

身体知の言語化とその段階モデル 間身体性に注目して

The Stage Model to Verbalization of Embodied Knowledge Focusing on the Intercorporéité

山田雅敏 *1*²
Masatoshi YAMADA

里大輔 *1
Daisuke SATO

坂本勝信 *1
Masanobu SAKAMOTO

小山ゆう *1
Yu KOYAMA

松村剛志 *1
Takeshi MATSUMURA

砂子岳彦 *1
Takehiko SUNAKO

竹内勇剛 *2
Yugo TAKEUCHI

*1 常葉大学
Tokoha University

*2 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

Several studies have reported that the meta-cognitive verbalization is effective to acquire the embodied knowledge as Tacit Knowledge in sports. On the other hand, Research issue that is left are as follows. Few studies have focused on the interaction between teacher and learner. Therefore, it is important that the interaction about the effectiveness of meta-cognitive verbalization to acquire the embodied knowledge in sports must be discussed. Purpose of this study is to build the stage model (X, Y, f, g) of the mathematical coaching process between teacher and learner by functional. Thereby, it is possible to describe the coaching process of embodied knowledge that is very difficult or impossible to explain by verbalization.

1. はじめに

1.1 身体知の熟達と言語化

スポーツ活動を通して、身体が学び知る「身体知」は、多くの研究領域で注目されており、学術的重要性も高まっている。身体知は、ことばによる表現が難しい、もしくは、不可能な暗黙知に位置づけられる。そのため、身体知の意味するところは、学問領域により、多少の異なりを見せるが、本研究では、「練習によって、身体が覚えた技」と定義する。また、熟達については、初心者が熟達者の指導を受け、熟達していくレベルの「定型的熟達」および、過去の経験を蓄積し構造化して自身で把握できるレベルの「適応的熟達」とする [楠見 14]*1。

さて、この身体知を熟達させるためには、訓練の動作によって、生じる身体感覚を、強く意識することが重要となるわけだが、ただ身体感覚に意識を向けるだけではなく、積極的に身体の動きや体感について、一人称の視点で言語化する試行が、身体知の熟達に関係するとの報告がなされている [諏訪 05]。たとえば、ボウリングに関して、学習者の身体部位の単語数・概念間関係の増加、詳細な意識から全体的な意識への変化が、パフォーマンス向上に関連していたことを明らかにしている [諏訪 06]。また、ダーツ投げについて、多くの概念の関係を定常的にことばにできるようになることと、パフォーマンスの急上昇に深い関係があることを示唆している [諏訪 07]。

1.2 身体性の枠組み

先行研究の特徴は、学習者の身体性に焦点が当てられていることにある。なお、本研究における身体性とは、認知科学事典に倣い、「知的な行動の多くが、身体と環境の自律的な相互作用から生じる」という考えを意味する [日本認知科学会 02]。

身体性については、哲学においても、研究対象とされることが多く、たとえば、フッサール現象学により、身体性を徹底的に追求し、現象学的還元を行ったメルロ＝ポンティ (1959) が

代表として挙げられる [Merleau-Ponty 85]。

当該研究領域においても、身体性は重要な概念となる。藤波は、認知科学・人工知能学の歴史を紐解いた上で、人間は何かしらの「環境」に埋め込まれ、周囲から情報を取り出し、生きている以上、環境や状況の影響を考慮することが、必要不可欠な条件であると指摘している [藤波 06]。また、諏訪は、未だ知覚できていない環境要因が常に存在するとした上で、「(身体知の熟達とは) 身体と環境の関係を常に再構築し続ける漸進的プロセス」と主張している [諏訪 05]。以上を鑑みると、従来の諸研究における身体知の研究では、主に学習者の身体と環境との二項関係に焦点が当てられていたと言えよう。

2. 問題提起

2.1 残された課題

残された課題には、先行研究では、学習者の身体性のみが、その対象となり、重要な他者として存在する教授者は、特に議論されてこなかったことにある。しかし、本来のスポーツ現場に照らし合わせるならば、学習者が具体的経験をjする環境には、身体知に精通した教授者がいることが一般的であり、たとえ教授者がいない場合でも、対象となる身体知に関する教材や資料・映像など、何かしらの媒体を通して、教示されている。

