

リズムで越える時間の壁 —身体知へのアプローチ—

藤波 努

北陸先端科学技術大学院大学 〒923-1292 石川県能美市旭台 1-1

E-mail: fuji@jaist.ac.jp

あらまし 認知科学や人工知能では、人間の知的な振る舞いを「身体」という視点から研究するアプローチが注目されています。私たちは体験を通して覚える知識を身体知と呼び、スポーツや楽器演奏などを題材として熟練者と初心者の動きの違いを研究しています。身体知を明らかにすることにより、技能の伝達や教授が効果的に行われるようになると期待しています。本講演では、陶芸の土練りやサンバの演奏やダンスなど、これまでに私たちが取り組んできた題材をご紹介します。身体知とは何か、どのようなアプローチが可能なかを議論します。

キーワード 身体知, 認知科学, 人工知能

Living in time, on time, with rhythm —The role of rhythms in skillfull movements—

Tsutomu FUJINAMI

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

1-1 Asahidai, Nouni, Ishikawa, 923-1292 Japan

E-mail: fuji@jaist.ac.jp

Abstract Skill Science is an approach to studying bodily movements of humans which seem to be intelligent. The area of our study includes sports, playing musical instruments, and traditional craftsmanship among others. We are identifying the differences between the experienced and untrained persons in terms of bodily movements through experiments with a hope that our attempt may cast a new light on the nature of human intelligence. We present some results and insights we acquired through our research projects, including studies of kneading in ceramic art and samba dancing.

Keyword Skill Science, Cognitive Science, Artificial Intelligence

1. 身体知の研究に至るまで

1.1. 認知科学はこころをモデル化する

認知科学という学問が一般に知られるようになったのは1980年代からでしょう。認知科学は心理学や言語学、社会科学など様々な学問が関わる学際的分野であるため、それが何かをひとことでは言い表すのは難しいのですが、計算機の出現とその急激な発展がひとつのきっかけとなっていることは確かです。

認知科学が出現する以前に隆盛を誇っていたアプローチとして行動科学、あるいは行動主義が挙げられます。行動主義は人間の「こころ」の中は知り得ないとし、刺激に対する反応を調べ、それら刺激と反応の対を説明する理論（方程式など）を構成することで人間を理解しようとしてきました。

認知科学はこころをブラックボックスとして扱う行動主義に対抗する勢力として現れました。こころの中を扱う手段として注目されたのが計算機です。計算機は複雑な計算を一瞬のうちにおこなうことを可能に

しました。計算機は記号を処理できたため、人間のこころが持つ機能を計算と見なして研究を始めた人たちが現われたと考えられます。

こころのモデルが存在すると仮定し、こころをモデル化することが認知科学の目的といえます。モデルを作成し検証する手段として計算機は最適でした。人間の知能を計算機によってモデル化する学問を人工知能と呼びます。したがって、認知科学の誕生には人工知能が深く関わっているといえます。

ときどき認知科学を心理学と混同する方が見受けられますが、認知科学の始祖は心理学者ではなく、むしろライブニッツやラッセルなど記号論理学の創始者たちでしょう。

1.2. こころを手続きの集合としてモデル化する

計算機を使ってこころをモデル化する試みが始まった頃、最初に行われたのはこころの働きを手続きの集合として記述することでした。アルゴリズムと呼んでもよいでしょう。

当初試みられたのは、定理証明やチェス、機械翻訳などです。これらの研究はほどなく見切りをつけられました。なぜなら思うような結果が得られなかったからです。

初期の研究者たちは人間の知能とそのシミュレーションの可能性に対して楽観的であったと言わざるを得ません。ごく少数の規則によってこころの働きが記述できると信じていたのです。

1.3. こころを知識の集合としてモデル化する

次にこころの働きを知識の集合として記述する試みがありました。こころの働きを少数の規則で記述できないなら、こころの中に蓄えられている（と仮定される）知識をすべて記述すればよいだろうと考えたわけです。そして知識をどのように記述したら人間が持っている知識を適切に記述できるのかが研究されました。数多くの知識表現方法が提案され、いくつかは商用化されてエキスパートシステム構築に利用されました。

