者らはロボットのセンサ処理系とモータ制御系をつなぐ部分(センサリ・モータ・マップ)に非線形力学系を設計する方法をとろうとしてきた[23,24]. センサ処理系とモータ制御系には従来から蓄積されてきた, ビジョンの理論, 腕の制御理論, 指の把握や操りの制御理論, 動的歩行制御理論, 接触や衝突の制御理論などの要

素技術を使うことが重要であると考えてきた。これらの要素技術をプリミティブ（自律行動単位）とよび、荒い粒度のノードとしてネットワークを構成する。このネットワークに非線形力学構造を設計し、カオスや引込みを用いた情報処理を実現したいと考えてきた。

このような観点から以下のような研究課題を上げている。

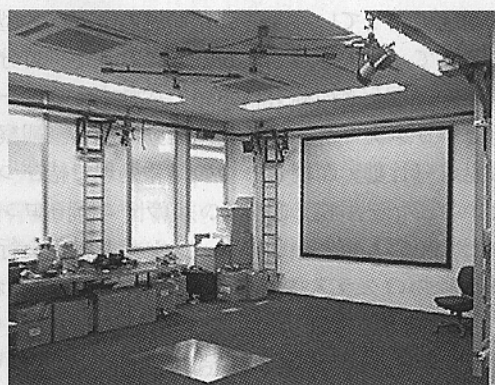
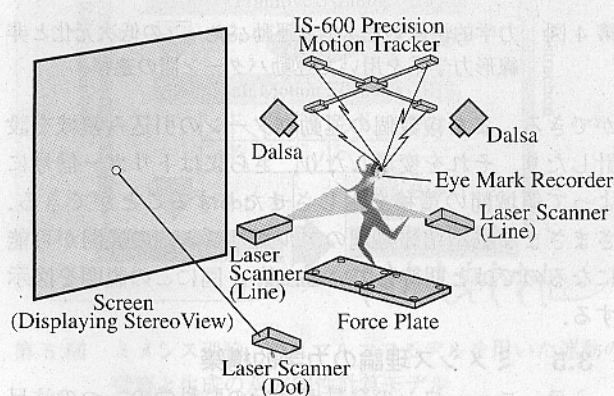
- (1) ヒューマノイドの動作プリミティブの開発
- (2) 実時間アルゴリズムやソフトウェアの開発
- (3) ネットワークの非線形力学系の設計
- (4) ミメシス理論の力学的構築

以下ではこれらの研究の成果の一部を紹介する。

3.2 ヒューマノイドの動作プリミティブの開発

ヒューマノイドのより高度なコントローラ的设计において、人間のデータに基づく設計が重要になる。この考えから、高速度カメラとダイレクトドライブ式のパンチルト機構を用いた光学的モーションキャプチャーシステム [25] とそのデータからの運動再構成計算法の開発 [26] を行った。さらに第 1 図のように床反力計とアイマークレコーダ、無線脳波・筋電計測器、3 次元画像提示を統合した実時間計測環境（ビヘイビアキャプチャースタジオ）を構築した [27]。

ビヘイビアキャプチャースタジオは以下のような研究



第 1 図 ビヘイビアキャプチャースタジオ：光学的モーションキャプチャー、床反力、アイマークレコーダ、無線脳波・筋電計測器を統合した人間の運動と認知情報の実時間計測環境

に用いることができる。

- (1) 人間の動作・認知情報の統合的かつ計時的計測
- (2) ロボットの学習、発達過程の観察と記録
- (3) 内部センサの少ないヒューマノイドの外部センサとしてフィードバック制御に利用
- (4) ヒューマノイドの遠隔操作のためのオブティカルコックピット

これらのいずれもがマルチモーダルな情報の同期計測や実時間計算に関わるため、筆者らはその中心になる光学的モーションキャプチャーシステムの内部へのアクセシビリティを求めて、市販のシステムを利用するのではなく独自開発することとした。

このシステムによって、人間の運動の時空間パターンと力情報、さらに運動のきっかけになる視覚情報などを同時・実時間で計測することができる。人間の運動の時空間パターンに基づいてヒューマノイドの運動を生成することで、人間と共存する状況で人間に違和感のない親和的運動を行わせることができる。将来、運動パターンを通して人間とコミュニケーションを行う問題へもこの環境を有効に利用して、近づくことができると考えられる。