また、学習者の有限な時間 (特に、競技スポーツの場合) を効率良く使い、パフォーマンス向上に結びつけることができるかは、スポーツのコーチングにおいて、無視することができない。たとえば、大武らは、投球動作のパフォーマンス向上に効果があるとされる言語化されたスキルを伝達する介入群と、伝達しない統制群に分け、投球の球速変化について、検討を行った。その結果、球速の変化に有意な差はなかったものの、両群ともに球速が向上した。一方、個人における球速変化の人数は介入群が多いことから、言語化された身体技能の伝達が、パフォーマンスの向上を短時間で引き起こす場合があることを報告している [大武 11]。

もし仮に、学習者のみの言語化によって、対象となる身体知がある程度到達したとしても、その道を専門とする教授者が評価した場合に、正しい方向に向かっていないケースも考えられる。また、教授者から見て、間違っjた言語化が修正されず、続けられた場合、学習者の身体知の熟達を妨げる場合も十分あり得る。さらに、良い身体感覚を生み出した言語化が、次の段階で必要であるとは限らない [鈴木 08]。この場合、その言語化自体が、常に変化し続ける身体と環境との関係を再構築することへの足枷となる可能性も考えられる。

連絡先: 山田雅敏, 常葉大学 健康プロデュース学部, 〒431-2102
静岡県浜松市北区都田町 1230 番地, Tel.053-428-3511,
Fax.053-428-2900, E-mail:yamada@hm.tokoha-u.ac.jp

*1 熟達には「定型的熟達」「適応的熟達」「創造的熟達」の3つの段階があるとされる。はじめに初心者が先達の指導を受け、あるタスクについての手続きの知識を獲得する段階の「定型的熟達」、次に過去の経験を蓄積し、構造化して把握しているため、新たな事態にも柔軟に対応できるようになる「適応的熟達」、そして最後に適応的熟達者がさらに豊かな実践知を獲得することで、より創造的な判断や問題解決が可能になった「創造的熟達」である。なお、創造的熟達まで到達できる人は実は限られているとされる。

以上より、身体知の熟達に対する言語化を探究するにあたり、教授者と学習者の間（あいだ）に生じる間主観的 [Husserl 12] なインタラクションを考慮することが、残された課題であると考えられる。

2.2 間身体性への端緒

身体の学びにおいて、教授者と学習者の身体の間（あいだ）に生じるインタラクションは、身体を視覚的に捉えることができる物理的な身体の形状だけで起こるものではなく、両者の体表を超えて、広がる身体空間も含む。この両者の体表を超えて、間（あいだ）に広がる身体空間に生み出される身体性こそ、メルロー＝ポンティが伝えた「間身体性^{*2}」である [Merleau-Ponty 85] [砂子 15]。阪田は、認知科学の視座から、身体の学びを論ずる中で、「我々の身体は他者からの影響を受けつつ、その一方で、他者に主体的に働きかけながら、相互に含み合う関係にある」と述べた上で、教授者と学習者のそれぞれの拡張する身体が、自他を超え、相互に含み合い、交錯する地点に、（身体の）学びは位置していると強調している [佐伯・渡部 11]。

ここで、両者の間主観的なインタラクションを取り上げることによって、メルロー＝ポンティが伝えた間身体性を語ることはできないことは重重に理解した上で、この試みが、当該領域における間身体性への端緒となればと考える。本研究では、より認知科学的・人工知能学的なアプローチを目指して、両者のインタラクションを考慮した上で、身体知の熟達に対する言語化の数理モデルを構築することを目的とする。期待される研究成果として、伝えることが難しいとされる身体知の熟達過程を、数理モデルの構築によって段階的に分析できるため、新しい知見が得られることが予想される。

3. 段階モデルの構築

3.1 初歩的な歩行の指導の例

初歩的な歩行を例にとり、熟達のモデルを模索する。たとえば、教授者からある初歩的な歩行を学びたい学習者がいると仮定し、教授者の言葉がけによって、学習者にまず一歩目の歩行が可能になるように導くことを想定する（図1参照）。