エキスパートシステムは 1980 年代半ばに一定の成功を収めました。一方で問題も明らかとなってきました。その一つが知識獲得の問題です。知識獲得とは、専門家からその専門知識を収集し、計算機に入力可能な形式に整理する作業です。この知識獲得の作業が非常に難しいということがすぐに明らかとなりました。

当初、エキスパートシステムを開発する側には、専門家なら自分の知っていることを明快に説明できるはずと信じていた節があります。ところが専門家は自分がやっていることやその理由を明確に説明できないことがある、むしろ説明できないことの方が多いということがわかってきました。

経験の中から培ってきた勘のようなものは言葉では説明しにくいものです。人工知能研究者はこの問題に楽観的に取り組んできましたが、解決策は見いだせていません。

1.4. 言葉で表現できない知識を研究する

知識獲得がボトルネックとなってエキスパートシステムは広く普及するには至りませんでした。一部では今でも人工知能を応用したシステムが稼働していますが、人工知能研究者たちが当初夢想したように人工知能技術が巷にあふれているような社会は実現しませんでした。専門知識を要求される仕事は今でもその大部分を人間が担っています。

人工知能の研究を先に進めるには、言葉で表現できない知識、あるいは言葉では表現しにくい知識をどのように扱うのかという問題を避けて通ることができません。言葉で表現できない知識は「暗黙知」と呼ばれます。身体知の研究は暗黙知研究の一部です。

2. 身体知とは何か

2.1. 身体知は体に埋め込まれた知識である

なぜ人工知能研究で暗黙知が扱えなかったのか。一つの原因として身体が存在を無視したからだと考えられます。

このことは人工知能の設計に当たって環境や状況を無視する態度として現れました。人間の知能は環境や状況に依存せず、常に一定であると仮定されたため、環境や状況の影響は考慮されなかったのです。しかしながら肉体を持った存在としての我々は常に何かしらの環境に埋め込まれ、周りの環境から情報を取り出して生きています。そして状況は常に変化します。

最初にこのことを切実に感じたのはロボット研究者たちでした。ロボットに知的な振る舞いをさせるため、人工知能を組み込むことが試みられましたが、プログラム内で記号として扱われているものを現実世界の実体とどのように対応させたらよいのかということが問題となりました。

記号と現実世界の事物を対応させることに関して、人間は困難を感じませんが、それを計算機で実現することは非常に困難です。記号と現実世界を結ぶものは身体であり、我々の精神世界は身体を通して現実世界と結びつきます。そして精神と現実世界を結びつける身体にも独自の知性が存在すると考えられるのです。

2.2. 身体知は言葉で表現できない

身体は我々の精神と現実世界をつなぐ存在です。身体に独自の知性が存在するという仮定の下に身体知の研究は始まりました。身体知は精神と環境（現実世界）との相互作用から生まれてきます。このことをわかりやすく表現すると、身体知とは体で覚える知識であるといえます。

身体知の例として楽器の演奏やスポーツなどが挙げられますが、これらの技能は言葉では説明しにくいものです。熟練者の巧みな動作を説明しにくい理由として次の三点が上げられます。

- (1) 微細な違いなので気づかない
- (2) 微妙な感覚を伝えられない
- (3) どこがポイントなのかわからない

2.3. 身体知は意識的な練習によって獲得される

身体知は言葉で表現できないため、その獲得にあたっては練習が重要な意味を持ちます。練習にあたって重要なのはその質です。ただ闇雲に練習メニューをこなすだけでは上達は望めません。練習を効率的かつ効果的に行うためには以下の点を配慮する必要があります。

- (1) 学習者が気づきにくい点をデータで示す
- (2) 用具を変えて異なった感覚を体験させる
- (3) 動作の原理を考えさせる

これらの点は前節で挙げた三つの理由と対応しています。第一点は客観的に自分の動作を観察することです。第二点は自分と環境（道具など）との相互作用のパターンを知ることといえます。そして第三点は自分の動作に対する気づきを含みます。異なった視点から自分の動作を観察することによって学習者は技能を獲得していくと考えられます。

