

身体知研究の情報処理技術 及び産業との関連

Embodied Knowledge Analyzed through Information Technology
and Its Relevance with Industry

藤波 努

Abstract

身体知は人が長期にわたる探究と訓練を経て獲得する経験的知識であり、技能という形で認められることが多い。身体知を言葉で伝えるのは困難であるが、これは細々としたことが多々含まれていたり、個人の特性により微調整が行われたりすることに由来する。本論では身体知を四つのレベルに分け、各種技能をそれらに対応付けることで身体知の構造を概説する。またデータ収集と分析の仕方を中心に研究上の留意点についても述べる。

キーワード：身体知、技能、技能獲得支援、熟練、演奏、スポーツ

1. 技能の位置付け

技能は常人には容易にまねできない巧みな動きとして観察される。音楽家の楽器演奏、陶芸家による土練りなどがその例である。これらの動きは原理・原則を理解したからといってすぐにできるものではなく、長年の修練を経てようやく習得される。時間が掛かるのは言葉で説明し切れないほど細々としたことが多々あったり、個人の特性により微調整が必要になったりする事情による。

長らく技能は情報技術と縁がなかった。技能を要する仕事は肉体労働の印象が強く、相対的に賃金が安いこともあって情報化の対象とならなかった。センサや計算機を導入して技能獲得支援システムを構築するよりも、人を雇って育てる方が安上がりだった。情報技術への投資に見合う効果が得られるようになったのは退職者の増加に伴い熟練工が減ったこと、若い人が肉体労働を避けるようになったことによる。人材の供給が減ったことで技能者の価値が高まり、情報技術を適用することが意味を持つようになった。

利益が出るかどうかを情報化の基準とするなら、技能研究の応用先はいまだ限られている。その原因は応用システムの開発に要する労力が大きいからであろう。身体

知研究は発展途上にあり、統一的な開発手法は存在しないし、アルゴリズムやライブラリも未整備である。分析手法に興味のある者が手軽に参照できるデータセットも限られている。成果が十分に共有されておらず教科書も少ない現状では一気に研究が盛んになる可能性は低い。しかしながら近年の技術革新と社会情勢の変化を見ると、近い将来、身体知研究が役立つものと予期される。

日本では人口減が問題視されている。消費者も労働者も減り、国力が低下するとの懸念があるが、実際のところどうだろうか。同じように人口が頭打ちであった江戸時代を見るとそのときに文化が華開いている。単純化し言うならこの時期、「できるだけ物を使わないで質を上げる」ことに注力していた。乱暴に経済活動として捉えると芸術や工芸は同じ材料を使って高く売れるものを作ることであり、全く材料を使わない究極のものが介護や教育などの人的サービスであろう。これから伸びる産業はその辺りにある。

高品質の製品や質の高いサービスが利益の源泉となる時代になれば、その知識を蓄積・共有し、改善や創造に役立てることが重視される。センサやクラウドなど近年隆盛しつつある技術は知識を安価に蓄積し共有する仕組みを提供するだろう。ニーズとシーズが適合するときに遠からず到来する。身体知研究をそのように位置付けた上で、この解説では身体知を次のように解題する。まず技能の階層性に触れ (2.)、それぞれの階層 (レベル) について概説する。順に、平衡感覚 (3.)、四肢の連係 (4.)、狙いを定める (5.)、即応性 (6.) について触れ

藤波 努 北陸先端科学技術大学院大学ヒューマンライフデザイン領域
E-mail fuji@jaist.ac.jp
Tsutomu FUJINAMI, Nonmember (Human Life Design Field, Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi-shi, 923-1292 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.100 No.4 pp.306-311 2017年4月
©電子情報通信学会 2017

る。最後に今後の展望を俯瞰して本稿を締めくくる。

2. 技能の階層

Bernstein⁽¹⁾は人の動きの巧みさを4階層に整理した。頂点に位置するのは会話などを行うコミュニケーション能力である。会話は言葉によって成立するので、なぜここでコミュニケーションが出てくるのか不思議に思われるかもしれない。しかし会話では言葉以外に視線を合わせたり、相手の言ったことにうなずいたり、というようにいろいろな身体動作が伴う。これらの身体的要素は意思疎通を成立させる基盤を成す。例えば電話で話すとき、相手の顔が見えないので自分の言ったことが通じたかどうか確信が持てないといったことを体験したことはないだろうか。我々は無意識に相手の表情や振舞いから話を通じたかどうか確認しようとする。言語外情報なしにコミュニケーションは成立し得ない。