図 1: 初歩的な歩行指導の例

教授者と学習者は、言葉のキャッチボールをしながら、段階的な歩行の熟達を目指す。はじめに、教授者が、「50cm 右足を出す。右足に体重を移し、左足を 50cm 出して、左足に体重を移す」と指示する。その指示に対して、学習者はその通りに実行する場合もあれば、できない場合もある。ともかく、そのときの感覚を言語化してもらおうと、「左右にぐらぐらする」と言うかもしれない。それを聞いて、教授者は、次の指示「その左右のぐらぐらを大事にしながら、歩いてみよう」と指導し、学習者は再びそれを実行に移す。このときも、上手くいくこと

もいかないこともあり得るが、上記の過程を見てもわかるように、教授者は、学習者に対して、最初の具体的な数値を用いた指示から、学習者が歩行のときに感じた左右の振り子感覚を、伝えるようになる。なぜならば、その振り子感覚が、教授者の求める歩行を可能にする身体感覚だからである。

そこで、この歩行訓練の例をもとにして、モデルを構築を試みる。まず、教授者による指示「50cm 右足を出す」を、指示 x とする。おそらく 50cm でなくともよいはずで、48cm だろうが、51cm だろうが、大きな違いはさほどない可能性が高い。しかし、50cm が学習者にとって、最適な目安だったとすると、 x は極値を持つことが要請される。そして、 x に対して、実数に値をとる $f(x)$ を評価関数とする。この評価関数は、教授者の指示にいかに近づいているかを評価するものであり、 $dx(t)/dt$ によって、評価の最も高い状態 x が決められる。すなわち、この評価関数の極値によって、教授者の指示が表される。

$$\frac{df(x)}{dx} = 0 \quad (1)$$

これは、任意の微量だけ動いたとしても、関数の値が変化しない極値（定常）であることを意味する。

次に、教授者の指導を実行した学習者に自らの身体感覚を言語化してもらおう。その学習者の言語化が、教授者が求める歩行の身体感覚に沿わないとき、さらなる言葉がけがなされる。一方、この身体感覚が簡単に学習者に伝わればよいが、往々にして困難な場合が多いのではないだろうか。なぜならば、この感覚こそが、言語化が難しい、もしくは、言語化が不可能な暗黙知に位置づけられる身体知のためである。

それゆえ、教授者は、その学習者に適した段階的な指導法を考案して、自らの身体感覚のいわば、コピーを試みる。コピーしたい技術は、具体的な指示「50cm 右足を出す。右足に体重を移し、左足を 50cm 出して、左足に体重を移す」ではなく、ことばによって、伝え難い歩行に伴う抽象的な身体感覚である。この際、教授者の停留値と、学習者の曲線が異なるときは、齟齬となるので、教授者は学習者の認識に沿って、指導をする。この様子は、図2のように、汎関数の停留値を求める変分原理によって表現できる。ここでは、停留曲線が一点に収束する場合を停留値とする。たとえば、時間などのパラメータを取らない場合がこれに該当する。なお、この停留値は、「自然の運動は、常に最も簡単で最短のルートを通る」という最少作用の原理^{*3}に従う [Parsons・Rees 13]。

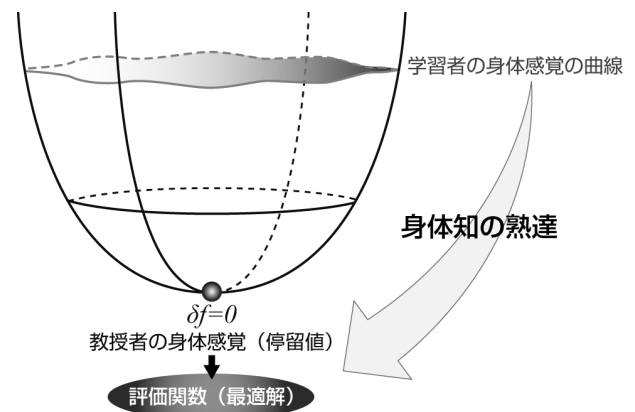


図 2: 身体知の熟達を表現した汎関数の模式図

*2 私の二本の手が「共に現前」し「共存」しているのは、それがただ一つの身体の手だからである。他人もこの共現前 (compréence) の延長によって現れてくるのであり、彼と私とは、言わば同じ一つの間身体性 (intercorporéité) の器官なのだ / Maurice Merleau-Ponty: 哲学者とその影 (1985)

