

テレビゲーム熟達者の超絶技巧に関わる脳活動

Brain activity about super skill of video game master

八田原 慎悟^{1*} 藤井 叙人¹ 風井 浩志² 古屋 晋一² 片寄 晴弘²

Shingo Hattahara¹ Nobuto Fujii¹ Koji Kazai² Shinichi Furuya² Haruhiro Katayose²

¹ 関西学院大学大学院

¹ Graduate School, Kwansai Gakuin University

² 関西学院大学

² Kwansai Gakuin University

Abstract: The present study investigated the neural activation pattern at the prefrontal region during learning a novel video game task by a highly-skilled game player. We measured brain activity, performance, and hand movement during playing a video game using fNIRS and video camera. The results demonstrated clear decreases in brain activity as well as the amount of finger and hand movements during playing the game with training. These findings would reflect the acquisition of more efficient movement patterns during playing the video game.

1 はじめに

テレビゲームは、老若男女を問わず多くのヒトに親しまれており、家庭におけるエンタテインメントの一翼を担うに至っている。近年、テレビゲームと脳活動の関連性に注目した研究も取り組まれるようになり、実施中および継続的に、脳活動、特に前頭前野の活動が低下するという報告がなされた。ゲームジャンル別分析 [1] や、対人 vs. 対 Computer 条件の比較 [2] 等、精緻な要因計画による脳活動計測事例も蓄積されつつある。他にも、テレビゲームのアマチュアと経験者という基軸での脳活動の比較実験を行ったものには川島らの研究 [3] があるが、これを含め、関連研究では経験者としてはいわゆる中級者のみを取り上げられることが多かった。

この点に関して筆者らは被験者を熟達者 (対象ゲームの全国ランキング入賞者)、中級者 (関連研究での経験者相当)、初心者 (普段テレビゲームをせず対象ゲームは未経験) に分類してテレビゲーム実施中の脳活動を計測し、「初心者、中級者においては前頭前野の活動が低下するが、熟達者においては上昇する」「熟達者の前頭前野の活動は熟達したゲームにおいて最も上昇する」ということを示した [4]。熟達者は中級者、初心者と比較してパフォーマンス (テレビゲームのスコア) が極めて高いだけでなく、動作においても中級者、初心者とは違った特徴的な動きをしつつ、自分の腕を通してコ

ントローラ、画面上の自機まで自分という意識を広げ高いレベルで操っており、筆者らはその獲得過程に興味を持って研究を進めている。本稿ではその第一報として、熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に熟達していく過程での脳活動、パフォーマンス、運動技能の変化について報告する。

2 先行研究

脳活動とテレビゲームの関係に注目した研究としては、開らがゲームジャンルによる脳活動への影響の差を調査している [1]。ジャンルにはシューティングゲーム、リズムアクションゲーム、パズルゲームの3ジャンルを対象とし、テレビゲーム実施時の被験者の前頭前野の脳活動を計測している。その結果、全てのジャンルにおいて前頭前野の脳活動が低下していると報告している。この脳活動の低下の原因として「視覚情報を伴ったシーケンシャルな運動の学習において、学習が進むにつれて前頭前野の脳活動が低下する」 [5]、「視覚刺激を伴った様々なタスクの実行時に、共通して正中前頭部付近の活動が低下する」 [6] ということからテレビゲームというメディア固有の影響ではなく、単に視覚情報を伴う学習に起因する脳活動の変化を見ていた可能性があると考えしている。

関連領域の先行研究として、運動技能に関する脳研究として次のものがある。

Karni らは運動技能と脳活動に注目し、複雑な指運動による短期記憶と長期記憶を伴う一次運動野 (M1) の活動変化を調べ、短期的には M1 の活動量は低下す

*連絡先：関西学院大学片寄研究室
〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155
E-mail: hattahara@ksc.kwansei.ac.jp

るが、長期的には上昇すると報告している [7] .

Hund-Georgiadis らは運動技能と熟達度に注目し、ピアニストと非音楽家に複雑な指運動課題 (タッピング) を学習させ、その時の脳活動の変化を fMRI を用いて調査している [8] . その結果、学習に伴う脳活動の変化の仕方が、ピアニストと非音楽家では異なるという報告をしている . 学習と共に両群においてタッピング速度の向上というパフォーマンスの変化がある一方、その背景となる脳活動では、一次運動野の活動量においてはピアニストの方が大きく、より高次の脳部位 (二次運動野、補足運動野、運動前野、小脳) の活動量の減少量は、ピアニストの方が小さいこと示している . このことから熟達度が違えば学習における脳活動にも違いが現れると考察している .

脳活動とテレビゲーム、脳活動と運動技能の関係に注目した研究では以上に挙げたものなどがあるが、ゲームにおける熟達度を厳密に定義し、運動技能の解明を目的とした研究はこれまでに一切報告されていない . 音楽 [9]、言語 [10]、将棋 [11] などの領域においては熟達度と脳活動の関係を焦点に当てた研究、音楽の分野では一流ピアニストという極めて高い能力を持つものの運動技能についての研究 [12] が実施されており、タスク実施における熟達者の特異な脳活動、運動技能計測事例が示されている . これらの研究は熟達という人間の高度な知識、技能についての理解を深める研究である .

3 実験

熟達者が熟達に至る過程での脳活動、パフォーマンス、運動技能の変化を検討するために、テレビゲーム熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に対して、一定の訓練を重ねていく上での脳活動を計測し、スコアの推移、コントローラの操作情報、2 次元における指運動を記録、検討した .

3.1 被験者

シューティングゲーム熟達者 1 名 (23 歳) に対し、実験した . この熟達者は他のシューティングゲームにおいて、全国 1 位のスコアを保持していた経験を持つ .

3.2 実験環境とゲームタイトル

本実験には、Sony Computer Entertainment 社製 PlayStation2 上で動作するゲームを用いた . シューティングゲーム熟達者に対して、「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」としてデータム・ポリスター社製シューティングラブ。～TRIZEAL～(コントローラはアーケードコントローラを使用) を用いた . 本実験に用いたシューティングゲームではプレイヤーが自機となるキャラクタを操り、画面上部から飛来する敵及び敵



図 1: シューティングゲーム画面例

弾をかわしながら、攻撃をしていくことが目的となる (図 1) .

3.3 fNIRS 計測

fNIRS とは生体に対して非常に高い透過性を持つ近赤外光の特徴を利用して、頭部に近赤外光を照射し、屈折を繰り返しながら透過してきた光を分析することによって血液中に含まれる酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の増減を計測する手法である . 特徴として非侵襲、身体をほぼ拘束なしの普段に近い状態で計測が可能であることが挙げられる . 本研究ではテレビゲームを普段の状態で行っている時の脳活動を計測するために fNIRS を脳機能計測手法として選択した .

この実験では fNIRS 計測システム (FOIRE3000、島津製作所製、図 2) を用い、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、ヘモグロビン総量 (total-Hb) の変化の相対値を測定した (図 3) . 測定部位は前頭前野とし、脳波計測国際 10-20 法における Fpz を基点に 24 チャンネル (図 4) で測定した (図 5) . サンプリングレートは 10 Hz とした .

3.4 実験手続き

実験の流れを図 6 に示す . 実験前に、被験者に対して実験内容を説明し、実験参加への同意を得た . その後、被験者に対し実験を行った . 実験要因として以下の 1 つを設定した .

- 要因 1 : 対象ゲームの訓練時間 (訓練なし, 1 時間, 2 時間, 3 時間)

1 試行は 240 秒間のタスク (課題遂行時間) の前後に 30 秒間の安静時間 (前レストおよび後レスト時間) を含めた 300 秒間とした . 被験者に実験するテレビゲームについて説明すると共に練習をさせた後、fNIRS の計測装置を装着、計測を開始した . 同時に、実施する



図 2: fNIRS 計測システム (FOIRE3000 , 島津製作所製)

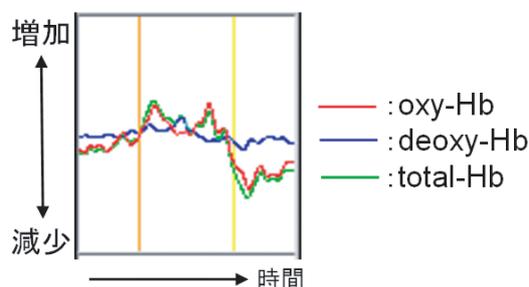


図 3: 計測波形例

テレビゲームのパフォーマンス、コントローラの操作情報を記録した。指運動はポイント1:人差し指第二関節, ポイント2:親指関節, ポイント3:人差し指付け根にシール上のポイントを設置, 実験時にカメラで録画した(図6)。テレビゲームの開始, 及び終了の指示はモニタに表示すると共にアラームが鳴るようにした。安静時間中はモニタに注視点を表示し, そこに注目させた。測定を終えた後, 実験に対する内省を聴取した。

3.5 データ処理

3.5.1 NIRS データ処理

fNIRS からは oxy-Hb , deoxy-Hb , total-Hb の 3 種類のデータが得られるが, 本研究では脳の神経活動と正の相関がある [13][14] と報告されている oxy-Hb を分析の対象とした。

fNIRS によって計測されたデータは Hb 変化の相対値であるため, 測定された oxy-Hb データの前処理を以下の手順で行った。まず fNIRS によって計測された oxy-Hb データに対して各チャンネル内で標準化 (平均を 0 , 分散を 1 にする) を行い, z-score を算出した。その上で, 前レスト時間の oxy-Hb の平均値とタスク

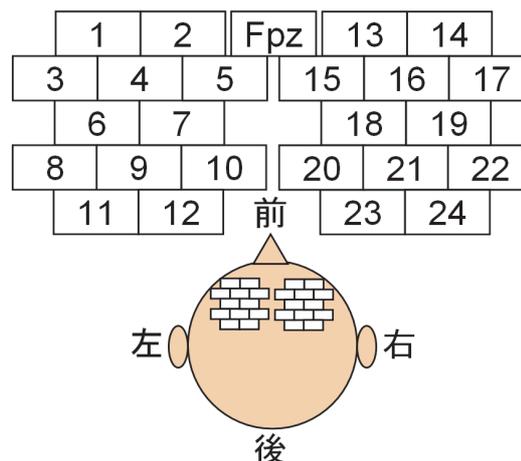


図 4: 測定部位とチャンネル配置



図 5: 実験風景

時間内の oxy-Hb の平均値の差分をタスクによる変化量と定義した。

3.5.2 コントローラ操作情報処理

コントローラ操作情報は使用したアーケードコントローラの信号をゲーム機と PC に分岐させ記録した。記録した内容はジョイスティックの ON/OFF , ショットボタンの ON/OFF である。これらの情報から打鍵 (ON になった) 回数, および使用平均時間 (ON になってから OFF になるまでの時間) を算出した。

3.5.3 指運動情報の処理

指運動は手に付着したポイントをカメラで取得して記録した。各々の点を画像情報処理で抽出し重心を計算, 実験時間における録画されたフレームにおける移動距離を指運動量として定義する。この指標は相対的な値となり, 訓練時間ごとの比較において意味をなす。

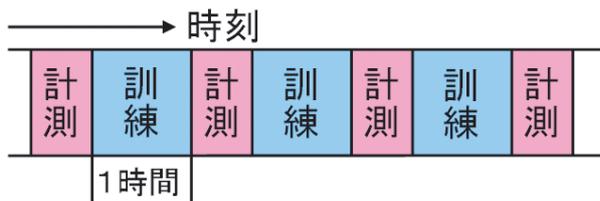


図 6: 実験の流れ



図 7: 手のポイント

3.6 結果

実験結果を図 8, 図 9, 図 10, 図 11 に示す。図 8 は「3.5 NIRS データ処理」によって処理したデータからタスクによる oxy-Hb の増減を色で示したものである。図 9 は各実施時のパフォーマンスを訓練なしの段階における最低点を 100 として正規化し、表示したものである。各点は試行ごと点数を、線分は平均値を示している。図 10 は使用したコントローラからの信号を記録し、各計測時におけるジョイスティックとショットボタンの打鍵回数、平均打鍵時間を表示したものである。図 11 は指運動を計測するためのポイントの運動量を正規化して示したものである。人差し指付け根のポイント 3 については画像認識時のノイズが大きく、分析に向かなかったためこれ以降の議論から外す。