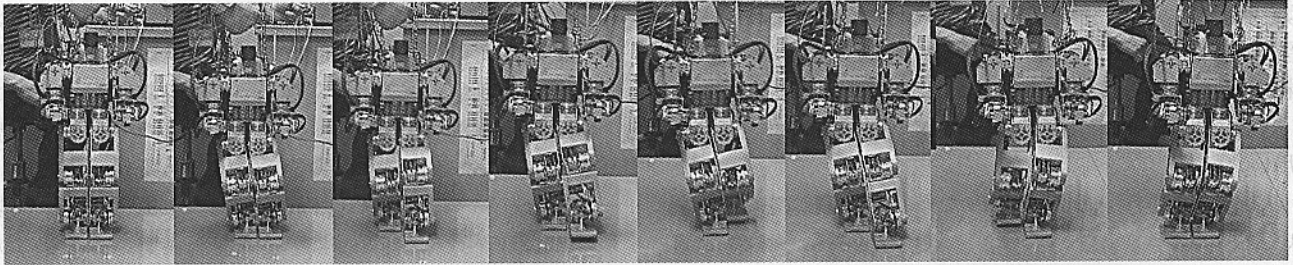
ヒューマノイドの運動パターン生成法や、歩行コントローラ的设计理論を構築して、第 2 図のようにロボット（富士通）に実装して検証を行ってきた [28]。

3.3 実時間アルゴリズムやソフトウェアの開発

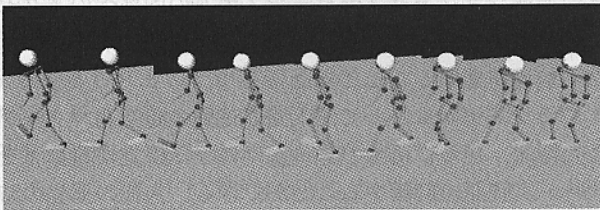
ヒューマノイドのような大自由度系に力学的な情報処理を実装する前提として、運動学や動力学的計算を着実に効率的に行うことが求められる。ヒューマノイドや人間を剛体リンク系として扱い運動学や順・逆動力学を効率的に計算するアルゴリズムとソフトウェアを開発した。このアルゴリズムは運動の途中での任意な拘束の変化を許し、閉リンクになったり開リンクになったりした場合でも同じように計算することができるという特徴を持つ [29,30]。また、順動力学計算を、リンク数 (N) に比例した計算量で行う方法 [32]、さらに並列計算によってこれを $\log(N)$ のオーダーにまで効率化する方法を開発した [33]。

高速の順動力学計算を利用して、動力学的整合性を考えずに与えられた動作パターンを、動力学モデルを用いて動力学的整合性を満たす動作パターンに変換するダイナミックフィルターを提案している [34]。さらに階層的グリッドを用いた最適化法と組み合わせることで、前進歩行、横歩き、匍匐前進などの多様な動作形態から適切な形態を選択しながら、動作パターンを計算する方法の提案もなされている [35]。

第 3 図にダイナミックフィルターによる動作パターン生成の例を示す。これは前進歩行のキャプチャーデータを修正した円周歩行データをダイナミックフィルターによって動力学的に正しい運動に変換したものである。



第2図 ヒューマノイドの運動パターン生成と歩行コントローラ設計



第3図 動力学の整合性を持つ動作パターン生成をおこなうダイナミックフィルター

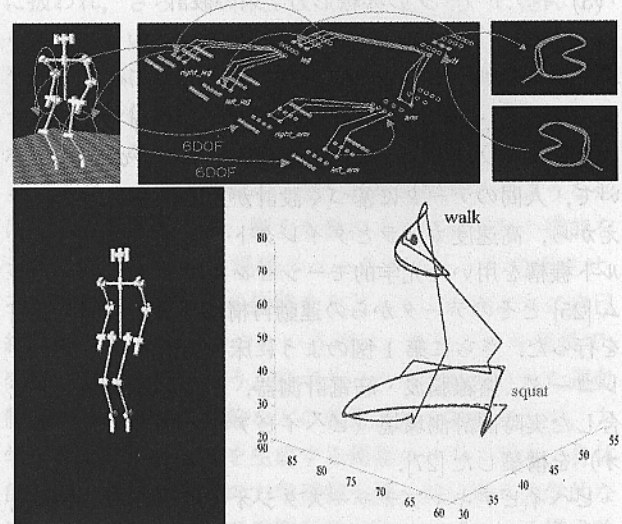
また筆者らは、実時間計算可能な簡易なアルゴリズムで振り付けを行う方法を提案している [36]. これは任意に足や手やその他の体の部位に仮想ピン止めによる拘束を設定したり、一部をインタラクティブにドラッグするインターフェイスによって、全身の大自由度系に協応構造を作り、動作パターン生成問題を操作容易な低自由度系に変換するという方法である. 現在のところ動力学を考えない、運動学的な動作生成であるが、自然な全身動作を比較的容易に生成することができるため、アニメーション制作への応用が始まっている.