*3 最少作用の原理: Principle of Least Action / 物事は常に最小の労力で起こることを意味する原理。この原理の発見が、力と運動の関係を記述する方程式の定式化につながり、ポテンシャルエネルギーや運動エネルギーといった重要な概念を生み出した

3.2 教授者と学習者のインタラクション

次に、初歩的な歩行から、高度な歩行を目指して、教授者と学習者が言語的インタラクションによって、互いに身体感覚を共有していく様を表現する。

はじめに、変数空間を設定し、教授者が要請する方向性を評価関数 f で示す。また、教授者の言葉による指導を x で表し、それを実行した学習者の言葉による感想の表現を y とする。指導表現 x と感想表現 y は、交互に交わされていき、次第に指導者の期待する目標に近づいていく。指導表現と感想表現は、何回か繰り返されるので、 $k = 1, 2, \dots, N$ に対して、 x^k, y^k とする。指導表現は、いくつかの要素で構成されているとすると、

$$x^k = (x^k_1, x^k_2, \dots, x^k_{n_k}) \quad (2)$$

となる。ただし、 n_k は k 番目の指導の次元（指導の数）である。 y についても同様であるが、次元は異なる。 x^k_l は、 k 回目の指導の l 番目の指導である。さらに、 x^k_l が時系列に変化する場合は、 t の関数 $x^k_l(t)$ となる。たとえば、第 1 回目の第 1 番目の「まず右足を、50cm 前に出す」という指導は、時間によって、その動作が実現されていくので、時間の関数 $x^1_1(t)$ によって、表される。実は、パラメータ t は時間である必要はない。その事例に対して、適切なパラメータを選んでよいものとする。指導者のアドバイスに対して、学習者がそれを実行に移した結果、どのように実現したかを同じ変数 x で表すものとする。その学習者の実行結果に対して、教授者の指導からどのぐらい隔たりがあるのかを数値化できたならば、それは評価関数を設定したことにほかならない。 k 回目の指導への学習者の実行結果 $x^k(t)$ に対する評価を、関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ で表すならば、これが評価関数となる。この評価関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ に対して、作用積分 $I^k[x^k]$ を、次のように定めることができる。

$$I^k[x^k] = \int_{t_0}^{t_1} f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt) dt \quad (3)$$

この作用積分の停留値は、次のオイラー方程式、

$$\frac{df^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)}{dt} - \frac{df^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)}{d(dx^k(t)/dt)} = 0 \quad (4)$$

によって、導かれる。停留値は、教授者が要請する選手の動きである。それは単に指導 $x^k(t)$ を実行すればいいというわけではない。言葉による指導 $x^k(t)$ は、学習者が理解しやすい形に表した具体的な指示であって、教授者の伝えたい身体感覚は、その指示を忠実に実行した後に、学習者によって、気づかれることが期待されている。学習者の気づきが不十分で、それが学習者の感想 $y^k(s)$ に表されると仮定する（ここで、 s は適当なパラメータとする）。そして、次に、学習者の感想 y^k について、教授者は次の指示 $x^{k+1}(t)$ を与えることになる。そのためには、学習者の感想 y^k を、評価する必要がある。学習者の感想 y^k に対する教授者の評価関数を $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ とすると、

$$J^k[y^k] = \int_{s_0}^{s_1} g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds) ds. \quad (5)$$