- 記録したスコアは訓練を重ねるにつれて上昇した。
- 被験者の oxy-Hb は、訓練なしの状態では上昇し、訓練を行った後は訓練時間に関らず減少した。
- コントローラ信号について、ショットボタン打鍵回数は 2 時間訓練後 までには一定であったが、3 時間訓練後に減少した。またジョイスティック使用平均時間は計測 3 までには増加傾向にあったが、3 時間訓練後では減少している。ショットボタン平均打鍵時間、ジョイスティック使用回数はほぼ一定であった。
- 指運動量は運動なしの状態において最大であり、1 時間訓練後は減少、2 時間訓練後、3 時間訓練

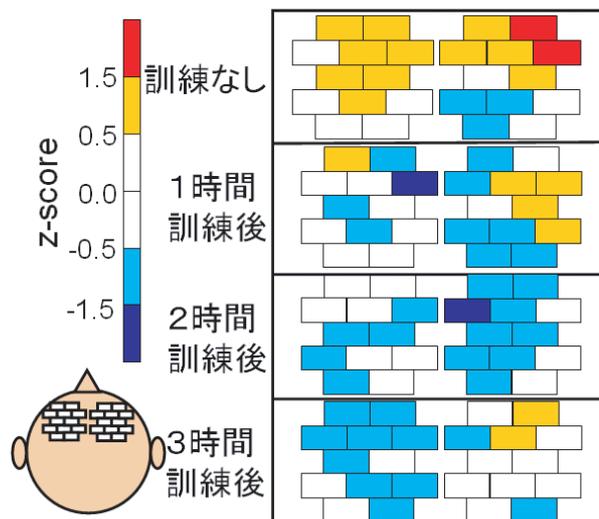


図 8: 実験の結果: oxy-Hb の変化

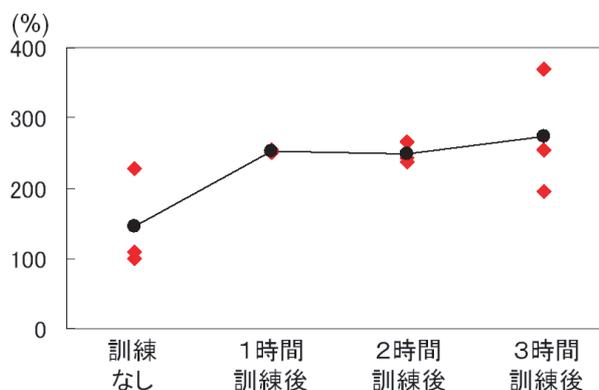


図 9: 実験の結果: パフォーマンス

後には徐々に上昇したが、運動なしの状態までは上昇しなかった。

3.7 考察

記録したスコアの平均値において、点数が徐々に上昇している様子から熟達者が訓練を重ねるにつれて対象ゲームに熟達していること、また訓練、計測を繰り返すことによる疲労の影響が少ないことが確認された。

脳活動について、訓練なしの状態では oxy-Hb は上昇したが、訓練を行った後は oxy-Hb が減少した。これは「運動計画を行う際に前頭前野が賦活する」[15] という先行研究から、熟達者が訓練なしの状態では手の動き、及び画面上の自機の動きの運動計画を行っていたため、脳活動が上昇したが、訓練が進むにつれて各々の運動計画を体得し、必要性が薄くなったことに起因する可能性が考えられる。上記に関連して筆者らの研究ではリズムアクションゲームの熟達者が熟達したゲー

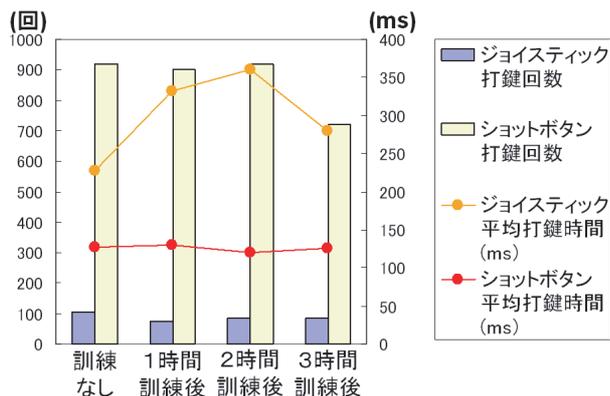


図 10: 実験の結果：コントローラ操作情報

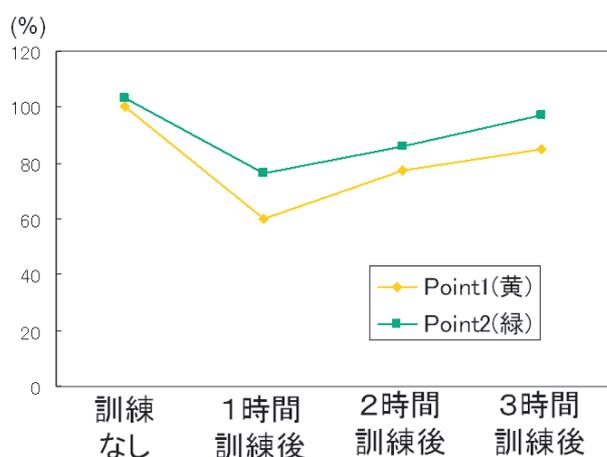


図 11: 実験の結果：指運動量

ムを実施している際は前頭前野の活動が上昇していた。これはリズムアクションというゲームが視覚情報だけでなく、聴覚情報も用いて行うことから、リズムの知覚による前頭前野における活動の上昇 [16] や、旋律の知覚による運動前野における活動の上昇 [17] に関連するものではないかと考察した。シューティングゲーム熟達者、リズムアクションゲーム熟達者は共に高得点を取得するために必要な情報を多く処理しており、それが脳活動の上昇に繋がっているのではないかと考えられる。また oxy-Hb は 2 時間訓練後 までは減少傾向にあったが、3 時間訓練後 では若干減少が弱まっている。本実験では熟達者による「これ以上の得点向上は見込めない」との内省報告から 3 時間で訓練を停止したが、熟達に至った段階での脳活動の上昇はさらなる訓練を重ねた後に生じる可能性が考えられる。

記録したコントローラ情報においても熟達に関する変化を見ることができる。ショットボタン打鍵回数が計測 3 までは一定であったが、計測 4 で減少、ジョイスティック使用平均時間が計測 3 までは増加傾向にあったが、計測 4 では減少している。よって計測 4 の段階

ではスコアは上昇傾向ながら、ショットボタンの使用回数が減り、ジョイスティックの使用時間が減りコントローラ操作の効率化が進んだことがわかる。この点からも、熟達に至る傾向が示唆されている。

また指運動量について、熟達者の内省報告と合わせて考えると訓練なしの状態では自機の動き、敵の動きなど多くの要素を確認するために大きく動き、1 時間訓練後にはゲーム内での高得点取得要素を細分化するため動きが減少、以降は高得点を取得するための要素を取り込んでいったため指運動量が大きくなっていったと考えられる。

コントローラ操作情報と指運動量の関係についても興味深い。図 12 はコントローラ操作情報と指運動量をそれぞれの初期値を 100 としてレンジを合わせて表示したものである。この図から被験者のジョイスティックを動作させた回数と指運動量が同様の変化をしていることがわかる。カメラでとらえた指運動量の変化はジョイスティック動作回数によるところが大きく、熟達という現象はジョイスティックを操作する時間に関わるものである可能性がある。

本実験では「熟達者の熟達したゲーム実施時における脳活動の上昇」は確認されなかった。この理由については Karni らの「複雑な指運動の学習に伴う運動関連領域の活動量の変化について、短期的な訓練の結果、脳活動量は減少するが、長期的な訓練に伴い、活動量が増大する [7]」とする報告に関連する可能性がある。Karni らは、学習初期では運動効率の良い運動プログラムを習得するために脳活動量は減少するが、時間の経過に伴い、学習した運動記憶を長期間保持できるように増強されたと考察している。我々は、先行研究において、ゲーム課題時の脳活動量は、非熟達者に比べて熟達者の方が高いことを明らかにした [4]。さらに、本研究の結果、短期間のゲーム訓練により、前頭前野の活動量が減少することが明らかとなった。これらの結果は、短期的な学習と長期的な学習に関わる神経機構の違いに関する Karni らの考察を支持するものであると考える。また他の理由としては「熟達」というものが点数の上限に達することではなく、上限となった点数を常に出せるようになること、または上限が通常の状態になることである可能性がある。訓練、計測を一両日に行ったことによる慣れの効果も考えられる。今後の実験計画において訓練期間の延長、数日に分けての実験が必要である。

4 まとめ

本研究ではテレビゲーム熟達者の訓練を重ねる過程において、パフォーマンスが上昇するとともに脳活動が低下するという結果を得た。また脳活動が低下した後に熟達者に特有の脳活動の上昇が存在する可能性に

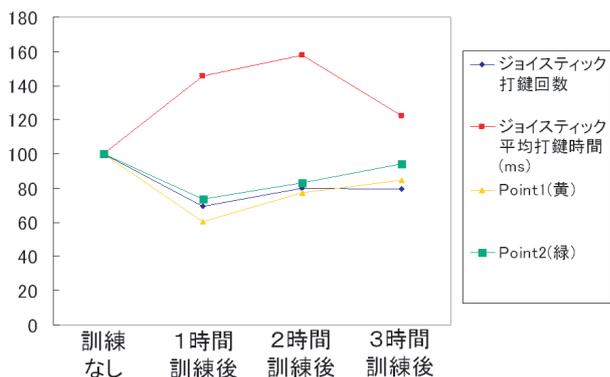


図 12: コントローラ操作情報と指運動量

についても示唆された。

今後は、熟達者を熟達者たらしめているものが何か、熟達過程実験の熟達者の被験者を増やし、訓練期間についての検討を重ね、中級者や初心者の熟達過程についても実験を行い、熟達者との差について検証していく。

参考文献

- [1] 開一夫, 松田剛: インタラクティブゲームにおける脳血流変化, 株式会社キャラ研 スカラシップ研究発表, (2002).
- [2] 玉越勢治, 高橋励, 寺尾将彦ほか: fNIRS を用いた対戦型ゲームのエンタテインメント性の初期的検討, 第 3 回エンタテインメントコンピューティング抄録, (2006).
- [3] 川島隆太, 泰羅雅登: テレビゲームの脳への影響についての基礎的研究, 中山財団レポート, Vol.13, pp.9-16 (2005).
- [4] 八田原慎悟, 藤井叙人, 長江新平ほか: テレビゲームプレイ時の熟達者と非熟達者の脳活動の比較, エンタテインメントコンピューティング 2007, (2007).
- [5] Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., et al.: Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning: Journal of Neuroscience, Vol.18, pp.1827-1840 (1998).
- [6] Shulman, G.L., Fiez, J.A., Corbetta, M., et al. Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex, Journal of Cognitive, Neuroscience, Vol.9, pp.648-663 (1997).
- [7] Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., et al.: Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning, Nature, Vol.14, pp.155-158 (1995).
- [8] Hund-Georgiadis, M., Von Cramon, D.Y.: Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. Exp Brain Res, Vol.125, pp.417-425 (1999).
- [9] 増田清香, 片平健太郎, 岡ノ谷一夫ほか: 音楽熟達者における聴覚表象の形成, 第 9 回認知神経科学会発表, (2004)
- [10] Tatsuno, Y. and Sakai, K.L.: Language-Related Activations in the Left Prefrontal Regions Are Differentially Modulated by Age, Proficiency, and Task Demands, Journal of Neuroscience, Vol.25, pp.1637-1644 (2005).
- [11] 羽生善治, 伊藤毅志, 松原仁: 先を読む頭脳, 新潮社 (2006).
- [12] Furuya S, Kinoshita H.: Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke, Neuroscience (in press), (2008).
- [13] Hoshi, Y., Kobayashi, N. and Tamura, M.: Interpretation of nearinfrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model, Journal of Applied Physiology, Vol.90, pp.1657-1662 (2001).
- [14] Jueptner M. and Weiller C.: Does measurement of regional cerebral blood flow reflects synaptic activity? - Implications for PET and fMRI, Neuroimage, Vol.2, pp.148-156 (1995).
- [15] Tanji, J., Hoshi, E.: Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control: Physiol Rev., Vol.88, pp.37-57 (2008).
- [16] Zatorre, R.J., Chen, J.L. and Penhune, V.B.: When the brain plays music: auditory?motor interactions in music perception and production: Nature Reviews Neuroscience, Vol.8, pp.547-558 (2007).
- [17] Chen, J.L., Zatorre, R.J. and Penhune, V.B.: Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms: NeuroImage, Vol.32, pp.1771-1781 (2006).