3.4 ネットワークの非線形力学系の設計

情報処理として力学系の引込みや、同期、分岐などを利用するために、多様な挙動をもちパラメトリックに挙動を変化させる力学系のモデルとして、カオスの移動ロボット [22] で採用した、Arnold 方程式を用いることを、これまでに検討してきている [37].

最近、人間やヒューマノイドの歩行のような多自由度の全身運動パターンを低次元化して記憶し、再生するニューラルネットワークを設計した [38]. これには主成分解析を等価的に行うことができるといわれる砂時計型ニューラルネットワークを用いている. これを多自由度運動パターンの低次元化と低次元化された動作パターンからの全身運動生成に用いることができると考えている. 前者と後者の機能は、順変換、逆変換の関係にあるとともに、動作の低次元化による抽象化による動作の認識と、その逆変換による動作生成に利用することができそうである. これは次節の話題とも関係がある.

さらに、低次元化された運動パターンの周辺に、引込みなどの力学系を構築する方法として、力学系を多項式で近似する方法を岡田らが提案した [39]. これによれば任意の運動パターンに力学系を近似的に設計すること



第4図 力学的情報処理：全身運動パターンの低次元化と非線形力学系を用いた運動パターン間の遷移

ができる. また複数の運動パターンの引込み領域を設計したり、それを変形したり、さらにはトリガー信号によって領域間の遷移を生じさせたりすることができる. さまざまな脳型情報処理のアルゴリズムへの展開が可能になるのではと期待している. 第4図にこの説明を図示する.

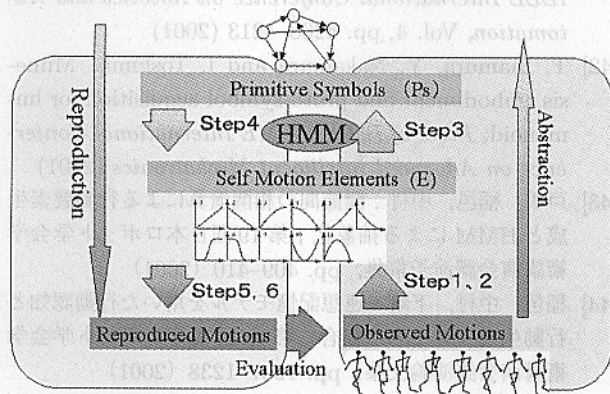
3.5 ミメシス理論の力学的構築

ミラーニューロンの発見が最近の脳科学の一つの注目すべき話題になっている. これは前述のように大型の類人猿において、他人の運動を観察したとき、自分で同様の運動を行うときの両方において活動するニューロンがあるという事実である. これは運動の受容（観察）と運動の生成（行動）が同じ一つの情報処理で結びついているということを示唆している. ミラーニューロンが発見された大型類人猿というのは、シンボル操作を行うといわれる動物のクラスに附合しているように思われる. T.W. Deacon が言語と「脳の共進化」とよんだように、シンボルの操作とそれによるコミュニケーションがわれわれの脳の特徴であることを考えると、ミラーニューロンの情報処理を一つの手がかりにして、ヒューマノイドの脳型情報処理のパラダイムを組み上げることが考えられる.

筆者らの研究室では、ミメシス（模倣）を実現する情

報処理を研究している。参考文献[40]では隠れマルコフモデル(HMM)の離散的力学系を用いて動作シーケンスの獲得、尤度計算、確率的動作生成を行うことを提案した。獲得した動作シーケンスごとのHMMをそれぞれの動作の前記号(proto-symbol)としてとらえることが可能ではないかと考えている。また、他者の動作を観察した際に、獲得済みのどのproto-symbolに近いかを、尤度計算によって決定することは容易である。これは運動の受容の計算と考えられる。また、確率的動作生成はまさに運動の生成であり、一つの離散力学系であるHMMがこれらの双方向の計算を実現していることは、ミラーニューロンと対比することができる。