となる。この作用積分（汎関数）の変分が、指導者の期待する動作を表すように、評価関数 $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ を設定する。教授者の指導 x^k と学習者の感想 y^k の間には、強い相関関係にあるが、個人差があるものと予想される。また、教授者の指導 x^k のもとで、学習者がそれを実行した感想 y^k に、次の教授者の指導 x^{k+1} が与えられて、それに対する学習者の感想 y^{k+1} がもたらされるという、 k による段階ができる。この段階は、教授者が学

習者の熟達状況を観て、熟達がなされたと評価するまで続けられる。モデルは、変数 x^k, t と評価関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ および、変数 y^k, s と評価関数 $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ によるものなので、構築した段階モデルを (X, Y, f, g) と記すことにする [山田 16a]。ただし、 $X = (x^k(t), dx^k(t)/dt)$, $f = f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$, $Y = (y^k(s), dy^k(s)/ds)$, $g = g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$, $k = 1, 2, \dots, N$ とする。図 3 は、この段階モデルを表現したものである。学習者の言語化が、時間の経過とともに、教授者の停留値に、近づいていく様子が表現されている。

最終的に、学習者の身体知の熟達を評価できるのは、学習者の言語化ではなく、教授者が学習者の身体動作を観察することにある。その理由は、教授者の期待と、学習者の身体知のズレが認識できる最終手段が観察だからである。よって、言語的インタラクションに限っても、モデルに資することが可能である点を確認したい。

3.3 関数化の工夫

教授者と学習者の言語的インタラクションにおけるポイントは、評価関数にある。これは、教授者の伝えたい身体感覚を陽に与える（明示的にパラメータを指定する）ことを意味するため、評価関数を有効に決めることが重要な課題となる。教授者の指導 X や学習者の感想 Y が、定量的な場合は関数化しやすい。しかし、インタラクティブなコミュニケーションは、時間の経過とともに、次第に抽象度が増していき、最終的に、熟達者でなければ、うかがい知れないような抽象度の高い感覚的表現になると予想される。特に、「鳩尾をはめる」「身体を一本に」など抽象度のとても高い「わざ言語」のような身体感覚の表現は、パラメータによる関数化に工夫が必要となる。その工夫には、次の方法が考えられる。

一つは、感覚的表現に対して、あくまで定量的表現にこだわれば、身体動作の解析ポイントを押さえ、厳密に行う方法である。そのためには、複合的な水準による変数を決定する必要がある。その複数ある水準の合成的関数とは、テンソル関数である。 A_i という水準と B_j という水準によって、その合成的に得られる身体感覚をテンソル関数 C_{ij} とする。テンソル関数に対して、評価関数を与えることができる。しかし、理論上の記述はできるが、実践研究の段階においては、重心・加速度など複雑な計算が含まれる。

もう一つは、学習者の身体感覚の表現に対して、それを言語的意味空間（以下、言語的意味空間）と捉えて、教授者が期待する身体感覚に近い言葉と、遠い言葉のトポロジーを決める方法である。これは、いくつかのパラメータに整理された身体感覚を表現した空間となる。言語的意味空間の設定は、そのまま評価関数に反映されるので、教授者と学習者双方にとって、参考になる空間モデルとなり得ると予想される。

4. まとめ

学習者と教授者の間主観的なインタラクションを考慮した上で、身体知の熟達に関する数理モデル (X, Y, f, g) を、理論的に記述できる見通しがついた。このモデルでは、「スポーツセンスを磨く」という言葉に代表されるように、熟達前の学習者が持つ無駄な身体感覚を断ち、離れること（守破離）により、教授者の身体感覚の停留点に収束していく減算的な熟達過程を表現している。これは、従来のパフォーマンスを到達目標ごとに数段階に分けて記述し、熟達度合を加算的に示すルーブリックとは違った、新たな評価へと発展すると考えられる。

一方、言語のみのインタラクションの限界も垣間見られる。言語の曖昧性、多義性、類似性などの性格から、定量的な解析が困難となるとともに、そもそも言語が身体感覚の習得を妨げる場合も考えられる。だが、言語に注目して、身体知の熟達をモデル化することは意味がないかという点、そうとは限らない。言語は、自他を結びコミュニケーションツールであり、意識の表現としては曖昧性があるといえども、最も信頼できる手段の一つである。言語によって、我々は目に見える形で、学習者と教授者のコミュニケーションを観察できるのである。