スキルトロニクスな道具

Skil-tronics Props

西野順二^{1*}
Junji NISHINO¹

¹ 電気通信大学システム工学科

¹ Dept. Systems Engineering, The University of Electro-Communications

Abstract: A novel tools design method skil-tronics was proposed in this paper. When we perform some objectives, we use tools and our skill to handle them. We also make new tools in some case, based on high-technology. Skil-tronics require us a well trained skill to handle the new tool. This skill assumption makes tools more simple, inexpensive and robust.

1 はじめに

本稿では、人間と機械の関係の新たな視点として、「スキルトロニクス: skil-tronics」という概念を提案する。また、すでにスキルトロニクスな道具として存在するモノを例にあげて思考実験による分析と考察を行う。

近年、メカトロニクスの進歩により、産業界はもとより日常生活においても、高度でインテリジェントな各種の人工物が利用され、また不可欠なものとなっている。携帯電話、コンピュータ、ロボット、自動車、自動販売機から腕時計に至るまで、さまざまな「道具」が作られている。

こうした道具の設計にあたって、最近ではヒトに優しいをキーワードとしてヒューマンインタラクションの研究結果が活用されている。ここでの目的は使いやすさであり、多くの場合にはいまそこに居る「普通の」人々にとって使いやすいものを指す。これは機械が人間に歩みよる方向性であり、その基本原理はインテリジェントな機械とその技術、いわゆるメカトロニクスである。

いっぽう、楽器や大工道具など比較的シンプルな技術で作成された道具では、職人と言われる高度な技能を持った人間が操ることによって目的を達成する。こうした身体性や技能については、いわゆるスキルの問題として認知科学や人工知能の分野において、学習問題さらには暗黙知と知能の関わりとして、スキルサイエンス分野での研究が盛んである [生田 87, 古川 05, 古川 07]。

本論文で、スキルトロニクスという語によって提案するのは、人間にも技術にも相応の負担を課す設計思

想である。人間と人工物によって達成される協働の目的効果を設計するにあたり、人間側には現在は無いが「ありうべき」スキルを仮定した上で、それに対応して人工物を設計するという姿勢である。すなわち「ヒトにやさしくくない」設計モデルを提案する。実際の現場においても、多くの場合には無意識的にこうしたスキルと技術の折り合い設計が行われてきた。本稿ではこれを意識的に行うためのツールとして ST ダイアグラムを導入して効果を検討する。

2 スキルトロニクス

「スキルトロニクス」は主体要素として人間を置き、スキルサイエンスとメカトロニクスを合成した語である。この、スキルサイエンス (AI) x メカトロニクス x 人間という三者関係を図式的に表せば、図 1 のようになる。スキルサイエンスと人間をつなぐのは人間の探求を主とした認知科学研究である。人間とメカトロニクスの間はヒューマンセンタードシステムの構築であり、スキルサイエンスとメカトロニクスはアフォーダンスによって結びつけられる。

2.1 ヒューマンインタフェース研究との比較

人工物設計としてのヒューマンインタフェース研究が目指すものは、より多くの人がより快適に負担なくかつ効率良く使える設計であり、人に優しいというキーワードで表されることが多い。主として機械がインテリジェントになり、人間が行っていた操作以外の作業計画など知的部分までをサポートするようになっている。

しかしながら実際には優しくしすぎて人と人工物の

*連絡先: 電気通信大学システム工学科
〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1
E-mail: nishino@se.uec.ac.jp

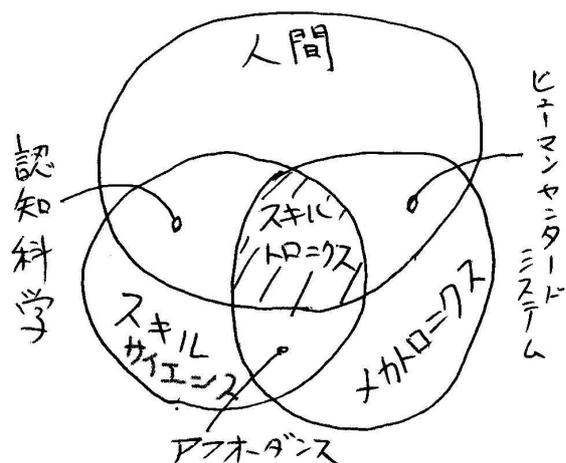


図 1: スキルトロニクスの位置付け

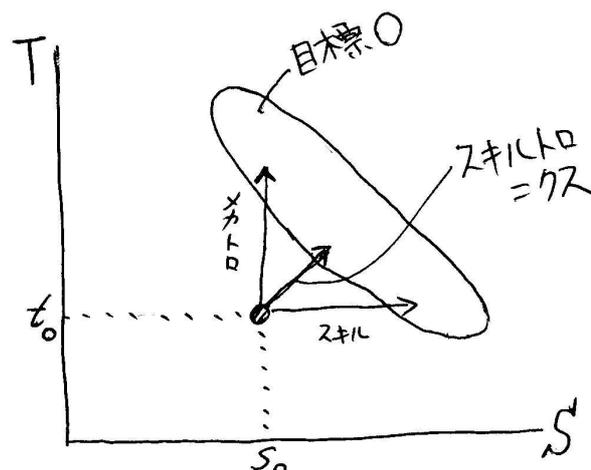


図 2: ST 平面

協業パフォーマンスが想定以上に低下したり、設計者の意図に反して使いにくいという現象がしばしば発生する。とくにパニック時には、機械と人間の思惑が矛盾することで失敗することも多く、航空機事故などにもそうした例が見られる [加藤 08]。そもそも、インテリジェントな道具であっても、使用者が十分に熟練することで使いこなせているという現実もある。

スキルトロニクスが目指すものは、技術から人に単に歩み寄るのではない点で従来と異なる。まず、人がどこまでできるかを明らかにし、そのうえで人にどこまでさせるかを設計し、同時に目標とする協業パフォーマンスから機器を設計する。スキルの設計も含むことがスキルトロニクスデザインの特徴である。

2.2 アフォーダンスとの関係

道具や技術の持つ意味は、しばしば設計意図を逸脱し超えることがある。物体が持つ形態や機能が各ユーザにとってどのように認知され使用されるかという視点がアフォーダンスである [佐々木 94]。アフォーダンスを意識したデザインとは、スキルを含んだ認知体としての現存する個々人の個性と物体とのかかわりを積極的に設計することである。

いっぽうスキルトロニクスが対象とするのは、現状の個人ではなく、ありうべきスキルを持ったと仮定した個人である。スキルの設定を未来に進めて変えたアフォーダンスに基づくデザインと言えるかもしれない。

2.3 スキルサイエンスの役割

スキルトロニクスなデザインを行うには、まず対象となる人間のスキル設計が必要である。個人のスキル

のモデル化や、学習者のスキル獲得過程のモデル化などは暗黙知の研究とあいまってスキルサイエンスとして近年活発に進められている。

スキル設計は、現在の対象者はまだ獲得していないかもしれないスキルレベルを仮定することである。こうした事象は楽器や大工道具などメカトロニクスでない道具を用いるときの学習目標モデルと類似している。

しかしながら、スキルトロニクスにおけるスキル設計では同時に人工物の設計も行っているため、両者の適切なバランスを取ることが重要であり、また逆にバランスの加減を操作できる自由度があるとも言える。この両者の自由度の設計が本概念で最重要な部分である。

3 ST ダイアグラム分析

人の技能と人工物の技術をそれぞれ、スキル (s) とテクノロジー (t) と表すことにする。人と人工物からなるシステムの協業パフォーマンスを p とすれば、 $p = f(s, t)$ なる関係を考えることができる。

このとき、スキル軸 S とテクノロジー軸 T とがなす平面で、スキルトロニクスな人工物のデザインを考える。なお $f(s, t)$ は便宜的な表現であり、そこには連続性や有界性、そもそも写像であることなどを一般には期待できないことを注意しておく。

3.1 ST ダイアグラム

ST ダイアグラムは、図2に示したスキル軸 S とテクノロジー軸 T とがなす平面図である。

人工物の設計開始時点での、人間スキルレベルを s_0 、人工物のテクノロジーレベルを t_0 で表す。目標とする協

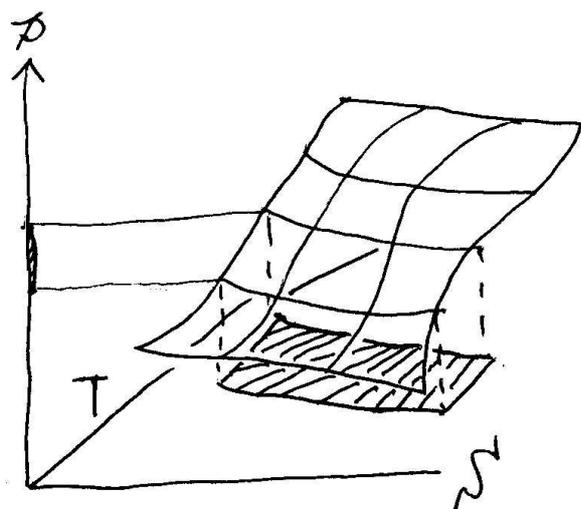


図 3: パフォーマンス曲面、射影、等高線

業パフォーマンスを領域 O として表せば、人工物システムの設計とは、 (s_0, t_0) から、領域 O への移動を促す S, T の変化分を与えることにほかならない。

従来は、技能熟達つまり S の増加によって目的達成する方法 (右矢印)、メカトロニクスつまり T の増加によって目的達成する方法 (上矢印) が、無意識のうちに取られていた。

スキルトロニクスデザインは、 S, T の両者を同時に増加させることであり (斜め矢印)、技能と技術の両者ともに比較的少ない負担で目的達成できる可能性を持っている。

3.2 目的領域

ST ダイアグラムはスキルとテクノロジーのみだが、実際には $p = f(s, t)$ の三者関係である。目的パフォーマンスの上下限からなる許容域 $p_{low} \geq p \geq p_{high}$ を満たす p を仮定すれば、上述した目的領域は許容域の ST 平面への影となる。実際的には p がスカラー値であるとは限らないが目的を満たす p の集合の影と考えれば同様である。

連続性などを仮定したとくに簡明な ST 空間とパフォーマンス関数 $p = f(s, t)$ を仮定すれば、目的領域とは図 3 に示すようなパフォーマンス関数の等高線で区切られた領域である。

4 パフォーマンス曲面

$ST-p$ の三者関係に局所的な連続性を仮定すると、パフォーマンス曲面は STP の三次元空間上の二次元多様

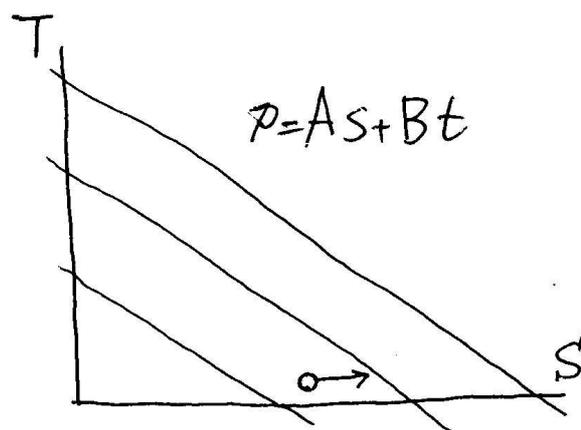


図 4: 加法的パフォーマンス

体と考えることができる。

本節では、代表的なパフォーマンス曲面を示し、その特徴を考察する。

4.1 加法的パフォーマンス曲面

適当な定数 A, B によって加法的に s, t が関係付けられ、式 (1) で表されるパフォーマンスを加法的パフォーマンスと呼ぶことにする。

$$p = f(s, t) = As + Bt \quad (1)$$

スキルが足りなければテクノロジーを足せば良い、というモデルであり、ヒューマンインタラクションや、従来の人間を含むシステム設計の視点である。

特徴として s, t のいずれかが 0 または 0 に近くても、その分を他方が補うことができる。介護等で用いる運動機能の弱まった人のための各種補助システムはこの特徴を利用している。