また、稲呂らは動作生成をHMMの確率的動作生成が自然な動作を高い確率で生成することが実際に困難であることを指摘し、GAと組み合わせて生成動作を計算することを提案した[41]。[43]では連続分布型隠れマルコフモデルを用い、動作プリミティブの獲得についても議論を展開している。さらに、稲呂ら[44]は連想記憶型ニューラルネットワークを用いて、同様の双方向計算を行わせることも並行して研究している。第5図は隠れマルコフモデルによるミメシスの設計法である[40,41]。



第5図 ミメシス理論：隠れマルコフモデルを用いた運動の受容と生成の双方向性計算モデル

4. おわりに

ロボティクスにおいて知能の問題は研究の原点にあったにもかかわらず、その本質に接近することができてこなかった。ヒューマノイドの身体の実現、脳科学の進展、人間行動計測・計算法の発達など、さまざまな科学技術の成果に後押しされて、この問題に近づく時期が来ているように思われる。筆者らのプロジェクトは開始から3年が経過し、ここで報告したような成果を得てきた。残りの期間で、知能と力学的情報処理を結びつける研究を目指したい。これによって「機械が知能をもつか」という問いかけに対する、答えの糸口になれば幸いである。

(2000年10月6日受付)

参考文献

- [1] 津田：カオスの脳観，サイエンス社（1990）
- [2] 金子，津田：複雑系のカオスのシナリオ，朝倉書店（1996）
- [3] W. Freeman and W. Schneider: Changes in spatial patterns of rabbit olfactory EEG with conditioning to odors; *Psychophysiology*, No. 19, pp. 44-56 (1982)
- [4] Y. Yao and W. J. Freeman: Model of biological pattern recognition with spatially chaotic dynamics; *Neural Networks*, No. 3, pp. 153-160 (1990)
- [5] W. J. Freeman: *Societies of Brains: A study in the Neuroscience of Love and Hate*, Lawrence Erlbaum (1995)
- [6] R. Penrose: *The Emperor's New Mind: Concerning computers, minds, and the laws of physics*, Oxford University Press (1989) (林 訳：皇帝の新しい心：コンピュータ・心・物理法則，みすず書房（1994）)
- [7] 川人ほか：岩波講座 認知科学4 運動，岩波書店（1994）
- [8] 川人：脳の計算理論，産業図書（1996）
- [9] N. Bernstein: *The co-ordination and regulation of movements*, Pergamon Press (1967)
- [10] J. J. Gibson: *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin Company (1979) (古崎 他 訳：生態学的視覚論：ヒトの視覚世界を探る，サイエンス社（1985）)
- [11] M. T. Turvey: Coordination; *American Psychologist*, Vol. 45, pp. 938-953 (1990)
- [12] H. Bergson: *Matière et mémoire* (1896) (田島 訳：物質と記憶，ベルクソン全集2，白水社)
- [13] 守永：生命，未知なる同胞 ベルクソンの身体図式論；現代思想，Vol. 29, No. 3, pp. 318-341 (2001)
- [14] C. S. Peirce: *Collected Papers Vol. II. Elements of Logic* (C. Hartshorne and P. Weiss, eds.), Belknap (1978) (パース著作集 第2巻，勁草書房)
- [15] 遠藤：プロセスとシステム パース，ホワイトヘッドのプロセス形而上学から；現代思想；Vol. 29, No. 3, pp. 306-317 (2001)
- [16] T. W. Deacon: *The Symbolic Species: The co-evolution of language and the brain*, W. W. Norton & Company (1997) (金子 訳：ヒトはいかにして人になったか：言語と脳の共進化，新曜社（1999）)
- [17] M. Donald: *Origins of the Modern Mind*, Harvard University Press (1991)
- [18] V. Gallese and A. Goldman: Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading; *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 2, No. 12, pp. 493-501 (1998)
- [19] 小嶋：ミラーニューロンと言語の起源，岩波科学，Vol. 69, No. 4, pp. 404-408 (1999)
- [20] Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue: Learning by watching: Extracting reusable task knowledge from visual observation of human performance; *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 6, pp. 799-822 (1994)
- [21] Y. Nakamura, T. Suzuki and M. Koinuma: Nonlinear behavior and control of a nonholonomic free-joint