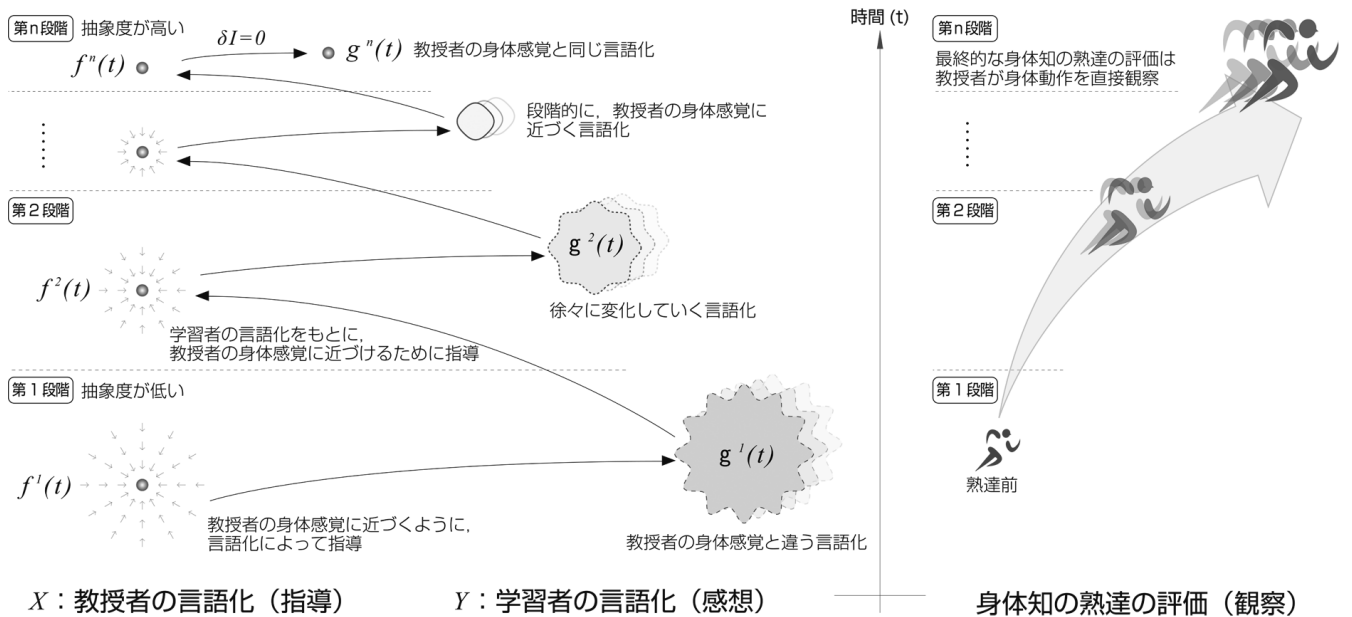


図 3: 指導の段階モデル (X, Y, f, g) と、身体知の熟達の評価 (観察)

5. 今後の課題

今後の課題は、次の通りである。ひとつは、数理モデルの妥当性についての実践的検証の蓄積である [山田 16b]。数理モデルは、数学の性質上、明晰性・論理性・信頼性が担保されている。一方、どのような数理モデルであれ、抽象化と本質的要素の抽出作業を通して、いったんは実践の世界を離れるが、それは再び、実践の世界と結び付けられることで、妥当性が確認されなければならない。

もう一つは、間身体性への発展である。一人称の視点で言語化する試行とは、学習者の視点から観察される世界について、主観的なデータをもとに、(時間と辛苦を伴いながらも)他者からの知識や情報を鵜呑みにすることなく、自分なりの知を生み出す外的表象化の行為 [諏訪 15] である。一方、その発展として、研究の射程に置いている間身体性的な身体知においては、自他を超えたところに存在する感性の共有性、すなわち両者にとって無人称 (非人称) の体験に注目している [奥井 11][砂子 15]。