3. 熟練者の動作に見られる特徴

3.1. 熟練動作としての菊練り

熟練者の動作に見られる特徴を説明するため、陶芸における菊練りを取り上げます[1]。菊練りとは、荒練り後、ろくろにかけて成形するために土を念入りにこねる動作です。「菊練り」と呼ばれる理由は、土を練る動作によって出来上がる模様にあります（図 3.1 参照）。練り動作によってほぼ均質に整えられた粘土はさらにラグビーボール状にまとめられ、その過程で気泡が取り除かれます。仮に気泡が残ったままだと後工程で窯焼きしたときに気泡が熱により膨張して陶器が割れてしまいます。したがって、菊練りは非常に重要な工程です。

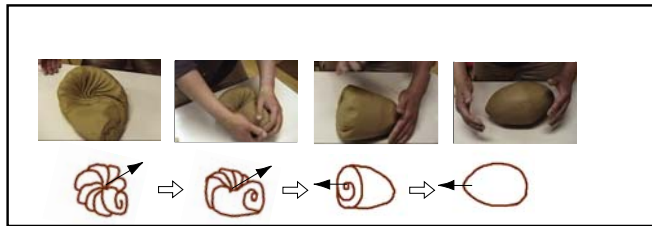


図 3.1 菊練りによる粘土形状の変化

体格にも依りますが、成年男子なら 4kg もの粘土を数分で練り上げることができます。あまり長時間粘土をこね回していると粘土が乾燥するため、できるだけ短時間でこね上げることが理想とされています。真に習得したと言われるレベルに達するには 7 年から 10 年はかかるといわれています。

3.2. 安定した全身運動である

熟練者の動作を調べるため、我々はモーションキャプチャ装置を使って体の動きに関するデータを収集しました。同様の実験を初心者や経験者にも行い、得られたデータを比較しました。図 3.2 は熟練者と、経験者、初心者のそれぞれについて左側からみた動作軌跡をプロットしたものです。

