

ドラム打叩動作における身体の協応と熟達に関する研究： 表面筋電図を用いた演奏安定性の検討

Motor Coordination during Tapping by Professional Drummers

谷貝 祐介[†], 古山 宣洋[‡]
Yusuke Yagai, Nobuhiro Furuyama

[†] 早稲田大学人間科学研究科, [‡] 早稲田大学人間科学学術院
Waseda University
mth_jyo1-2tokin@suou.waseda.jp

Abstract

Secrets of professional drumming techniques were investigated. A previous study has indicated that professional drummers exhibit less co-construction of the pair of antagonistic muscles (flexor and extensor) than non-drummers, when tapping as fast as possible for twelve seconds. Nevertheless, even professional drummers might use not only the pair of topical antagonistic muscle groups in the forearm, but also multiple muscle groups when they tap at a normal tempo for a relatively long time. To explore this possibility, we asked professional drummers (n=3, PDs), non-drummers (n=4, NDs), and an experienced drummer (n=1, ExD) to perform the following two tasks: [1] a two-minute tapping task using a drumstick at 120 and 160 bpm; and [2] a two-minute tapping task using a drumstick at 120 and 160 bpm, while rotating the wrist of the hand holding the stick. The tap-pressure data, Electromyogram (EMG) of the two pairs of antagonistic muscle groups of the forearm, as well as high-speed digital video data of the entire scene were acquired. Then, the mean and the standard deviation (SD) of Inter-Tap Interval (ITI), and the SD of Relative-Difference Signals (RDS) were calculated. The results indicated that the SDs of ITI in PDs were much smaller than those in NDs. The SDs of RDS in PDs, on the other hand, were much larger than SDs of RDS in NDs. These results corroborated previous studies, however, the histograms of RDS suggested that there were different distribution patterns of RDS, even among PDs, including a pattern interpreted as an index for co-construction of antagonistic muscle activation. Therefore, it is concluded that dexterous drum performance is not necessarily achieved only by using the pair of antagonistic topical muscles.

Keywords— motor control, coordination, electromyogram, drum performance, RDS

1. 問題: ドラム演奏の熟達

本研究の目的は, 「ドラム演奏の熟達メカニズム」を明らかにすることである。本稿では, ドラム演奏の運動制御に焦点を当て, 熟練者が, 局所的な筋肉の制御ではなく, 様々な筋肉を協働させながら, 打叩間隔 (Inter-Tap Interval, 以下 ITI)¹・打叩強度ともに安定

した演奏を実現していることを, 熟練者・未経験者・経験者の比較を通して検証した。

先行研究としては Fujii, Kudo, Ohtsuki, & Oda^[1] が挙げられる。Fujii et al.^[1] は世界一高速で打叩できるドラマー (World's Fastest Drummer, 以下 WFD) と通常のドラマー (Ordinary Drummer, 以下 OD) と未経験者 (Non-Drummer, 以下 ND) の比較検討を行った。その結果, 第一に WFD は他群に比べて表面筋電の出力が極端に小さいこと, 第二に主動拮抗筋である屈曲伸展筋が共収縮することなく, 交互に活動をしていることを示した。以上を通して WFD は, 無駄な筋負担を避けながら, 高速かつ安定的な打叩を実現していることが指摘された。

しかしながら, 以上の Fujii et al.^[1] の検討には理論的な問題点が存在する。これまでの随意運動研究には鍵盤支配型モデルと自己組織的協応モデルの相反する二つのモデルが存在する^[2]。「鍵盤支配型モデル」とは, 中枢神経システムのライブラリに蓄えられた身体定位の情報を, 文脈に応じて呼び出し, またそれらを組み合わせながら, 一つの運動を実現していると捉えるモデルである。このモデルは, 運動の自由度が膨大になることや (関節で 10^2 , 筋肉で 10^3 , 神経で 10^{14} のオーダーを決定しなければならない), 横紋筋の性質上, 命令一実行結果が 1 対 1 に対応しないことなどの問題があることが指摘されている^[3]。