4.2 乗法的パフォーマンス曲面

s, t が乗法的に結び付けられ、適当な定数 A によって式 (2) で表されるパフォーマンスを乗法的パフォーマンスと呼ぶことにする。

$$p = f(s, t) = Ast \quad (2)$$

加法的パフォーマンスと比較したときの特徴として s, t のいずれかが 0 に近くなると、その分を他方だけでは補うことができなくなるモデルである。現実の人工物システムモデルはこちらに近く、 s, t 両者のバランスの重要性を示している。

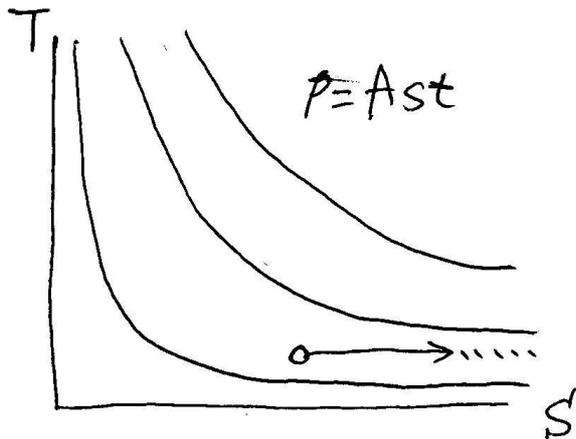


図 5: 乗法的パフォーマンス

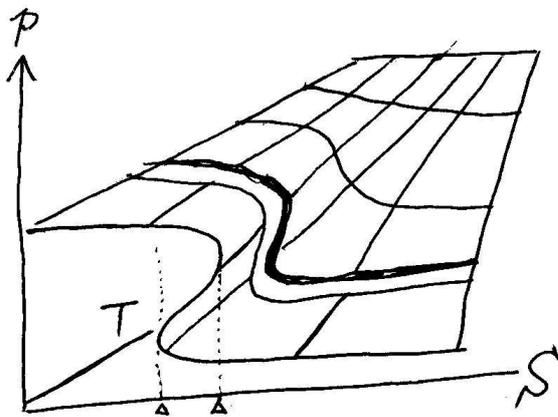


図 6: ST-p 多様体と断面

4.3 多様体モデル

実際の s, t, p による曲面は ST 平面上に直射したとき多体多になることもありうる。各近傍ではほぼ連続であると仮定すれば、これは ST-p 空間上の二次元多様体と考えることができる。

比較的シンプルな例を図 6 に示す。

ST-p 多様体を、 s か t いずれかを一定とした切断面を考える。たとえば t を一定とすれば、スキル変化によって得られるパフォーマンスの変化である。このとき、図 6 のようなヒダがあるとすると、低いスキルからのパフォーマンス向上にはギャップがあることを示している。こうした多様体上の経路と ST 平面への射影による関係は、カタストロフィーの様相を示すこともあり、いったん技術に頼って曲面を変化させることでスキル効果をたかめられるといった特性を説明できる。

4.4 ST の計量

一般にスキルとテクノロジーの計量は困難である。問題によって離散値であったり、スカラーとして表現できない可能性が高い。実際には、使用するカテゴリーや目的領域の設定に応じて個々に軸の設定と計量方法の設定が必要である。

ひとつの方針として、複数のテクノロジー、スキルを点と取れば、それらの一対比較や SD 法による相対化と比較、順序配列は可能である。また単体での量的評価として基本要素項目数、テクノロジーの場合は部品点数や製作工数や信頼度、スキルの場合は運動精度や作業に必要な時間などで測ることも可能である。

5 スキルトロニクス評価

ここでは、さまざま道具を対象に、スキルとテクノロジーのバランスおよび設計について検討する。乗物、カメラ、電話、筆記具、閉じ具については、それぞれ既存の道具の思考実験による分析を行う。

ジャグリング用具については、スキルトロニクスを意識した新たな設計を行う。

5.1 ジャグリング用具の設計

ジャグリングとは、ボールなどを繰り返し投げ上げてキャッチすることで行う曲芸演技である。そのうちボールトスは基本的なジャグリング技であり、複数のボールを投げることで行うアクトである。動きなどの綺麗さと面白さの提示を目標として行われる。

スキル、テクノロジー、スキルトロニクスの 3 種類の解決方法をそれぞれ考え、比較した [西野 08]。すなわち、スキル重視ボール、テクノ重視ボール、スキルトロニクスボールの三種類を設計製作する。

設計目標は、ボールトスアクトにおいて、ボールに発光体を組み込んで投げ、空間に光の軌跡を生成することを目指す。たとえば軌跡として、ボールを投げ上げて頂点に達したときにだけ光るような新たなライトボールシステムを作ること考える。

スキル重視ボールで目標を実現するには、ボールに操作可能なスイッチを組み込みボール軌道の最上点ですばやく腕を追従させて操作すればよい。しかし、この場合 3 つ以上のボールを扱うので、他のボールも常にキャッチしなければならない。軌道の頂点で手を出す時間的余裕がほとんどないという困難性があり高度なスキルが要求される。

メカトロニクス重視ボールは、ボールにマイクロプロセッサと速度・位置センサなどを組み込み、頂点部に達したことを検出して自動で明滅させる手法である。

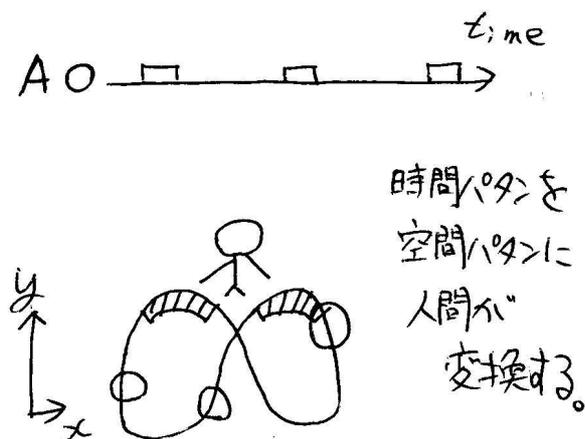


図 7: ボールトスアクトとその設計

これにより人に求められるスキルは、基本的なジャグリング技能だけになり、自動で明滅することで目標軌跡を実現できる。

しかしながら、空中に放出された小型物体の速度と位置を正しく計測することは技術的に困難な問題である。計測系として容易に組み込めるのは加速度センサーであるが、速度と位置を知るには積分が必要で誤差の累積が無視できず、またボール自体の回転の影響もあって正確な測定は現実的とは言えない。外部のモニタリングを行うとなれば、3次元位置測定や通信システムが必要となる。

また、技術による空間に光の軌跡を描く別の解法として、おおきな投影装置を用いる方法もある。この場合はジャグリングとは言えなくなる点に問題がある。

スキルトロニクスボールでの解は次の通りである。以下に示すスキルを仮定すればボールは一定時間間隔で明滅するだけの回路を組込むことで実現できる。

すなわち、図 7 に示すように操作者が一定時間間隔でのボール軌道を実現すれば、時間ボタンを人間が目的にむけて空間的に変換したことと同じであり、目的を達成することができる。

このとき操作者に求められるありうべきスキルは、正確なリズムで空間にボール軌道を描くことのみである。一定リズムでボールを操ることは難しくスキルを必要とするが、スキルボールの頂点軌道での高速なスイッチ等の開閉よりは容易で、実現可能な範囲である。

5.2 カメラの分析

フィルムカメラとデジタルカメラは、仕組みが違いすぎて比較が難しい。いっぽう、一眼レフと、コンパクトカメラの比較は、スキルとテクノロジーの加法性が成り立つ比較である。ここで一眼レフと呼ぶのは基

本的に絞りとピントを手動で行うことを指す。(実際には全自動に近いものもある)

コンパクトカメラはテクノロジーによって、絞りとピントを自動調節し、操作に自信のない人でも手軽に撮れることに特徴がある。一眼レフはこれらの操作スキルがないと、ピントの合った写真を撮ることも困難である。しかしスキルによって、被写界深度の制御や、ソフトフォーカスなどの表現が可能となる。これらは、テクノロジーでも実現可能だが、視界内の物体指定や、ソフト度合のこまかな設定など、自動でやるにはかなり難しい問題である。回しやすいピント機構や、シャッタースピードとの自動連係など、部分的には自動化されていることから、一眼レフはスキルトロニクスな道具と考えられる。

5.3 乗物の分析

人間が移動するために用いる乗物を考える。靴、スキー、ソリはスキルフルな道具である。使いこなすことでパフォーマンスは上がるが、道具の果たす役割はむしろ小さい。自転車は、スキルトロニクスな道具であり、場合によって乗り手を選ぶ道具といえる。必要とされるスキルは、バランス制御と推力生成である。小回りが効く高い運動性能を持ち、スキルレベルによっては段差の昇降も可能となる。

自家用車も乗り手を選ぶという意味で、ややスキルトロニクスな道具である。基本的な車を仮定すると S 字やクランク走行、幅寄せ、車庫居れなどスキルによって実現している。

動く歩道(エレベータ・エスカレータ)の類は、テクノロジーである。いったん乗ったあとは、機械の指定する行き先にしかゆけず、その間は全自動である。操縦不要の全自動型自家用車もこの部類に入れられよう。

5.4 電話

使用に必要なスキルで並べると、電報、公衆電話、モバイル IP フォン、携帯電話、固定電話、の順になる。電報には文面と文字数を調整するスキルが必要である。IP フォンでは、接続可能な位置を探すことが必要であり、そのためのスキルは重要である。

いっぽうテクノロジーで並べると、必ずしもスキルの逆順とならない。電報、固定電話、公衆電話、携帯電話、モバイル IP フォンとなる。基地局の追跡など携帯電話のテクノロジーの方が IP フォンより高いかもしれないが、ともかく無線系システムのほうが、有線より工業的負担は高い。必要スキルと必要テクノロジーの和で考えると、固定電話は非常に効率良いシステムであるといえよう。

5.5 筆記具

ペン、筆、鉛筆、クレヨン、についてはまず、きちんと使いこなすまでのスキルが必要である。そして使いこなすことができれば、それぞれ多彩な描線を引き出すことができる。たとえば筆と墨では細太の差やハネ、カスレなどの表現ができ、絵画にも用いることができる。

エアブラシは太さや濃さの調整スキルを、テクノロジーで力から時間に置き換えている。幅広さが筆とは違うものの、基本的に目指す方向は類似している。サインペンでは、筆致の太さの違いを実現するため、両端にペンを付けるという技術が用いられる。スキルを必要とせず、太さのかき分けが可能となるが、中間の自由な太さは描画できない。タイプライタとワープロは、文字を書くことに特化したテクノロジーを持つ筆記具である。文字自体は非常に綺麗に発字可能だが、書体や大きさを変えることが難しい場合がある。

筆記具に共通する性質として、どれもスキル、テクノロジーともに必要とし、その関係が乗法的になっている。テクノロジーの高いワープロであっても、文章を書くためにはタイプは必須である。入力自動予測や編集アシストなども効果はあるが、タイプ速度それ自体はボトルネックである。

5.6 閉じ具

服など布物体を閉じ合わせることを考える。スキルの順番に、並べると次のようになる。なし、帯、紐、ボタン、フック、ジッパー、面ファスナー、マグネット、ゴム

「なし」は、服であれば単に巻いただけで留める方法で、ローマ風ケープや東南アジアの巻きスカートがある。留め方のスキルがないと着衣することができない。帯は外部から摩擦を用いて留める道具であるが、基本原理は巻きスカートと同じである。太手の紐を付けた丹前やちゃんちゃんこ形式となると、紐結びができれば閉じることができる。引き解け結びなど使う人を選ぶ。