ジェスチャを伴ったコミュニケーションができるのは、腕や肘を任意の場所へ動かせるからである。例えば指さし動作一つ取ってみても、もし腕を一定の位置に保持できなかつたら不可能である。会話に頻出する「あれ」や「これ」が何を意味するかは指で差し示すはかないが、そのような見慣れた動作にも技能とみなせるものが含まれている。指さし動作は自然に発生するものではない。不自然な姿勢を一定期間保つには意図と努力がいる。

姿勢を保つことの基盤となるのが平衡感覚である。地面に対して垂直に立つには練習がいる。平衡感覚がなければまっすぐ歩くこともできない。歩くという動作も練習によって可能となる技能である。左右の足を交互に出すということを繰り返しながら、毎回微妙にずれる中心軸を修正するのは高度な動きである。テレビで見るロボットの歩行がどことなく不自然に感じられるのは毎回同じように足を出すからであり、揺らぐこともない。適当に足を踏み出し、途中でうまく補正していくといった芸当が今のところ機械にはできない。

平衡感覚から歩行、指さし動作、ジェスチャまで幅広く技能と捉えるのはそのような階層に基づいて技能を体系化したいからである。例えば平衡感覚を鍛えることでプールへの飛び込み（水泳競技）や綱渡りの技、無重力状態でバランスを取りながら動き回る宇宙飛行士の技が一つの範ちゅうにまとめられる。歩行が四肢を連係させる動きであると抽象化すると、そこに多くの繰返し運動が入る。サンバの演奏や土練り動作には周期性があるのでこの範ちゅうに属する。指さし動作を目的に向かって体を制御することと抽象化すると、的に向かってボールを投げる技が同じ範ちゅうに入ってくる。技能を幾つかの範ちゅうに分けると、同じようなものが一つにまとめられ、技能の全体像が見えてくる。

視点を変えるとこの階層は進化の段階とも符合する。水中を直進する魚、四足歩行する両生類、二足歩行することで遠くまで見渡せるようになった類人猿、社会性に富む人類というように、生物は複雑なことができるようになってきた。各能力はその前の段階の能力を包み込むように出現しており、我々人間は魚のように左右を感知できるし、とかげのように四つ足ではいずり回ることもできる。進化と発達に分けて考えるべきだが幼児が大人になるまでの発達過程と似ている。身体知は生物進化や人間の成長の延長線上に位置するものであり、進化論や発達論は身体知研究の基盤を成すものと考えている。

技能の階層性は状況を制御しようとしてきた生物の進化を反映している。海中を漂うだけであった生き物が脊椎を持つことで意図した方向に向かえるようになった。手足が生えたことで地面に穴を掘って隠れたり、ほかの生き物を捕食しやすくなった。先のことが予測できるようになったことで遠くからでも的を狙えるようになった。更に他者の心が理解できるようになったことで集団行動が取れるようになった。人間は同様の過程を経て成長する。平衡感覚を身に付けることで一次元の座標が身に付く。手足が連係することで座標が三次元に広がる。事態の推移が読み取れることで、時間の次元が加わる。後に現れるものが前のものを包含する形で発展していく。以降の章では、平衡感覚、四肢の連係、狙いを定める、即応性といった章題を付けることでこれらの段階を表している。

3. 平衡感覚

平衡感覚は前に進むために必要であるが、身体的には左右の区別が付く体（左右対称）になったことが発端であろう。前に進むから左右の区別が生まれた。くらげやアメーバーは液中を漂うだけなので「前に」進むということがない。中心から遠いか近いかという距離のみが存在する。そう考えると平衡感覚以前に流体感覚なるものがありそうだが、ここでは脊椎動物以降を考えることとし、流体感覚は考察から除外する。