比較の結果、熟練者の動きには次のような特徴があることがわかりました。

- (1) 手の軌跡が一定である
- (2) 腰がほとんど動かない
- (3) 上半身の動きが一定範囲内に収まる

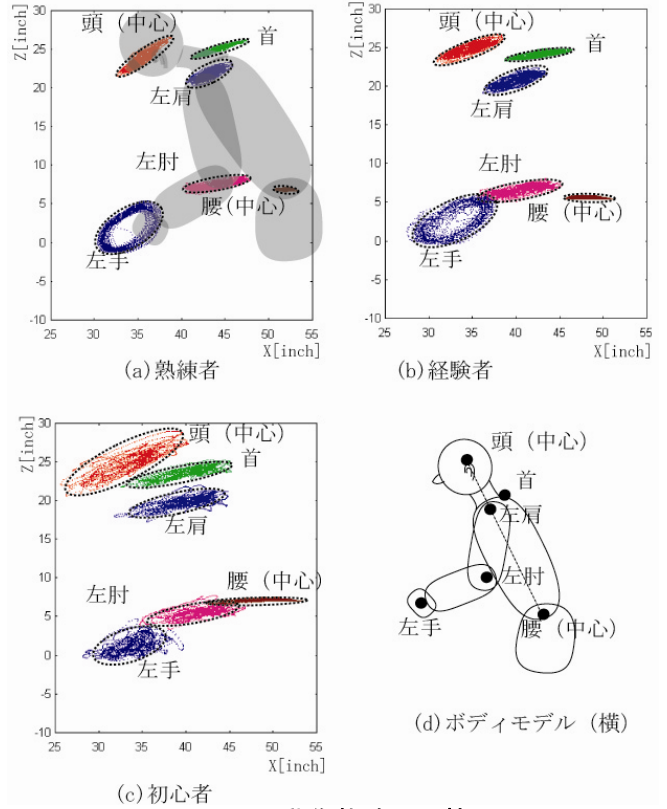


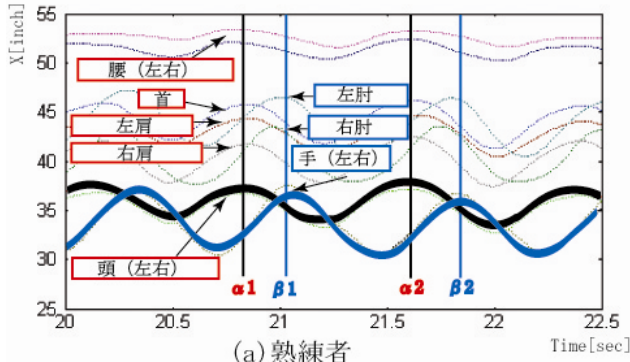
図 3.2 動作軌跡の比較

3.3. 早くて周期性が高い

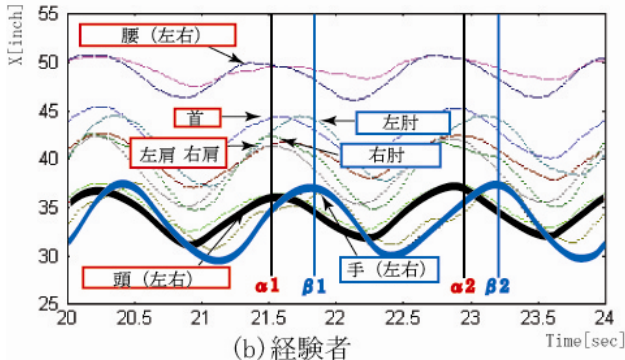
次に時系列データを見てみましょう。図 3.3 は熟練者、経験者、初心者の前後方向の動きを時系列で示したものです。これらのグラフを比較すると、まず熟練者の動作が初心者にくらべて圧倒的に早いことがわかります。図では各グラフの時間尺度が異なるためわかりにくいのですが、紙面上同じ幅に熟練者の場合は 2.5 秒分の動作が、経験者については 4 秒分、また初心者については 8 秒分の動作が表示されています。単純に計算すると、熟練者の動きは初心者よりも 3 倍早いといえます。

また熟練者の動きを初心者のそれと比較すると、初心者よりもくり返し動作の規則性が高いことが観察できます。初心者の場合は波の高さが一定ではありません。つまり前後の動きが安定していません。このことは図 3.2 に示した初心者の軌跡（図 3.2c）からも確認できます。

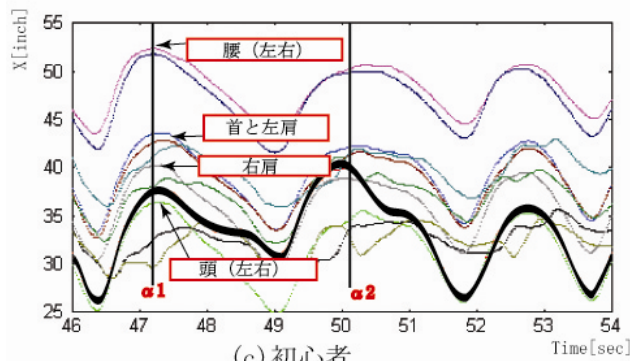
経験者の動作もある程度、周期性が高いことが図 3.3b からわかります。ただし、よく見ると熟練者の動きは大きく二つに分けられることがわかります（図 3.3c）。ひとつは腰や首、肩、頭からなる胴体部分の動き。もうひとつは肘や手からなる腕部分の動きです。これら胴体部分と腕部分の動きには位相差があり、その差は一定です。一方、経験者の場合、位相差は安定していません。



(a) 熟練者



(b) 経験者



(c) 初心者

図 3.3 時系列データの比較

3.4. 複数の動作が協調している

熟練者の動作が大きく二つに分けられ、それらの間に一定の位相差が観察されるということをもどのように解釈したらよいのでしょうか。動作としては、両腕がまだ前方向に動いている間に体幹部が後ろへ下がりがだしている現象として観察できます。この動きに対して、二通りの説明が考えられます。