ボタン付け外しは小児のトレーニングに入っていて、使用頻度が高くかつスキルを要求する閉じ具である。社会的な要請のあるスキルフルな道具の一つである。紐、ボタン、フックなどは、使用者にスキルを強要することで、不必要に高度にならずに目的を達する、スキルトロニクスな閉じ具であると言える。

マグネットやゴムによる閉じ機構は、コツやスキルをほぼ必要としない。ゴムはつまりズボンのウェストゴムなどのことで、広げることができれば、あとは自動的に閉まる。

6 おわりに

メカトロニクス技術が進歩し、人間と人工物の協業パフォーマンスは向上している。しかしながら、技術があるがゆえに、人間のスキルを低く見積りすぎて失敗システムとなることがしばしばある。

本稿では、人間にもスキル負担を与えることで、技術もスキルも中庸でありながら協業パフォーマンスが高くなるような設計目標を達成する、という設計手法のスキルトロニクスを提案した。

また、ジャグリングの道具を例にして、その設計の様子を示し、いくつかの道具について、それぞれの要求スキルと、そのテクノロジーについて分析した。

スキルトロニクスなデザイン過程で、定性的な評価を行うため ST 平面を提案した。ST 平面を用いることによって、技術とスキルに関するいくつかの直観的事例を説明できることを示した。さらに、協業効果を p として、ST- p の 3 変数関係を 2 次元の多様体曲面としてとらえ、それらの切断面を考えることで、目的達成の困難性原因の理解に役立つ可能性を示した。

今後、スキルサイエンスで開発されてきた様々な手法を活かし、定量的に獲得表現する手法を構築すること、実応用に活かしていくこと、が課題である。また、非定型的な p の曲面を表現する方法を検討する必要がある。

参考文献

- [加藤 08] 加藤 寛一郎：まさかの墜落, 大和書房 (2008)
- [古川 05] 古川 康一, 植野 研, ほか：身体知研究の潮流—身体知の解明に向けて, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No. 2, pp. 117–128 (2005)
- [古川 07] 古川 康一：スキルサイエンスの展望, 第 21 回人工知能学会全国大会, pp. 1H3–7 (2007)
- [佐々木 94] 佐々木 正人：アフォーダンス：新しい認知の理論, 岩波書店 (1994)
- [生田 87] 生田 久美子：「わざ」から知る, 東京大学出版会 (1987)
- [西野 07] 西野 順二：このへんファジィ制御, 第 23 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 98–101 (2007)
- [西野 08] 西野 順二：スキルトロニクスな道具のデザイン, 第 22 回人工知能学会全国大会, pp. 1B2–9 (2008)

身体運動時の姿勢変化の分節化によるスキル熟達支援

Skill Learning-support by segmentation of posture change

西山武繁¹ 諏訪正樹²

Takehige Nishiyama¹, Masaki Suwa²

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

¹Graduate School of Media and Governance, Keio University

²慶應義塾大学環境情報学部

²The Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: Deep investigation and exploration about how to move body in performing a skill is crucially important for athletes. Meta-cognitive verbalization is one method for doing that. Recent studies on meta-cognition (e.g. [2]), although having shown its effectiveness in acquiring embodied skills, have pointed out the necessity of supportive environments and methodologies for athletes to continue meta-cognitive activities and get inspired for new discovery. Visualization of body movements and its quick feedback to athletes seem to be significant for that support. This study presents a supportive software environment in which athletes are able to easily interpret how his or her body posture changed during one trial of performance, e.g. batting swing in baseball, and compare multiple trials. Rough segmentation of body posture along the time frame is the key idea, enabling easy interpretation of one's own posture by athletes and promoting meta-cognition. Simply representing body by five triangles and representing body posture by relationships of those triangles are the basis for that rough segmentation.

はじめに:能々吟味するために

宮本武蔵の代表的な著作として知られる五輪書に「能々吟味すべし」という記述がある[1].武蔵は具体的な刀筋などについて述べた後,この一文を用いて読み手に記述内容を深く考察することを促している.剣術以外のスキルの熟達過程においても,競技者は上級者の模倣を行うだけではなく,自らのパフォーマンスを「能々吟味する」ことが極めて重要である.

競技者がパフォーマンスを「能々吟味する」ための方法の1つとして,メタ認知的言語化を挙げることが出来る.身体運動スキル獲得過程におけるメタ認知的言語化は,身体や環境,身体と環境との関係からスキルに関する新たな変数の発見を可能にし,変数間の関係性への気づきがスキルの熟達に影響を及ぼす[2].メタ認知的言語化は,アクティブな内部観測を続けることによって,それまで意識していなかった体感や身体と環境のインタラクションの中から変数を発見し,言語化する特殊な方法である.そのため,メタ認知的言語化を継続することが容易な環境を作り上げることは重要な課題となる.

本研究では,競技者のパフォーマンス中の姿勢変化を分節化し,新たな変数発見を促すためのアプリ

ケーション「カラーバー」開発し,野球の素振りをドメインとしてケーススタディに取り組んだ.本稿では,まず運動計測から被験者にフィードバックとして与えるカラーバーの生成までの手続きを記し,カラーバーによる姿勢変化の可視化がスキル学習プロセスをどのように支援できるかについて論ずる.

姿勢変化の分節化

運動計測

素振りの計測には光学式モーションキャプチャシステム(Motion Analysis 社製 MAC3Dsystem)を用いた.12 台のカメラを使用し,フレームレートは 240Hz に設定した.被験者の身体に 12 点の反射マーカを装着し,図 1 に示す計 13 箇所的位置情報を獲得した(左右の上前腸骨棘のマーカ間の中点を算出したため,実際のマーカ数よりも 1 点多い 13 箇所となる).

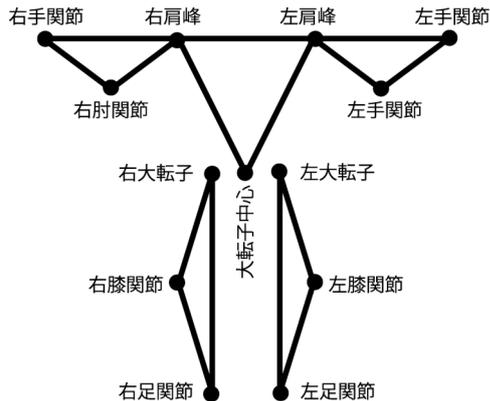


図 1:計測により位置情報を獲得した部位

一回の計測では、約 30~40 本の素振りを実施した。被験者は素振りの各試行間に、直前の素振りの評価と以降の素振りで意識すべきことをメタ認知的に書き下した。

K-means 法を用いた姿勢変化の分節化

獲得した 13 箇所の位置情報に基づき、試行中の各フレームにおける被験者の姿勢を図 1 に示す 5 面の三角形を用いて表現した。面はそれぞれ体幹、上肢、下肢を表す。体幹の面は左右の肩峰と左右の大転子の中心、上肢の面は肩峰・肘関節・手関節、下肢の面は大転子・膝関節・足間接で構成した。そして、各三角形の形(体幹の三角形は面積、それ以外の四肢の三角形は肘や膝などの主要な関節の角度)と各三角形の法線ベクトル同士の内積からなる 15 次元ベクトルによって姿勢を表した。計測後、被験者が選択した試行の計測データを上述の 15 次元ベクトルの時系列データに変換し、それら全てのデータを対象として K-means 法を用いて類似する成分をもつベクトル、つまり類似する姿勢ごとにデータを分類した。クラスタリング後のデータを再び元の時系列に配置し、試行中の被験者の姿勢変化をクラスタ名の記号列で表現した。

カラーバーによる姿勢変化の表現

クラスタ名ごとに色を割り当てることで試行中の姿勢変化を色の変化によって表現した。さらに、試行間の比較を可能にするために各試行を左足の着地した時点基準として並べた。本研究ではこの姿勢変化を表現する色の配列をカラーバーと呼称する。図 2 に 2008 年 6 月 18 日に計測したデータの中から被験者が可視化を希望した 16 試行のデータから生成されたカラーバーを示す。

図 2 の中に示す離地や着地などのイベントは左足関節に取り付けたマーカーの鉛直方向の高さに閾値を設け、マーカーが閾値を上回った時点を離地、再び

閾値を下回った時点を着地として定義した。

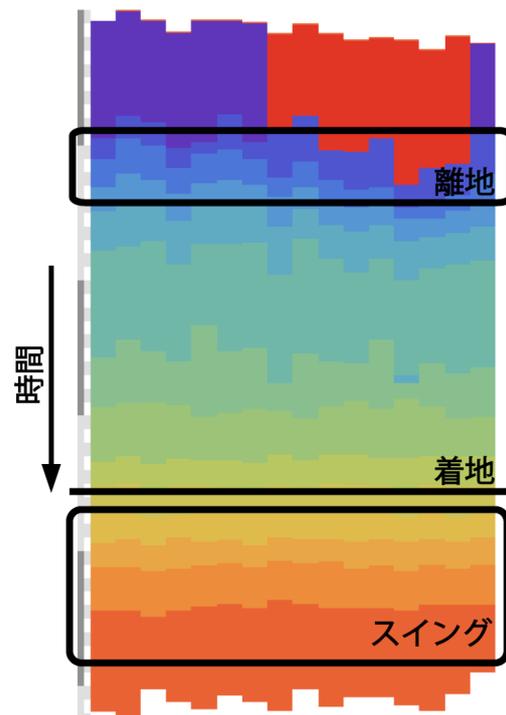


図 2:6 月 18 日の計測データから作成したカラーバー

メタ認知とカラーバー

計測終了直後に被験者が選択した試行のカラーバーを生成し、すぐ被験者フィードバックすることでメタ認知的言語化を支援することを試みた。

カラーバーが被験者のメタ認知的思考に何を与えられるか？ 被験者は自分の打撃フォームがどうであったのかを知りたい。つまり提示されたカラーバーを意味解釈することで自らのメタ認知を活性化させたいわけである。そのために、このような可視化が被験者に何を与えられるかについて、毎回の実験で実践しながら実験者と被験者で議論・模索を繰り返し、現在までのところ以下のような 3 種類の効用があることが判明している。

1. 毎回試行間に行うメタ認知で意識したことが次の素振り試行でどのように反映できたかをチェックするために利用する
2. 新しい変数や注目箇所に気付く
3. 一日の試行間での安定性を解釈する(将来的には、過去の素振りとその日の素振りの比較による長期的安定性も見ることができる)

例を以下に挙げる。図 2 (16 試行のカラーバーが横に並んだもの) の左から 8 番目のカラーバーを見て欲しい。素振りの前半部分(左足を上げる直前のスタンスの部分)の色が、8 番目のバーから色が変わっている(それまでは紺であるが、8 番目から後の素振りでは赤になっている)。この試行のひとつ前の

素振りを終わった時点で、被験者はスタンスで膝が曲がり過ぎていることに気づき、「次からは少し膝の曲げを少なくして立とう」と書いている。ビデオを見ても非常に微妙な程度の小さなスタンス修正であったが、カラーバーではその違いが如実に表現できている。被験者にとってみると、自分が意識して修正したことがきちんとフォームに現れているかをチェックすることは重要である。

その日の素振りの各試行がすべて全く同じ姿勢変化で行われたとしたら、複数のカラーバーを着地で揃えた図2には、完全に平行な横縞が出現するはずである。しかし通常は、色が変わるタイミングの試行間での差に応じて、色の変わり目の横線が段々状になって現れる。図2をみると、着地後の姿勢変化はほとんど各試行で安定しているが、足を大きく上げている最中（いわゆるバックスウィングの時）はそれに比して安定性が少ないことが見て取れる。

しかし図2の場合は、色の変わる順番はすべての試行で全く同じである。被験者の打撃フォームは一年半以上固定してきたものであり、ある程度の安定性が既に獲得されていることを示している。それに比べて図3を参照されたい。被験者はこれまでのフォームに限界を感じ始めており、7月初旬にフォーム改造に着手した。図3は2008年7月2日（フォーム改造を模索し始めた直後）の素振り実験で30試行（スウィング）したうちの14試行を選択して作成したカラーバーである。