巧みな平衡感覚はどのような動きに見られるだろうか。綱渡りは分かりやすい例だが、これには歩行が加わるので純粹に平衡感覚のみの技とはいえない。ただ何もせず立つだけでも多くの筋肉が関与し、動きとしては高度なのだが、一般的には立つだけでは技とみなされない。もう少し工夫が入ったものとして筆者らが実施した実験を紹介する。

被験者はWii-Fit バランスボードの上に立つ（図1）。周囲に立つ助手が不規則に被験者を押す。予期しない外乱が与えられたとき、被験者のバランスがどの程度乱されるのか（あるいは保たれるのか）を調べた⁽²⁾。被験者数が少ないものの、バランス保持能力には個人差がある

ことを認めた。(この実験はパーキンソン病患者の平衡感覚を調べることを意図して設計したものである。)

もう少し興味深い仕事として、和田ら⁽³⁾は2台のフォースプレートを用い、左右の足それぞれから掛かる重みを独立に測って平衡感覚の個人差を見いだしている。被験者らは各種スポーツ選手であったが普段行っている競技によってバランスの取り方に違いが見いだされた。弓道選手は速やかにバランスを回復していた。一方、バスケットボール選手は緩やかに回復していた。この結果について和田らは、素早い動きを求められるスポーツをしている人は、どのような状況にも対応できるよう重心を落とした状態を保持するよう習慣付けられているからではないかと推察している。

和田らの発見に刺激され、筆者は2台のWii-Fitバランスボードを用いて同様の実験を試みた。筆者は10年以上太極拳をやっているので、普段どおりに立った状態、それから比較のために「起勢」という太極拳特有の、腰を落とした姿勢で立った状態の二通りでデータを収集した。結果は和田らの報告に沿うもので、通常の立位ではすぐにバランスが戻るが、起勢ではゆっくりと時間を掛けて戻ることが分かった。

平衡感覚については重心が安定していること、外乱によって倒されにくいことが巧みさの表れであろう。ただしゆっくりとバランスが回復する方が巧みなのかというところとも言い切れない。パーキンソン病患者のデータを同様の手法で解析したところ、症状が重いほどバランスが回復するのに時間が掛かっていることを見いだした。したがってゆっくりとバランスが回復しているとき、それが意図的に制御された結果なのか、それとも制御が困難だから回復に時間が掛かっているのかを見極めなければならない。実験していないが、外から被験者のバランスを崩す実験ではパーキンソン病患者の方がバランス回復に時間が掛かると予測する。

ほかに例としては電車に乗るときつり革を握らないこ

とが挙げられる。筆者は普段それを実践しているのだが、何も握らずに立っていると同行者に驚かれる。某サッカー選手はバランスボールの上に正座できるらしい。ヨガなどで片足立ちしながら複雑なポーズ取るのも技だろう。もう少し動きのあるものとして楽器演奏がある。研究室の学生に琴の名手がいるのだが、彼女が弦を弾くときの体幹部の傾きと重心揺動を同時に測ったところ、バランスを保ったまま腰から上だけを折り曲げて(上体を前傾させて)演奏していることが分かった。こういうことも優れた平衡感覚のなせる技であろう。

4. 四肢の連係

赤ちゃんは生後3か月ほどたった頃から手足をばたつかせる。この運動にも規則性があることが知られている⁽⁴⁾。規則性が高まり制御が効くようになると、ハイハイなどの移動動作につながっていく。人間はその後すぐに立ち上がって二足歩行を始めるので四足歩行の熟練者を見掛けることはないが、馬など四つ足で移動する動物は四肢の連係を高めることで異なった連係モードを身に付け、歩いたり走ったり様々な動きができるようになる。

人が立った状態で両腕を使って行う動作はこの範ちゅうに含まれる。例としてくわで地面を耕したり、きねで餅をついたり、鎌で砂糖きびを切ったりする動作が挙げられる。筆者らが調べたことでは陶芸の土練り動作(図2)やシェーカーによるサンバ演奏(図3)、サンバのリズムに合わせたダンスなどがこの範ちゅうに属する。できるだけ疲れないで同じことを繰り返し行うことがこれらの技に共通する点である。効率の追究と言い換えてもよい。