ひとつは、体幹部をひきながらもなお腕を伸ばして粘土をこねているとする解釈です。もうひとつは、腕がまだ伸びている状態で体幹部は次の動作サイクルに入っているとする解釈です。熟練者の意識の上ではどちらが正しいのかわかりませんが、動作の特徴としてはどちらも同じことを表現しているといえます。

ここで重要なのは、土をこねるという一つの動作が、体幹部の動きと腕部分の動きに分かれ、それらが協調することで効率的な動作を作り出している点です[2]。

4. リズムが洗練された動作を可能にする

4.1. 時間的秩序が空間的秩序に反映される

菊練りという技の本質は何でしょうか？このことを考えるために、今一度、菊練りによってできたパターン（菊の模様）を観察してみましょう（図 4.1 参照）



図 4.1 菊練りによってできたパターン

我々はともするとこの美しい模様を目を奪われてしましますが、この模様は規則的な動作によって生み出された結果であって、模様を作り出すこと自体が目的ではありません。そもそも陶芸家は粘土を均質にすること、また気泡を取り除くことを目的としたのであり、そのために早いスピードで全身の力を込めて粘土をこねたのです。効率を追求した結果、動作の規則性が高まり、その高い規則性が美しい菊の模様として粘土の表面に現れたといえます。

したがって重要なのは体の動きに見られる時間的秩序であり、菊の模様はその時間的秩序の反映であるといえます。このことを我々は陶芸家および九谷焼を指導している教官の方々から学びました。菊練りを練習している学習者の体の動きにリズムができてくると、習得がうまくいっていると判断するとのことでした。

4.2. 協調動作がリズムをつくる

ではここでいう体の動きに見られるリズムとは何でしょうか？その起源はどこにあるのでしょうか。まずリズムとは複数の要素が協調的に働くとき自ずと立ち現れてくるシステム現象であるという点を指摘したいと思います。たとえ複数の要素が並行して働いていたとしても、それらが無秩序に動いている場合、我々はその間に規則性を見出すことができません。要素間になんらかの関係が存在することによりリズムが生まれてくると考えられます。

またリズムは点ではなく連続した現象と捉えるべきです。一般にリズムというと、われわれは周期のピークにのみ着目し、リズムを点で追います。しかしながらリズムをシステム現象と捉えた場合、背後にあるのは複数の周期的な動きであって、それらは連続しており、一瞬の活動ではありません。心臓の鼓動が聞こえるときだけ心臓が動いているとは考えないのと同じ

ことです。

リズムの起源は我々の身体にあると考えられます。左右の足で交互に地面を踏みしめることから2ビートのリズムが生まれ、股関節と骨盤の動きから裏ビートが生まれ、体幹部の上下動から腕が揺れて16ビートを生み出す。サンバの実験から我々が発見したのはステップを踏む能力の重要性でした。ステップが踏めるようにならなければ、シェーカーを振って16ビートのサンバリズムを作り出すことができません。リズムは全身で作出すものであり、安定したリズムは全身の協調動作の結果なのです。

4.3. 動作はリズムで覚える

協調動作がリズムを作り出すことをさらによく考察すると、我々が意識するのは協調動作ではなくリズムの方だと気づきます。個々の動作に我々は気を配ることはできません。なぜなら多数の身体部位が同時に並行して動いているからです。しかも多くの場合、これらの動作はごく短い時間に行われます。仔細に動作を意識することは不可能です。意識しすぎると動作がぎこちなくなることは我々がしばしば体験することです。

では人間はどのようにして特定の動作を習得するのでしょうか。我々はその鍵はリズムにあると考えています。リズムは身体各部位による協調的動作が満たすべき制約を簡潔に表現しています。リズムを意識しつつ練習を重ねることで学習者は適切な身体動作を獲得すると考えられます。学習者は身体各部位がどのように動いているかは知りません。学習者が意識するのは各部位が動くことによって作り出されるリズムです。

身体技能を習得する際、どのようなリズムを心掛けるのかが大きな違いをもたらすと我々は予想しています。リズムは連続する時間を学習者がどのように分節化しているかを示しています。時間を適切に分節化することを学ぶことが身体技能習得の第一歩ではないかと考えられます。