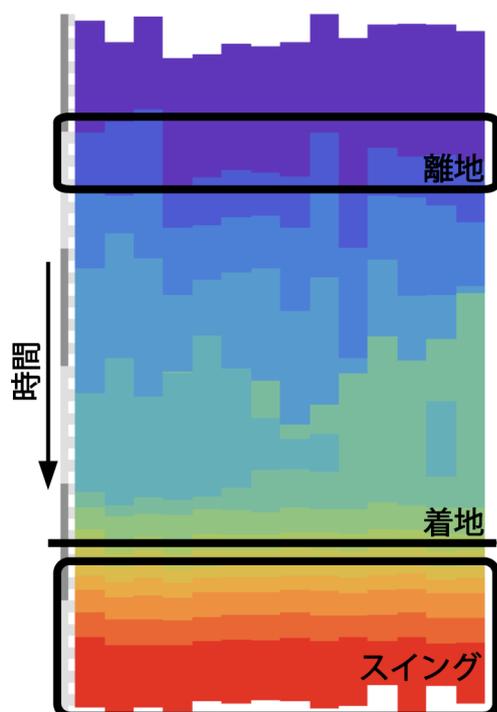


図3:7月2日の計測データから作成したカラーバー
着地の少し前の時間帯で、14試行の前半と後半

で色が異なることが観察できる（14試行分が同じ色で横に貫かれていない）。左足の離地から着地から間での各色の長さも、図2に比べると、試行間で明らかに差が大きい。フォーム改造直後であるため、スウィングが全く不安定であることを示すものと解釈できる。

熟達の過程において試行の安定性は、学習者本人だけでなくコーチにとっても重要な情報である。上記に示すように、カラーバーの比較（一日の試行間だけでなく、複数実験日の試行の比較も含む）はその情報を明確に可視化するものとして有効である。

カラーバーの複数試行間比較ではなく、カラーバーを単体に詳細に解釈しようとする、複雑な身体運動を分節化したものである以上、単体ではなかなか困難である。そこで、計測時に撮影した映像と併せて観察することで、カラーバーと試行との対応付けが可能となり、メタ認知的言語化を促進させることが出来ると考えられる。現在、図4に示すような既存のメディアプレイヤーのスライダー部分にカラーバーを表示するメタ認知支援ツールの開発に取り組んでいる（完成間近）。



図4:カラーバーを表示可能なメディアプレイヤー

今後の展望

本研究では、モーションキャプチャシステムを用いて獲得したデータを競技者にフィードバックするための新たな方法として、K-means法を用いた姿勢変化の分節化と色に姿勢変化の表現方法カラーバーの開発に取り組んだ。従来のモーションキャプチャシステムを用いた身体運動の解析は、精確に運動を計測するために計測点を増やし身体の各部位を詳細に

観察するために用いられてきた。本研究で用いた手法は、可能な限り少ない計測点の情報から複雑な身体運動を分節化することを可能にした。さらに、カラーバーを用いたフィードバックは、その意味解釈を通して競技者のメタ認知を活性化させることが出来ると考えられる。今後は、フィードバック用のツールとしてカラーバーの改良を継続するとともに、対象ドメインをより複雑な対人競技にも拡張し、競技者が自らのパフォーマンスについて「能々吟味する」ことを支援するためのツールの開発に取り組む。

参考文献

- [1] 宮本武蔵: 五輪書,岩波文庫,(1985)
- [2] 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, No.5, pp.525-532(2005)

ピアノ打鍵動作の熟練技能：「重量奏法」の科学的検証

Testing the feasibility of “weight play” in piano keystroke.

古屋晋一^{1,2} 片寄晴弘¹ 木下博²

Shinichi FURUYA^{1,2}, Haruhiro KATAYOSE¹, and Hiroshi KINOSHITA²

¹関西学院大学 理工学研究科/JST CrestMuse

¹Kwansei Gakuin University/JST CrestMuse

²大阪大学大学院 医学系研究科

² Graduate School of Medicine, Osaka University

Abstract: It has been shown that exploitation of motion-dependent interaction torques is enhanced with improvement of subject's expertise in various kinds of motor tasks involving multi-joint movements. However, it is not known whether gravitational force also learns to be effectively exploited for limb movements. The present study attacked this issue by examining the upper-limb movements and muscular activities during piano keystroke in seven expert pianists and seven novice piano players. To initiate the downswing, flexion muscular torque at the elbow that had counteracted with gravity was decreased. Associated with this, activity of the elbow extensors (agonist) occurred much earlier for the novices than the experts. Instead, the experts decreased the postural activity of elbow flexors (antagonist) before anti-gravity torque was decreased. These data indicated that the novices produced joint torque to extend the elbow joint by actively contracting its agonists, whereas the experts made it by releasing postural contraction of the antagonists to take advantage of gravitational force. These differences were noted at all levels of sound loudness. The findings strongly indicated expertise-dependent modulation of agonist-antagonist muscular synergy so as to strike the key with less muscular effort via exploiting gravitational force.

1. はじめに

重力を利用して腕を落下させ、鍵盤を打鍵する、いわゆる「重量奏法」は、20世紀初めにピアノ教師トバイアス・マティ[17]によって提唱されて以来、世界中のピアニスト、ピアノ指導者の間で、演奏時の筋肉の仕事量を軽減する打鍵技術であると考えられてきた[20]。1920年、BernsteinとPopovaは、当時開発された高速度カメラを用いて、ピアニストが実際に重力を利用して打鍵動作を行っているかを検証する実験を行った[13]。打鍵動作時の上肢運動を計測し、逆動力学計算を用いて肩、肘、手首関節に生じるトルクを推定したところ、数名のピアニストの腕降下中の肘関節において、重力によって生じるトルク（重力トルク：GRA）に比べ、筋力によって生じるトルク（筋トルク：MUS）の方が小さいという結果が得られた。MUSがGRAよりも大きい場合、重力を利用してMUSを生成することは不可能であることから、Bernsteinらは、ピアニストは重力を利用して打鍵動作を行っている」と結論付けた。しかし、

MUSがGRAより小さいというだけでは、重力を利用しているという証拠にはならず、MUS生成の背景にある筋活動様式を調べることが不可欠である。また、BernsteinらのMUSの計算方法では、関節間の力学的な相互作用（相互作用トルク）が考慮されておらず、適切な計算方法による再検証が必要である。さらに、彼らの研究はピアニストの打鍵動作のみを対象としたものであり、非熟練者については調べられていない。したがって、現在に至るまで、ピアニストが実際に重力を利用しているか、またそれが演奏者の熟練度を反映した運動技能であるかについては、一切知られていない状況である。

最近、筆者らは、ピアノ打鍵動作時の上肢関節の関節トルクを定量化する逆動力学計算法を開発した[10, 11]。その結果、ピアニストは初心者に比べ、より多くの相互作用トルクを利用することで、肘と手首のMUSを軽減していることが明らかとなった。本研究は、一流ピアニストとピアノ初心者の打鍵動作時のMUSおよび筋活動の違いについて調べることにより、演奏者の熟練度と打鍵動作における重力

の利用との関係について明らかにすることを目的とした。ピアニストは初心者に比べ、長時間に渡り疲労せずに演奏し続けることができることから[11]、ピアニストは重力を効果的に利用した打鍵動作を行っており、それによって筋肉の仕事量を軽減させていると仮説立てた。

2. 方法

国内外のコンクールにおいて入賞歴のあるピアニスト7名、およびピアノ学習歴が1年未満のピアノ初心者7名を対象に、右手親指小指を用いてのスタカートでのオクターブ連打(30回)を4段階に等分した音量(p, mp, mf, f)で実施した。手首、肘、および肩関節の関節中心の運動をポジションセンサー・カメラにより各チャンネル150Hzで取り込んだ(Figure 1)。これらに同期して、鍵盤の鉛直方向運動を他のポジションセンサー・カメラにより、さらに鍵盤に実装した力センサーによって打鍵時に鍵盤に加わる鉛直方向の力を収録した[14]。

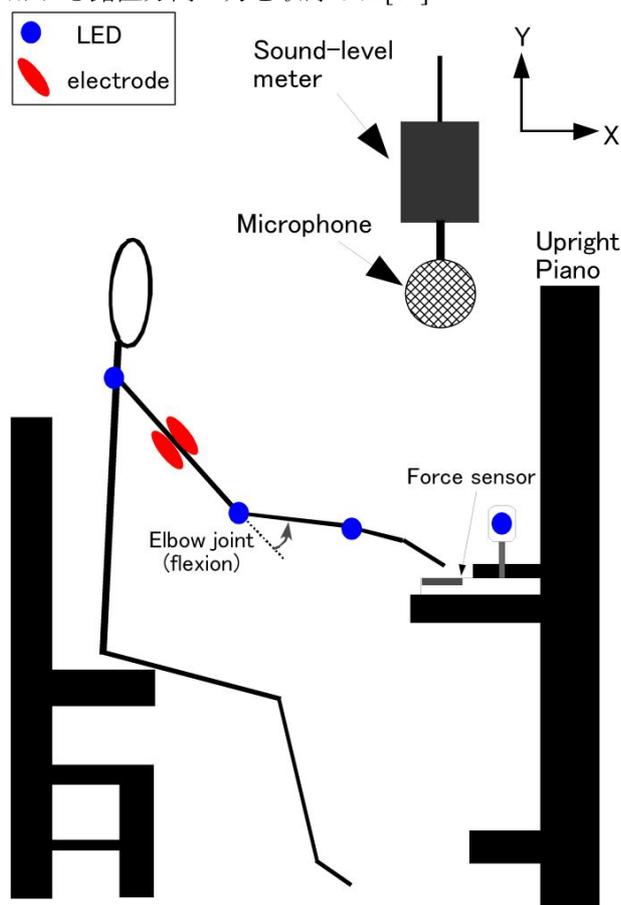


Fig. 1. LED and electrode placements and definition of joint angles. The counterclockwise direction is defined as a positive direction in angular displacement, which describes flexion movement at the elbow joint.

ニュートン・オイラー法により、肘関節の運動方程式を導出し、逆動力学計算によって、肘関節における、MUSとGRAを算出した(“付録”参照)。

肘の主要な屈筋、伸筋である上腕二頭筋、上腕三頭筋の筋活動を、表面筋電図法により各チャンネル900 Hzで計測した。筋電位信号は全波整流を行った後、先行研究で用いられた計算法により、打鍵に関連した筋活動の発火時刻を算出した[19]。

3. 結果

Figure 2は、1名のピアニストおよび初心者が、pとfの音量で打鍵した際の、鍵盤の鉛直方向の運動、肘の角速度、MUS、上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動の時系列データを表す。筋活動データは、測定信号に対し、20 HzのButterworth Low-Pass Filterをかけることにより、Linear Envelopを作成した。

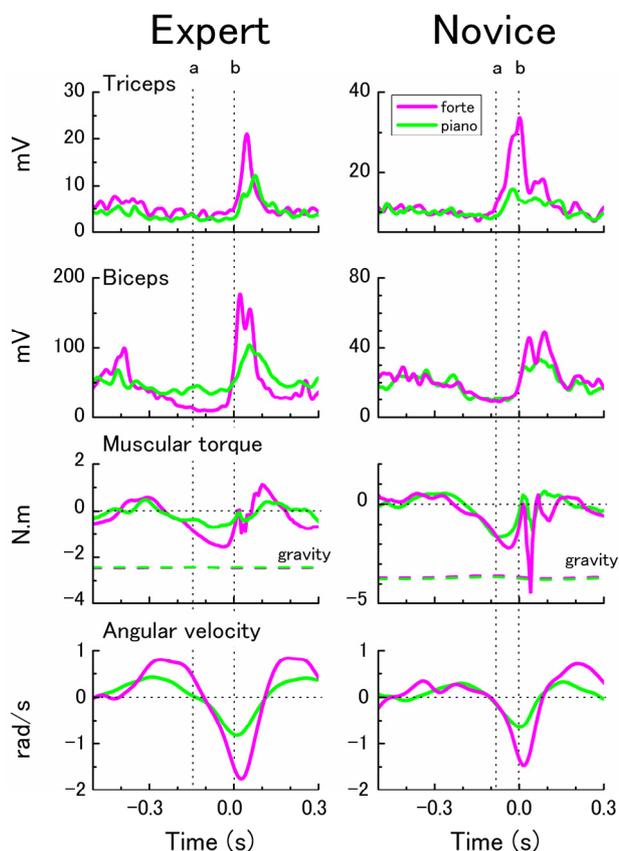


Fig. 2. Time history curves of the full-wave rectified EMGs for the triceps and biceps muscles for one representative expert and novice piano players when striking the keys at *forte* (pink) and *piano* (green) dynamics. MUS after removing its contribution to counteract GRA and the elbow angular velocity are also plotted. a: initiation of arm downswing, b: moment of finger-key contact (Time=0).