陶芸の土練りでは熟練者は初心者の3倍の早さで土を練る。長く触れていると手の熱で粘土が乾燥するので早



図1 Wii-Fit バランスボードの上に立つ筆者 予期できないタイミングで周囲から押される実験の様子。



図2 土練りの様子 重たく堅い粘土を手早く練らなければならない。



図3 シェーカーを用いたサンバ演奏の実験風景 10年以上前なので装置は有線式だった。

く作業を終えた方がよいという事情も関係するが、短い時間で作業を終えた方が疲れにくいことも重要だろう。サンバについて言えば、元々カーニバルなど狂騒の場で延々と、時には数日にわたって踊り演奏し続けるものなので、長く楽しむために自然と無駄のない動きへと導かれていったのではないと思われる。

スポーツではパワーやスピードが第一目的なので速く走ることや高く飛ぶことが関心事である。ゆえに効率は二次的になるが、効率的な動きがパワーやスピードを生み出すという関係にあるので、調べていくと結局のところ達人がいかに無駄のない動きをしているのかを知ることとなる。しかし生活に近いもの、例えば労働や踊りでは結果の質よりも実践上の効率が優先されることがある。この場合、効率追求は疲れにくさをもたらしたり、事故の軽減につながったりする。

筆者らが関わった例でいうとスーパーの肉切り部門で肉を切り、パックに入れる作業を調べたことがある。当初、肉切り作業は切った肉をおいしそうに見せたり、切れた面がきれいだったりすることが重要なのだろうと考え、そのコツを探ったのだが、話を聞いたところ見た目の美しさは適度に追究すればよく、むしろ重要なのは長時間作業できることであった。肉切りは重労働で毎日長時間行う。疲れがたまると事故を起こしやすくなるし、体調を崩して休んだりすると同僚に迷惑が掛かるので、腰を痛めにくい楽な方法を習得することが重視されていた。

スポーツ選手や演奏家の華麗な技芸に我々は魅了されるが、効率を度外視して結果を追究することで体の故障を招くことが少なからずある。至芸と職人技は分けて捉えた方がよいと思われるが、労力を節約することで至芸を見せる余裕が生まれる側面もあるので、そこは段階的に捉えた方がよいのかもしれない。芸術と労働の違いとも言えるが、身体知研究の応用を考えるとときに重要に

なってくることである。言わば芸術家の育成に寄与するのか、労働者の負荷軽減に寄与するのかの選択である。

「これを使えばあなたも1日でイラストレータに」といった支援システムを開発したら趣味で絵を描きたい人たちを引き付けられる。人口減少社会で文化がらん熟するとき、趣味に役立つ研究は有望である。労働者の負荷軽減を目指す研究も視点を変えて健康や美容に応用すれば大きな市場がありそうである。どちらの方向性も有望だろう。

5. 狙いを定める

赤ちゃんは生後9か月を過ぎた頃から指さし動作を始める⁽⁵⁾。標的を意識することは自己とそれ以外(他者)が区別できることを意味する。子供の指さしや自意識の発達との関係については多々文献があるのでここでは触れない。日常生活では手を伸ばして物に触れたりつかんだりすることが典型例であり、技芸との関係ではゴルフのスイングや野球のピッチングなどがこの範ちゅうに入る。三味線の糸をばちで打つ動作、和太鼓演奏などは音楽からの例である。これらの動作の難しさは柔軟性と正確さを両立させなければならないことにある。

柔軟とはどういうことであろうか。それを説明するにはスイングやピッチングのコツについて言われる「緩める」とか「リラックス」といった助言に触れなければならない。これらは脱力を意味するのではなく、特定の筋肉に頼らないことを示唆する。例えば球を投げるとき腕の力だけではスピードが出ない。全身を使って投げると威力が増すということである。

全身といっても全ての部位が同時に動くわけではなく、足元から膝、股関節、腰、背中、肩甲骨、肩、肘、手首、指先と順番に間髪入れず動いていく。足元から指先まで僅かな時間差の動作が矢継ぎ早に実行されることで最大のパワーが発揮される。それを外から見るとこれが柔らかい、しなやかな動きに見える。しかし多くの部位が関与するので制御が難しく、毎回同じことを正確に繰り返すことはできない。上に述べた順番で体の各部位が動いていくことを自覚しようとするとスピードが緩むので、勘で動かなければならない。理解して変えられるものではなく、勘を頼りに少しずつ調整していくほかない。情報技術が適用できれば恩恵は多々あるが、瞬時に行われる微妙な調整を捉えるのはなかなか難しい。