5. リズムは言葉で覚える

5.1. 話し言葉はリズムを持つ

人間がリズムを覚える能力は何に起因しているのでしょうか。我々は人間がリズムをつかむことができるのは、言葉をお話することと関連しているのではないかと推測しています。

言葉をお話するには多くの身体部位が関わります。声帯、舌、横隔膜、肺などを絶妙なタイミングで、しかも素早く動かさないと声は出ません。言葉をお話する動作は人間が日常意識的に行っている動作のうちで最速でしょう。言葉をお話することは協調動作ですから必然的にリズムが存在します。事実、言葉を理解するにはリズムが重要な役割を果たしており、変なリズムで発話

すると聞き手に正しく意図が伝わりません。たとえば「いしゃ（医者）」と「いしや（石屋）」ではまったく違った意味になります。音としてはかなり似ていますが。

人間は日々言葉をお話しているので、言葉を通してリズムに触れていると言えます。人間は言葉のリズムに敏感であり、ごく僅かな違いも聞き分けることができます。

5.2. 動作のリズムは言葉で理解する

人間は言葉のリズムに敏感なので、体を動かすリズムを覚えるとき、言葉を介すると効率がよいと推測しています。このことは経験的に知られており、実践の場では取り入れられている方法です。

たとえばサンバのリズムは16ビートですが、子供にサンバを教える本[3]によるとこれを「シマウマ、シマウマ、シマウマ、シマウマ」と表現しています。ブラジル音楽を専門とする演奏家は同じリズムを”da-zu-zu-da da-zu-zu-da da-zu-zu-da da-zu-zu-da”と「ダズズダ」で表現していました。

ところが、あるブラジル人によるとサンバのリズムは”du-du-r-du du-du-r-du du-du-r-du du-du-r-du”というように「ドゥドゥルドゥ」で覚えた方がよいそうです。なぜなら「ダズズダ」だと母音が’a’から’u’へ、また’u’から’a’へと切り替わるので不連続性がありますが、「ドゥドゥルドゥ」だと母音が常に’u’なので音がとぎれないからだそうです。リズムは点ではなく「うねり」なので音が連続する「ドゥドゥルドゥ」の方が好ましいと考えるそうです。

リズムをどのような台詞に置き換えるかは人によって異なりますが、言葉に変換するという方策は共通しています。

5.3. 言葉のリズムは前向き制御

言葉のリズムは目標とする動作に対して、トリガーになっているのか、それともガイドになっているのか、どちらでしょうか。リズムをトリガーであるとするのは、人間は音を聞いてから体を動かしているという説です。リズムをガイドであるとするのは、人間は音に合うように体を動かすという説です。

どちらが正しいかというと、おそらく後者だと思います。複数の人間が合奏する事を考えてみるとわかります。多数の人間がテンポを合わせて共通のリズムで演奏するとき、個々の演奏者は音楽の流れを予想しつつ演奏しています。

言葉のリズムは協調動作を作り出すガイドラインとなっており、それを目指して運動を制御することで協調的動作が生まれる、つまり言葉のリズムは動作のリズムに先立つのではないかと推測されます。

6. リズムで越える時間の壁

6.1. 「今」の長さは 0.5 秒

我々は時間の連続を意識することはできるでしょうか？脳内の電氣的現象によって我々の意識が発生するとするならば、意識という現象が成立するためには信号が伝わる時間が必要となります。情報を処理する時間も必要でしょう。したがって外界の時間的流れ、あるいは変化を間断なく、同時進行で意識することは不可能といえます。視覚に盲点があるように、我々の時間意識にも「注意盲」とでもいうべき瞬間があると推測されます。

この注意盲はどのくらいの間隔で存在するのでしょうか。人間の時間分解能はどのくらいなのかという問いに直しましょう。Libetによるとそれは 0.5 秒だそうです[4]。どういうことかという、0.5 秒以内に起きた複数の事象を人間は同時に起きたと知覚するという事です。0.5 秒の時間窓で我々の意識が推移していると言い換えてもよいかもしれません。秒間 30 コマで流れる静止画が動画に見えるように、秒間 2 コマで流れる時間枠が連続的な時間という感覚を作り出しているといえます。