打鍵に際し、ピアニスト、初心者の双方で、肘関節の伸展動作が認められた。また、肘の伸展動作の開始に先行し、肘の伸展 MUS の生成が認められた。しかし、その背景にある筋活動パターンに関しては、両群の間で顕著な差が認められた。初心者では、肘の伸展動作の開始に先行した上腕三頭筋の活動が認められたが、ピアニストでは、鍵盤が下降動作を開始するまで、上腕三頭筋の顕著な活動は一切認められなかった。一方、肘の伸展動作に伴い、ピアニストでは、上腕二頭筋の顕著な筋活動量の減少が認められた。音量の増大に伴い、肘の伸展速度、伸展 MUS は両群共に増大し、初心者では、上腕三頭筋の活動量の増大が、ピアニストでは、上腕二頭筋の活動量の減少が認められた。

Figure 3 は、ピアニスト、初心者の各筋の発火開始時刻の全員の平均値を表す。繰り返しのある二要因分散分析を行った結果、上腕二頭筋では、両群の発火開始時刻に有意な差は認められなかった。しかし、上腕三頭筋の発火開始時刻は、初心者の方がピアニストよりも有意に早かった($F(1, 12) = 16.34, p = 0.002$)。したがって、ピアニストより初心者の方が、肘の伸展筋の相対性筋収縮の開始が早いことが明らかとなった。

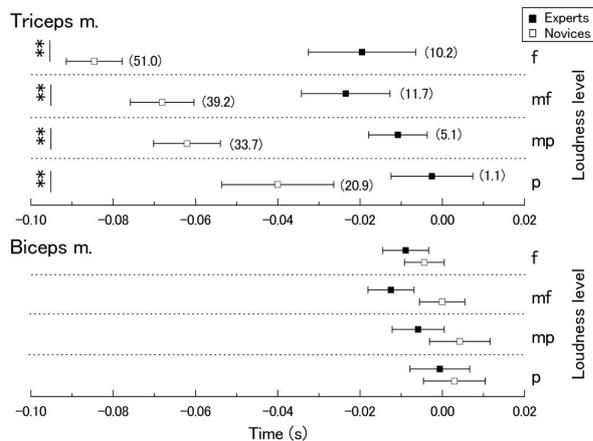


Fig. 3. The group means of the occurrence time of muscular activity during arm downswing in keystroke for the triceps and biceps muscles. Error bars represent ± 1 SD. Time zero indicates the moment of finger-key contact.

4. 考察

運動制御の分野では、「学習に伴い、脳は筋力以外の力をよりうまく利用することにより、筋肉の仕事量を軽減させる」というアイデアが古くから提唱されてきた[2]。また、ピアノ演奏においても、重力を利用して打鍵することにより、筋肉の仕事量を減ら

すという打鍵技術は、ピアニスト、ピアノ指導者の間で古くから知られていた[17, 20]。一方、先行研究では、熟練度の向上に伴い、運動依存性の相互作用トルクの利用量が增大することが、複雑な腕運動課題[12, 16]やピアノ打鍵動作[8-11]で報告されている。しかし、重力を効果的に身体運動に利用するような熟練運動技能を実証した研究は、現在までに一切報告されていなかった。

本研究の結果、打鍵に際し肘の伸展筋トルクを生成している間、熟練ピアニストの肘の伸展筋に顕著な活動は一切認められなかった。一方、その間の抗重力筋の筋活動が減少していたことから、ピアニストは重力を利用して前腕を降下させ、打鍵動作を行っていることが示唆された。一方、初心者では、肘の伸展動作の開始に先行し、肘の伸展筋の顕著な筋活動が認められた。先行研究では、下方向への腕到達運動を行う際、肩や肘の伸展動作の開始に先行した筋活動が観察されることが報告されていることから[18, 21]、ピアノ初心者は、日常動作で用いる筋活動様式を利用して打鍵動作を行っていることが示唆された。重力の利用はピアニストのみで認められたことから、長期的な運動訓練の結果、ピアニストは打鍵時の筋肉の仕事量を軽減させるために、重力を利用していることが示唆された。

重力を利用する利点は明らかであるにも関わらず、初心者はなぜ重力を利用しなかったのであろうか？本研究では、肘の伸展 MUS が生成されている間、初心者では上腕三頭筋の短縮性筋収縮が、ピアニストでは上腕二頭筋の伸張性筋収縮が認められた。先行研究では、短縮性筋収縮に比べ、伸張性筋収縮の方が、発揮力のバラつきが大きいことが報告されている[3]。そのため、重力を利用するために上腕二頭筋を短縮性筋収縮させ、ターゲットとなる音量の音を生成することは、上腕三頭筋の短縮性筋収縮を用いるよりも、より正確な運動指令を出力することが求められる。したがって、初心者は、正確にターゲットとなる音量の音を生成するために、正確な力生成が可能である、重力を利用しない運動制御方略を選択したのかもしれない。しかし、先行研究の結果、発揮筋力のバラつきはトレーニングによって減少することが報告されているため[4, 15]、重力を利用した打鍵動作を行うには、一定期間以上の運動訓練が必要であることが示唆された。

5. 演奏・指導現場への提言

リストやラフマニノフといったオクターブの多用される難易度の高いピアノ曲を演奏していると、末梢部の筋肉が疲労してしまうことは少なくない。筋肉の疲労は、演奏テンポの低下やミスタッチの増加

など、パフォーマンスの質を低下させ、さらには、腱鞘炎やジストニアなどの障害を発症する危険因子となる[1, 5-7, 20]。本研究では、ピアニストは腕を振り下ろしている際に、肘の抗重力筋である上腕二頭筋を弛緩させることで、肘の伸展動作を作り出していることが明らかとなった。したがって、初学者から中級者はその使い方を習得することで、運動効率の良い打鍵動作の実現が期待できる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、温かい激励と献身的なご指導をいただいたハノーバー音楽大学音楽生理学研究研究所所長の Eckart Altenmüller 教授、ATR 脳情報研究所の大須理英子主任研究員、中西淳研究員、大阪大学医学系研究科の橋詰謙准教授、松尾知之講師、大阪大学工学部・ERATO 浅田プロジェクトの細田耕准教授、東京大学教育学部・JST 学振特別研究員の平島雅也博士、ERATO 下條プロジェクト門田浩二博士に、心よりの感謝の意を表します。本研究の一部は、中山隼雄科学技術文化財団「平成 19 年度研究開発助成 (B)」の支援を受け、実施いたしました。

参考文献

- [1] Altenmüller E.: Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians. *Hand Clin*, 19, pp.523-38 (2003)
- [2] Bernstein NA.: The coordination and regulation of movements. Pergamon, London (1967)
- [3] Christou EA, Carlton LG.: Motor output is more variable during eccentric compared with concentric contractions. *Med Sci Sports Exerc*, 34(11), pp.1773-8 (2002)
- [4] Duchateau J, Semmler JG, Enoka RM.: Training adaptations in the behavior of human motor units. *J Appl Physiol*, 101(6), pp.1766-75 (2006)
- [5] 古屋晋一, 木下博.: 入門運動神経生理学, pp. 223-229, 市村出版, (2003)
- [6] Furuya S., Nakahara H., Aoki T., and Kinoshita H.: Prevalence and causal factors of playing-related musculoskeletal disorders of the upper extremity and trunk among Japanese pianists and piano students. *Med Probl Perform Art*, 21, pp.112-117 (2006)
- [7] 古屋晋一, 青木朋子, 木下博.: 熟練ピアニストによるピアノの打鍵テンポと音量の調節に関わる運動制御. *バイオメカニズム学会誌*, 30(3), pp.151-155 (2006)
- [8] Furuya S., Kinoshita H.: Roles of proximal-to-distal sequential organization of the upper limb segments in striking the keys by expert pianists. *Neurosci Lett*, 421,

pp.264-269 (2007)

- [9] Furuya S., Kinoshita H.: Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players. *Exp Brain Res*, 185, pp.581-593 (2008)
- [10] 古屋晋一, 木下博.: 一流ピアニストの打鍵動作における相互作用トルクの利用, *音楽知覚認知研究*, in press (2008)
- [11] Furuya S., Kinoshita H.: Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke. *Neuroscience*, in press (2008)
- [12] Kadota K, Matsuo T, Hashizume K, Tezuka K.: Practice changes the usage of moment components in executing a multijoint task. *Res Q Exerc Sport*. 75(2), pp.138-47 (2004)
- [13] Kay BA, Turvey MT, Meijer OG.: An early oscillator model: studies on the biodynamics of the piano strike (Bernstein & Popova, 1930). *Motor Control*, 7(1): pp.1-45 (2003)
- [14] Kinoshita H, Furuya S, Aoki T, Altenmuller E.: Loudness control in pianists as exemplified in keystroke force measurements at different touches. *J Acoust Soc Am*, 121(5 Pt1), pp. 2959-2969 (2007)
- [15] Kornatz KW, Christou EA, Enoka RM.: Practice reduces motor unit discharge variability in a hand muscle and improves manual dexterity in old adults. *J Appl Physiol*, 98(6), pp. 2072-80 (2005)
- [16] Marconi NF, Almeida GL.: Principles for learning horizontal-planar arm movements with reversal. *J Electromyogr Kinesiol*, in press (2007)
- [17] Matthey T.: The first principles of pianoforte playing. Longmans, Green, and co., London (1905)
- [18] Papaxanthis C, Pozzo T, Schieppati M.: Trajectories of arm pointing movements on the sagittal plane vary with both direction and speed. *Exp Brain Res*, 148(4), pp.498-503 (2003)
- [19] Santello M, McDonagh MJ.: The control of timing and amplitude of EMG activity in landing movements in humans. *Exp Physiol*, 83(6), pp.857-74 (1998)
- [20] Thomas Mark (著), 小野ひとみ (監訳), 古屋晋一 (訳) .: ピアニストならだれでも知っておきたい「からだ」のこと. 春秋社 (2006)
- [21] Virji-Babul N, Cooke JD, Brown SH.: Effects of gravitational forces on single joint arm movements in humans. *Exp Brain Res*, 99(2), pp.338-46 (1994)

付録

肘関節の運動方程式

$$\begin{aligned}
\mathbf{MUS} = & \ddot{\phi}_1 \left[\begin{aligned} & I_2 + I_3 + I_4 + m_2 r_2^2 + m_3 (l_2^2 + r_3^2) + m_4 (l_2^2 + l_3^2 + r_4^2) \\ & + (m_2 r_2 l_1 + m_3 l_1 l_2 + m_4 l_1 l_2) \cos \phi_2 + (m_3 r_3 l_1 + m_4 l_1 l_3) \cos(\phi_2 + \phi_3) + (m_4 r_4 l_1) \cos(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \\ & + 2(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \cos \phi_3 + 2(m_4 r_4 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + 2(m_4 r_4 l_3) \cos \phi_4 \end{aligned} \right] \\
& + \ddot{\phi}_2 \left[\begin{aligned} & I_2 + I_3 + I_4 + m_2 r_2^2 + m_3 (l_2^2 + r_3^2) + m_4 (l_2^2 + l_3^2 + r_4^2) + \\ & + 2(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \cos \phi_3 + 2(m_4 r_4 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + 2(m_4 r_4 l_3) \cos \phi_4 \end{aligned} \right] \\
& + \ddot{\phi}_3 \left[\begin{aligned} & I_3 + I_4 + m_3 r_3^2 + m_4 (l_3^2 + r_4^2) \\ & + (m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \cos \phi_3 + (m_4 r_4 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + 2(m_4 r_4 l_3) \cos \phi_4 \end{aligned} \right] \\
& + \ddot{\phi}_4 \left[\begin{aligned} & I_4 + m_4 r_4^2 + (m_4 r_4 l_2) \cos(\phi_3 + \phi_4) + (m_4 r_4 l_3) \cos \phi_4 \end{aligned} \right] \\
& + \dot{\phi}_1^2 \left[\begin{aligned} & (m_2 r_2 l_1 + m_3 l_1 l_2 + m_4 l_1 l_2) \sin \phi_2 + (m_3 r_3 l_1 + m_4 l_1 l_3) \sin(\phi_2 + \phi_3) + (m_4 r_4 l_1) \sin(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \\ & - \dot{\phi}_3^2 \left[(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \sin \phi_3 + (m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_4^2 \left[(m_4 r_4 l_3) \sin \phi_4 + (m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_3 \left[2(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \sin \phi_3 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_4 \left[2(m_4 r_4 l_3) \sin \phi_4 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_2 \dot{\phi}_3 \left[2(m_3 r_3 l_2 + m_4 l_2 l_3) \sin \phi_3 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_2 \dot{\phi}_4 \left[2(m_4 r_4 l_3) \sin \phi_4 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - \dot{\phi}_3 \dot{\phi}_4 \left[2(m_4 r_4 l_3) \sin \phi_4 + 2(m_4 r_4 l_2) \sin(\phi_3 + \phi_4) \right] \\ & + g \left[(m_2 r_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2) \sin(\phi_1 + \phi_2) + (m_3 r_3 + m_4 l_3) \sin(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) + (m_4 r_4) \sin(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \right] \\ & - F \left[l_2 \cos(\phi_1 + \phi_2) + l_3 \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) + l_4 \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \right] \end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