以上が、今後の課題として挙げられるが、身体知の熟達に関する数理モデルについて、理論的記述の見通しがついたことを確認し、稿を閉じることとする。

参考文献

[1] [大武 11] 大武美保子, 荻原陽介, 豊田涼, 阿部健祐, 太田順: 言語化された身体技能の伝達に関する研究: 投球動作スキル伝達による球速変化の解析, 人工知能学会第10回身体知研究会予稿集 SKL-10-02 (2011)

[2] [奥井 11] 奥井遼: メルロ= ポンティにおける「間身体性」の教育学的意義: 「身体教育」再考, 京都大学大学院教育学研究科紀要, pp.111-124 (2011)

[3] [楠見 14] 楠見孝: 経験学習のクオリティを高めて熟達を早め, 深化させる方法, RMSmessage vol.37 (2014)

[4] [佐伯・渡部 11] 佐伯胖監修, 渡部信一編, 阪田真己子: 「学び」の認知科学事典, 大修館書店 (2011)

[5] [鈴木 08] 鈴木宏昭, 大西仁, 竹葉千恵: スキル学習におけるスランプ発生に対する事例分析的アプローチ, 人工知能学会誌 23 卷 3 号 SP-A (2008)

[6] [砂子 15] 砂子岳彦: 間身体性のモデル, 常葉大学経営学部第2巻第2号, pp15-20 (2015)

[7] [諏訪 05] 諏訪正樹: 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, Vol.20, pp.525-532 (2005)

[8] [諏訪 06] 諏訪正樹, 伊東大輔: 身体スキル獲得プロセスにおける身体部位への意識の変遷, 第20回人工知能学会全国大会 (2006)

[9] [諏訪 07] 諏訪正樹, 高尾恭平: パフォーマンスは言葉に表れる—メタ認知的言語化によるダーツの熟達プロセス, 第21回人工知能学会全国大会 (2007)

[10] [諏訪 15a] 諏訪正樹, 藤井晴行: 知のデザイン 自分ごととして考えよう, 近代科学社 (2015)

[11] [人工知能学会, 諏訪・堀 15b] 人工知能学会監修, 諏訪正樹・堀浩一編著, 伊藤毅志, 松原仁, 阿部明典, 大武美保子, 松尾豊, 藤井晴行, 中島秀之共著, 一人称研究のすすめ 知能研究の新しい潮流, 近代科学社 (2015)

[12] [長谷川 05] 長谷川計二: 「数理モデルと実証」によせて, 理論と方法, Vol.20, No.2:pp.135-136 (2005)

[13] [藤波 06] 藤波努: リズムで超える時間の壁 身体知へのアプローチ, 映像情報メディア学会技術報告 Vol.30 No.68, pp.71-76 (2006)

[14] [Husserl 12] Edmund Husserl 著, 浜渦辰二, 山口一郎監訳: 間主観性の現象学 (2012)

[15] [Merleau-Ponty 85] Maurice Merleau-Ponty (著), 竹内芳郎, 木田元, 滝浦静雄, 佐々木宗雄, 二宮敬, 朝比奈誼, 海老坂武 (訳): シーニユ2, みすず書房 (1985)

[16] [日本認知科学会 02] 日本認知科学会 編: 認知科学事典, 共立出版 (2002)

[17] [Parsons・Rees 13] Payk Parsons 編, Martin Rees 序言: 30秒で学ぶ科学理論 示唆に富んだ50の科学理論, STUDIO TAC CREATIVE (2013)

[18] [山田 16a] 山田雅敏, 里大輔, 坂本勝信, 小山ゆう, 砂子岳彦, 竹内勇剛: 身体知の言語化とその階層モデル, 電子情報通信学会言語と思考研究会, pp.41-46 (2016)

[19] [山田 16b] 山田雅敏, 里大輔, 坂本勝信, 小山ゆう, 松村剛志, 砂子岳彦, 竹内勇剛: 身体知の言語化とその段階モデル 間身体性に注目して, 人工知能学会第22回身体知研究会 (2016)