例えば和太鼓演奏に見られる柔らかさを捉えるため、ハイスピードカメラを使ったことがある。筋肉を緊張させてわざと力強く太鼓を打ったとき、緩めて楽に打ったときには打撃直後の腕の筋肉の波打ち具合が異なることを見いだした。力が入っていると表面を走る衝撃波はすぐに消えるが、緩めたときは細かい筋肉が何度も伸び縮みしてゆっくりと収まっていった。(1秒当り2,000



図4 加速度センサアレーを使って腕の柔軟性を調べるところ

フレーム程度の速度で撮影して確認した.)

そこで、皮膚の表面に小さなマーカを複数貼り、画像認識でそれらの動きを捉えることで柔らかさをデータ化しようとしたがうまくいかなかった。時間解像度が1,500 Hzの小さな加速センサをアレー状に並べて腕に貼り、各センサが検出した振動の傾向から筋肉の波打ち具合を捉えようとしたがこれも難しかった⁽⁶⁾ (図4)。

細かな筋肉が次々と緊張・収縮していく様を捉えるのは難しい。現行のモーションキャプチャ装置の時間解像度はおおよそ200 Hz、つまり1秒間に200フレーム程度なので、0.1秒で終わる動作では20コマ分しかデータが取れない。せめて10倍の精度が欲しいところである。それには適切なセンサが開発されるのを待つほかない。現時点では研究しにくい現象である。

6. 即 応 性

以前、母親に対する赤ちゃんの反応を調べる実験をテレビで見たことがある⁽⁷⁾。母親が(研究者の指示により)無表情のまま赤ちゃんに接している。赤ちゃんは何度も笑い掛けるなどして表情を崩そうとするのだが母親は無表情のままである。そのうち赤ちゃんが泣き出してしまった。自分が働き掛けたら相手からすぐに反応があることが安心感を生むのであろう。会話でも3秒以上無言が続くと相手が違和感を感じ始めるとの報告もある。二人の人間が相対するときは相手からの働き掛けに即応することが重要である。

我々の社会の成り立ちを想像すると、力の弱い人間が獣を狩るには多数の者が力を合わせて活動するほかなかった。狩りが集団行動の始まりだったとしたらチームワークが一瞬たりとも乱れないことが重要だったはずである。互いに表情や気配を読み合い、どう動くか判断し



図5 小形ロボットTelenoidを使った演習風景

ていたのではないだろうか。アフリカのある部族は戦闘前に一緒に歌うが、そこで合唱が乱れると戦闘を中止するという話を読んだことがある⁽⁸⁾。

チームワークの優劣がものを言うのは、サッカーなどチーム対戦型のスポーツであろう。なぜ選手がパスをちょうどよいところに出せるのか。普段の練習の成果であることは言うまでもないが、ゴールに走り込む選手の動きを先読みしてちょうどよいところにボールを出せる。仲間が次に何をやるのか知っているという点で、ここには予測も含まれている。相手が思ったように動いてくれることで一体感が生まれる。

気持ちが通じ合ったと感じるのは、自分が期待したように相手が動き、自分も相手が期待したように動いているときではないだろうか。筆者がこの問題に取り組み出したのは認知症高齢者と小学生がロボットを介してコミュニケーションする実験に関わったのがきっかけである⁽⁹⁾ (図5)。ロボットを使うことで言葉が話せない高齢者でも子供とコミュニケーションできるのではないかと期待した。研究を進めるうちに、通じ合ったという感覚がどこから来るのだろうかと考えるようになった⁽¹⁰⁾。限られた誌面なので詳しい説明は割愛するが、重心揺動や微細な動きが(ロボットも含めて)参加者間で響き合ったら心が通った印象を受けるのではないかと考えている。

7. ま と め

本稿では人の技能を分類し、その階層構造を説明した。様々なセンサや分析手法が存在するが、闇雲にデータを取り、片端から分析しても良い結果は得られない。研究対象がどのような性質を持つものなのか知った上で適切なアプローチを考える必要がある。