SYMBOLS. I_i = moment of inertia about the center of gravity, r_i = distance to center of gravity from proximal joint of the segment, l_i = length, m_i = mass ($i = 1$: upper arm, 2: forearm, 3: hand, 4: finger). The hand was defined as a portion from the wrist joint center to MP joint center, while the finger was from the MP joint center to the fingertip. ϕ_i = joint angle ($i = 1$: shoulder, 2: elbow, 3: wrist, 4: MP). To approximate the sum of key reaction forces applied at the thumb and little finger, the measured key reaction force were doubled and inputted into the value of F in equations of motion [11]. The tangential force was set to nil for simplicity of computation.

知覚-認知スキルの研究動向

Trends in perceptual-cognitive expertise

加藤貴昭^{1*}
Takaaki Kato¹

¹ 慶應義塾大学環境情報学部

¹ Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: The purpose of this paper is to review methodological trends and the currently accepted framework for studying expert performance and to consider implications for research in the area of perceptual-cognitive expertise in sport. Initially, I highlight methodologies such as eye movement recording, film occlusion techniques, point-light displays, and verbal protocol analysis that can be used to identify the mechanisms which mediate experts' superior performance in perceptual-cognitive skills. I note next that the expert performance approach presents a descriptive and inductive approach for the systematic study of expert performance. The contribution of methodologies and the relevance of expert performance approach to the study of perceptual-cognitive expertise in sport are discussed and suggestions for future work highlighted.

1 はじめに

スポーツ競技のような常にダイナミックに変化する環境下においては、しばしば通常の人間の限界を超えるような時間的および空間的制約がもたらされるが、熟練した競技者はそのような状況においても常に優れたパフォーマンスを発揮することができる。近年の実験手法の技術発展に伴い、様々な環境下における多様な知覚-認知タスクを用いた研究が増えてきている。本論文では、スポーツ競技者の知覚-認知スキルに関する最近の研究を外観しながら、研究手法として特に眼球運動計測、視覚刺激の加工技術、言語報告を取り上げ、近年の動向について整理し、関連する理論背景として、熟達化研究における熟練パフォーマンスアプローチを取り上げる。そして現在残された課題を探りながら、今後の研究展望について考察する。

2 研究手法

時間的および空間的な制約のある環境下において、熟練競技者はただ闇雲に大量の情報に注目しているのではなく、特定の視覚探索パターンを用いて効率よく視覚情報を獲得している [Williams 99]。そのような視覚探索活動を評価するためには、競技者の眼球運動を計測する研究手法が有効であり、これまでに様々な競技

を対象とした研究が行われてきた。[Mann 07] は知覚-認知スキルにおける眼球運動を取り扱ったこれまでの主要な研究に対してメタ分析を行ったところ、概して熟練競技者は迅速かつ正確に反応し、より少ない対象に対してより長い時間注視している、といった実験結果が多いことを明らかにした。

競技者はいかなる先行手がかり (advance cue) をもとに予測や意思決定を行っているのかという疑問に対しては、刺激映像の加工技術を駆使した実験が行われており。例えば、事象遮蔽 (event occlusion) により相手選手の身体部位の一部を遮蔽することにより、判断に影響を及ぼす視覚情報を特定したり、時間遮蔽 (temporal occlusion) により刺激映像を決められた時間で遮蔽することにより、どの時点で視覚情報を得ているのかを特定することができる [Jackson 07][Farrow 05]。また、対象となる人間の関節部位などに配置された光点のみが呈示される光点表示 (point-light display) により、パフォーマンスに必要な最小限の本質的情報としての相対的運動連鎖情報を特定することができる [Ward 02]。

タスク試行中の認知過程を探るためには、プロトコル分析 [Ericsson 93a] が用いられている。特に戦略的な意思決定に注目した研究が多く、例えば [Raab 07] はハンドボール選手の意思決定における認知過程を2年間追ったところ、熟練者は特にオプション生成 (option generation) における初期オプションおよび最終決定オプションの質が優れていたことを明らかにした。

*連絡先：(慶應義塾大学環境情報学部)
(〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322)
E-mail: tiger@sfc.keio.ac.jp

3 熟練パフォーマンスアプローチ

[Ericsson 91] は熟練パフォーマンスアプローチと呼ばれる熟達化の新たな汎用理論枠組みを提案した。最近ではこの熟達化と熟練パフォーマンスに関する書籍や論文での特集が増えているように、様々な研究領域で注目されている。

熟練パフォーマンスアプローチにおいては、実証的に熟練パフォーマンスを分析するための3つの重要な段階が提案されている。第1段階では主に代替タスクを用いて熟練パフォーマンスの特性を把握する。第2段階では多くの研究で見落とされがちなタスク中の振る舞いに着目し、その処理過程を測定することで熟練パフォーマンスをもたらすメカニズムを同定する。そして第3段階では練習履歴の追跡や、学習への介入により、熟練パフォーマンスの発達を検証する。

第2段階の分析において、熟練者が示す迅速で的確な意思決定の裏では、関連するタスクの文脈に統合され、かつタスク中に生成される認知的介入によって構成される、現状の記憶表象の活用が行われており、これが熟練パフォーマンスをもたらす一つのメカニズムであると考えられている。また、この記憶表象は長期記憶の中に貯蔵され、タスク中のみならずタスク後においてもアクセス可能であり、このような記憶のメカニズムは長期ワーキングメモリ (long term working memory: LTWM) と呼ばれる [Ericsson 95]。

第3段階の分析における熟練者の練習履歴を検討においては、deliberate practice 理論 [Ericsson 93b] の枠組みが深く関連している場合が多い。deliberate practice を直訳すると「熟慮された練習」という意味になるが、[Ericsson 93b] によると、選手に対して洗練されたタスクを要求し、適宜フィードバック、反復、エラー修正の機会があり、特定の目標設定がなされている練習であると定義されている。このような質的な特徴以外にも、多くの熟練者が特定の競技に10年以上携わり、20歳になるまでに1万時間の練習をこなしているというデータから、いわゆる10年ルール、1万時間ルールといった量的特徴も見られる。この deliberate practice は楽器演奏者やチェスの熟達化に注目したものをはじめ、最近では各種スポーツ競技を対象にした研究も増えている。また、[Ericsson 07] は、遺伝か、環境かといった問題に対してこの deliberate practice 理論の視点から議論しており、熟達化に関する遺伝的関与としては、唯一身体のサイズの要素が影響しているくらいであり、それ以外は deliberate practice による要因が大きいと結論付けている。つまり、スター選手は生まれた時からスター選手ではなく、特定の練習によっ

てスター選手になったのであるという主張である。

熟練パフォーマンスアプローチが主張する熟達化の発達モデルは、伝統的な運動学習の認知・統合・自動化という3段階モデルとは異なる。[Ericsson 98] によると、日常的な活動の目的は満足いくレベルにできる限り早く到達することであり、これが安定した状態、すなわち自動化の段階であるとしている。つまり、自動化段階で到達できるのは日常的な活動のレベルであると主張している。一方、熟練者はより高いレベルでのパフォーマンス制御を成し遂げるために、より複雑な心的表象の増進を常に発達させており、それ故に自動化段階ではなく、認知・統合段階に留まり続けている。つまり、いかなるレベルの熟練者であっても常に認知的努力が必要であり、認知・統合の段階に留まりながら、さらに次のレベルを目指すことが重要であると主張している。

4 課題と展望

スポーツにおける知覚-認知スキル研究の最も重要な課題は、「いかにしてスキルが獲得されるのか」といった、いわゆる運動学習の側面を明確にすることである。スキルが獲得される背景にはいかなる要因があるのか、また、どのようなトレーニングが有効であるのかを実証的に検討し、理論的かつ実践的に解明する必要がある。熟練パフォーマンスアプローチが示すように、知覚-認知スキル実験と共に被験者のこれまでの練習履歴を詳細に検討することにより、練習の微細構造 (microstructure) から deliberate practice が示す関連性を帰納的に探ることも有効であると考えられる。

また、被験者、タスク、環境を考慮して、実験をデザインすることも重要となる。例えば近年の認知科学等で取り上げられている「身体性」の問題 (例えば embodied cognition) などは注目すべきテーマであり、知覚、認知、行為、身体といった関係 (制約) を考慮し、本来 (in situ) の環境の中で人間の運動行動について幅広く考察することが今後の研究の指針となる。

参考文献

- [Williams 99] Williams, A. M., Davids, K., Williams, J. G. P.: *Visual perception and action in sport*, New York ; London: E&FN Spon, (1999)
- [Mann 07] Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., Janelle, C. M.: Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis, *Journal of Sport &*

Exercise Psychology, Vol. 29, No. 4, pp. 457–478 (2007)

- [Vickers 07] Vickers, J. N.: *Perception, cognition, and decision training : the quiet eye in action*, Leeds: Human Kinetics, (2007)
- [Jackson 07] Jackson, R. C., Mogan, P.: Advance visual information, awareness, and anticipation skill, *Journal of Motor Behavior*, Vol. 39, No. 5, pp. 341–351 (2007)
- [Farrow 05] Farrow, D., Abernethy, B., Jackson, R. C.: Probing expert anticipation with the temporal occlusion paradigm: experimental investigations of some methodological issues, *Motor Control*, Vol. 9, No. 3, pp. 332–351 (2005)
- [Ward 02] Ward, P., Williams, A. M., Bennett, S. J.: Visual search and biological motion perception in tennis, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 73, No. 1, pp. 107–112 (2002)
- [Ericsson 93a] Ericsson, K. A., Simon, H. A.: *Protocol analysis : verbal reports as data*, Rev. Ed., Cambridge, Mass. ; London: MIT Press, (1993)
- [Raab 07] Raab, M., Johnson, J. G.: Expertise-based differences in search and option-generation strategies, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 13, No. 3, pp. 158–170 (2007)
- [Ericsson 91] Ericsson, K. A., Smith, J.: *Toward a general theory of expertise: prospects and limits*, Cambridge: Cambridge University Press, (1991)
- [Ericsson 95] Ericsson, K. A., Kintsch, W.: Long-Term Working-Memory, *Psychological Review*, Vol. 102, No. 2, pp. 211–245 (1995)
- [Ericsson 93b] Ericsson, K. A., Krampe, R. T., Tesch-Romer, C.: The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance, *Psychological Review*, Vol. 100, No. 3, pp. 363–406 (1993)
- [Ericsson 07] Ericsson, K. A.: Deliberate practice and the modifiability of body and mind: toward a science of the structure and acquisition of expert and elite performance, *International journal of sport psychology*, Vol. 38, No. 1, pp. 4–34 (2007)
- [Ericsson 98] Ericsson, K. A.: The Scientific Study of Expert Levels of Performance: general implications for optimal learning and creativity, *High Ability Studies*, Vol. 9, No. 1, pp. 75–100 (1998)