- manipulator; *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 13, No. 6, pp. 853-862 (1997)
- [22] 中村, 関口: カオティック移動ロボット; 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 6, pp. 918-926 (1997)
- [23] 中村, 山崎: 反射行動の重ね合わせ理論とその多指ハンドの反射的把握動作への応用; 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 448-459 (1997)
- [24] Y. Nakamura, T. Yamazaki and N. Mizushima: Synthesis, learning and abstraction of skills through parameterized smooth map from sensors to behaviors; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2398-2405 (1999)
- [25] 星野, 山根, 岡田, 中村: 広範囲な計測を実現するトラッキングモーションキャプチャ; 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 '01 講演論文集, 1P1-H4 (2001)
- [26] 栗原, 山根, 中村: 並列計算による光学式モーションキャプチャのリアルタイムラベリング; 第19回日本ロボット学会学術講演会論文集, 2K15, pp. 595-596 (2001)
- [27] 瀬里, 山根, 中村: ビヘイビアキャプチャシステムによる意識行動の同時実時間計測; 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, 1P1-H7 (2001)
- [28] H. Qiang, Y. Nakamura and T. Inamura: Humanoids walk with feedforward dynamic pattern and feedback sensory reflection; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 4, pp. 4220-4225 (2001)
- [29] 中村, 山根, 永嶋: 構造変化に伴うリンク系の動力学計算法とヒューマンフィギュアの運動計算; 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 8, pp. 1152-1159 (1998)
- [30] Y. Nakamura and K. Yamane: Dynamics computation of structure-varying kinematic chains and its application to human figures; *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 2, pp. 124-134 (2000)
- [31] 中村, 山根: 拘束条件が不連続に変化するリンク系の動力学一環境と接触しながら運動するヒューマンフィギュアへの応用; 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 3, pp. 435-443 (2000)
- [32] K. Yamane and Y. Nakamura: O (N) Forward dynamics computation of open kinematic chains based on the principle of virtual work; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 2824-2831 (2001)
- [33] 山根, 中村: O (logN) 並列順動力学計算法とそのヒューマノイドシミュレータへの応用; 第19回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, pp. 1-2, (2001)
- [34] K. Yamane and Y. Nakamura: Dynamic filter - concept and implementation of on-line generator for human figures; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 688-695 (2000)
- [35] Z. Shiller, K. Yamane and Y. Nakamura: Planning motion patterns of human figures using a multi-layered grid and the dynamics filter; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 1-8 (2001)
- [36] 山根, 中村: ヒューマンフィギュアの全身動作生成のための協同構造化インタフェース; 第19回日本ロボット学会学術講演会論文集, 3A33, pp. 1149-1150 (2001)
- [37] A. Sekiguchi and Y. Nakamura: Behavior control of robot using orbits of nonlinear dynamics; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (2001)
- [38] 多谷, 中村: 非線形主成分分析の階層化によるヒューマノイドロボットの運動情報統合モデル; 第19回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, pp. 555-556 (2001)
- [39] 岡田, 中村: N次元時系列パターンを記憶・連想する非線形力学系の多項式表現; 第19回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, pp. 1229-1230 (2001)
- [40] 江崎, 戸嶋, 中村: 自己行動要素による他者の行動理解 (アナロジーによる概念の形成と抽象化); ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2P1-65-109 (2000)
- [41] T. Inamura, Y. Nakamura, H. Ezaki and I. Toshima: Imitation and primitive symbol acquisition of humanoids by the integrated mimesis loop; *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 4, pp. 4208-4213 (2001)
- [42] T. Inamura, Y. Nakamura and I. Toshima: Mimesis embodiment and proto-symbol acquisition for humanoid; *Proc. of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* (2001)
- [43] 戸嶋, 稲邑, 中村: 関節間の相関演算による行動要素生成とHMMによる抽象化; 第19回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, pp. 409-410 (2001)
- [44] 稲邑, 中村, 下崎: 連想記憶モデルを用いた行動認知と行動生成プロセスの統合; 第19回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 1237-1238 (2001)

著者略歴

中村 仁彦 (正会員)



1954年9月22日生。1982年京都大学大学院工学研究科精密機械工学専攻博士課程退学。同年より87年まで同大学助手。1987年より1991年3月までカリフォルニア大学サンタバーバラ校 助教授, 準教授。同年4月より東京大学に勤務。現在, 同大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 教授。ロボットの運動学, 動力学, 制御, および知能の問題, 特に非ホロノミックロボット, 脳型情報処理, ヒューマノイドやCGの運動・力学計算, 外科手術用ロボットなどの研究に従事。工学博士。科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST)「自立行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」の研究代表者。日本ロボット学会, 日本機械学会, 日本コンピュータ外科学会, IEEE, ASMEなどの会員。