0.5 秒が人間にとっての最小時間単位であるというのは驚きです。一分間に 120 拍打つテンポ (120BPM) では一拍が 0.5 秒ですから、音楽でいう一拍が人間にとって意識的に追えるインターバルの限界ということになります。ジャンルでいえば 4 ビートのジャズがこのクラスのテンポとなります。

6.2. サンバのビートは決め打ちで

サンバは 16 ビートの音楽なので、0.5 秒の間に 4 つのビートが存在します (120BPM の場合)。「ドゥドゥルドゥ」ひとつで 0.5 秒経過するわけです。上の理論に従うならば、16 ビートのリズムは人間の時間分解能の限界を超えていることとなります。ではなぜ人間は時間分解能を超えた動作ができるのでしょうか？

おそらく人間は「ドゥドゥルドゥ」の細かいビートを同時進行では意識できていないと思われます。目をつぶってドラムを打っているようなものです。

サンバのような 16 ビートの音楽がなぜ難しいかといえば、意識で追える速度よりも変化が早いからといえます。サンバのリズムを習得したとき、学習者は意識の限界、つまり時間分解能の制限を超えたといえます。そこに至るには時間感覚の飛躍があると推測されます。

6.3. 時間の壁を飛び越える

時間感覚の飛躍とは、動作の主体を意識から身体に明け渡すことではないかと思えます。「考えるんじゃない、感じるんだ」というあの台詞はおそらく同じことを意味していると思われます。

意識が追えないくらい素早く変化する状況のなかで、我々の身体を導くものは何でしょうか？我々はそれこそがリズムであると考えます。思考の乗り物が (記述的) 言語であるように、身体知の乗り物はリズムであろうと思うのです。話し言葉はこれら二つの異なった知のモードをつなぐインタフェースだと考えられます。

7. リズムで迫る身体知の謎

冒頭で人工知能の研究を先に進めるには暗黙知、すなわち言葉で表現できない知識をどのように扱うのかという問題に取り組みなければならないと述べました。リズムを鍵として人間の洗練された体の動きを研究することは暗黙知の研究を一步進めるものであると我々は確信しています。

将来的には脳の活動状態を測定することで、動作制御に関わる人間の情報処理を調査する必要があると思えます。脳機能に関する研究は特定タスクを遂行しているときに脳のどの部分が活性化しているかという分析に陥りがちですが、タスクの分析はより緻密に為されるべきと考えます。脳と身体の働きを同時に研究することにより、より全体的な人間理解に至ることでしょう。

脳から始めるか、身体動作の研究から始めるかは戦略の違いといえます。身体動作の研究は我々が未だ気づいていない人間の能力を明らかにする可能性があり、手順としてはそのような発見の後、その能力の源泉を脳内に探すということになります。

謝辞

本稿で紹介した研究成果やアイデアは私ひとりのものではなく、共同研究者や学生諸氏との協働作業から生まれてきたものです。山本知幸氏 (北陸先端科学技術大学院大学) を始めとする研究協力者の皆様に感謝します。

文 献

- [1] Mamiko Abe, Tomoyuki Yamamoto, Tsutomu Fujinami: "A Dynamical Analysis of Kneading Using a Motion Capture Device", Third International Workshop on Epigenetic Robotics, pp.41-48, (August 2003)
- [2] Tomoyuki Yamamoto, Tsutomu Fujinami: "Synchronisation and Differentiation: Two stages of Coordinative Structure", Fourth International Workshop on Epigenetic Robotics, pp.97-104 (August 2004)
- [3] 渡辺亮, 飯田茂樹: レッツ・プレイ・サンバ, 音楽之友社(1998)
- [4] Benjamin Libet: "The Timing of Mental Events: Libet's Experimental Findings and Their Implications", Consciousness and Cognition, 11, p.291-299 (2002)