センサや装置にはそれぞれ特性があり、利点を活かして計測しなければならない。例えばモーションキャプ

チャ装置は三次元空間内の腕の位置を調べるには適切であるが、微細な体の揺れを捉えられるほどの精度がない。そういった目的のためにはフォースプレートやWii-Fit バランスボードが適している。

こういったことはやってみなければ分からないことであって、筆者らも多々失敗を繰り返してきた。10年以上、手当たり次第にデータを取って分析して失敗して、ようやく見えてきた身体知の地平が上に述べたものである。なお計測装置の設計や実装、データ分析の実際については雑誌 Interface 2016年9月号⁽¹¹⁾をお薦めする。アルゴリズムや分析手法など参考になることが多々書かれており有益である。

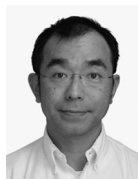
研究会としては身体知研究会⁽¹²⁾（人工知能学会第二種研究会）を組織しているので、興味のある方は是非御参加頂きたい。手軽に使える測定装置が増えてきた今、身体知研究がより盛んになることを願って、データを整理して公開したり、いろいろな分析手法が試せるソフトウェアを提供するなどして、多くの人がこの分野の研究に参入できるようにしたいと考えている。本稿をきっかけに身体知研究に興味を持って頂けたら幸いである。

文 献

- (1) ニコライ・アレクサンドロヴィッチ・ベルンシュタイン, デクステリティ巧みさとその発達, 工藤和俊, 佐々木正人(訳), 金子書房, 2003.
- (2) W. Buated, P. Lolekha, S. Hidaka, and T. Fujinami, "Impact of cognitive loading on postural control in Parkinson's disease with freezing of gait," *Gerontology and Geriatric Medicine*, vol. 2, pp. 1-8, 2016.

- (3) 和田孝雄, 生体のゆらぎとリズム, 赤池弘次(監修), 講談社, 1997.
- (4) N. Kanemaru, H. Watanabe, and G. Taga, "Increasing selectivity of interlimb coordination during spontaneous movements in 2- to 4-month-old infants," *Experimental Brain Research*, vol. 218, no. 1, pp. 49-61, 2012.
- (5) 常田美穂, 陳 省仁, "乳幼児期の共同注意の発達: ダイナミックシステムズ論的アプローチ," 北海道大学大学院教育学研究科紀要, vol. 84, pp. 287-307, 2001.
- (6) 大川 拓, 山本知幸, 松村耕平, "加速度センサアレイを用いた打撃動作スキルの解析," 第29回バイオメカニズム学術講演会, pp. 7-10, 2008.
- (7) Dr. Edward Tronick, Still Face Experiment, <https://www.youtube.com/watch?v=apzXGEbZht0>
- (8) 小泉文夫, 人はなぜ歌をうたうのか, 学習研究社, 2003.
- (9) R. Yamazaki, S. Nishio, K. Ogawa, K. Matsumura, T. Minato, H. Ishiguro, T. Fujinami, and M. Nishikawa, "Promoting socialization of schoolchildren using a teleoperated android: An interaction study," *International Journal of Humanoid Robotics (IJHR)*, vol. 10, no. 1, pp. 1-25, 2013.
- (10) T. Fujinami, S. Hidaka, and N. Kashyap, "Evaluating presence based on balance," *International Symposium on Performance Science*, p. 129, 2015.
- (11) 特集 "スポーツに健康に! ウェアラブル人間センサ入門," *Interface*, CQ 出版社, Sept. 2016, http://cc.cqpub.co.jp/lib/system/doclib_item/1127
- (12) 身体知研究会, <http://www.jaist.ac.jp/ks/skl/index.html>

(平成 28 年 11 月 6 日受付 平成 28 年 12 月 1 日最終受付)



ふじなみ つとむ
藤波 努

1986 早大・文・哲学卒。1996 エディンバラ大博士課程(認知科学)了。日立製作所, Stuttgart 大勤務を経て1998から北陸先端大勤務。人の巧みさを研究している。学生らとともに2008年「毎日介護賞」(毎日新聞社主催)を受賞した。