以上の指摘を踏まえ, Bernstein^[4] は「自己組織的協応モデル」を提案した。そこには, 中枢神経系によるトップダウンな制御ではなく, 各所が相互に制約しあうことで, 自己組織的に運動が形成されていくシステムが仮定されている。運動に必要な変数をすべて個別に指定しなくとも, 身体諸部位が一つのシステムとして協働し, 自律的に秩序を構成する。我々の運動は, 要所さえ制御すれば創発するのである。

以上を踏まえると, Fujii et al.^[1] が依拠していたのは, 鍵盤支配型モデルであったように思われる。すなわち,

¹ 1 打叩毎の時間的間隔のこと。Fujii et al.^[1] では, それらについて, 平均・標準偏差を算出し, 演奏安定性の指標としている。

Fujii et al.^[1]は、ドラムのスティック振り上げと振り下ろしを、屈曲伸張筋に対応させる 1 対 1 対応の命令形を想定している。このような捉え方では、Bernstein^[3]が正しく指摘したように、身体各部が連鎖構造を持つ運動のダイナミクスを十分に捉えることはできない。

そこで本研究では、ドラム熟練者が、局所的な筋制御ではなく、様々な筋を協働させながら、打叩間隔・強度ともに安定した演奏を実現していることを実証する。検証する仮説は、以下の通りである。

仮説 1: 熟練者は、命令—実行結果が 1 対 1 対応するような局所的な筋制御ではなく、多数の命令を最終的に 1 つの実行結果に調整することで演奏安定性 (ITI・打叩強度) を維持している。

仮説 2: 未経験者は、多数の命令に対して、実行結果を調整することができず、実行結果が多数出力されるため、演奏安定性 (ITI・打叩強度) を維持することが困難である。

具体的には、以下に示す作業仮説の検証を通して、仮説 1, 2 を検証した。

2 分間の打叩課題 (実験 1, 2) に対して, [1] 熟練者は場面に応じて主働拮抗筋を切り替えることで、演奏安定性 (ITI・打叩強度) を維持することができ, [2] 未経験者は多様な筋活動は認められるが、それらを調整することができず、演奏が不安定になること。また、手首を回旋させながらの打叩課題 (実験 2) に対して, [3] 熟練者は、場面に応じて主働拮抗筋を切り替えることで、演奏安定性 (ITI・打叩強度) を維持することができ, [4] 未経験者は、常に入射角が変動する状況に対して、筋

活動が調整できず、演奏が不安定になること。

本研究では、Fujii et al.^[1]で用いられた打叩時の打圧データ、主働拮抗筋の一对 (尺側手根屈筋・長橈側手根伸筋) のデータに加え、指の運動を司る筋肉 (深指屈筋・総指伸筋) を対象とし、それらについて、打叩時の表面筋電図を取得し、検討した (図 1)。

2. 実験 1

2.1 目的

本実験では、2 分間の打叩課題を用い、熟練者は未経験者よりも、演奏安定性 (ITI・打叩強度) が高くなることを検証した。またそれらが、身体定位の柔軟な調整から成立していることを、定性的・定量的検討を交えて検証した

2.2 方法

実験計画: 実験参加者 2 要因 (熟練度(2)・テンポ(2)) 混合計画であった。具体的には、実験参加者の熟練度 2 水準 (熟練者・未経験者) とテンポ 2 水準 (120bpm, 160bpm) を操作し、検討した。なお、本実験では熟練度 2 水準の中間群として、経験者群を設定したが、n=1 であったため参考値として検討し、統計的検定には含めなかった。

実験参加者: ドラム演奏の熟練者・打楽器経験者・未経験者を対象に実験を行った。熟練者は、ドラム演奏歴を 20 年以上持つ、ヤマハのドラム講師 (n=3, 全て男性) であった。平均年齢は 38 歳であった。演奏スタイルはロックであった。打楽器経験者は、中学校から高校卒業まで吹奏楽部で打楽器を演奏していた早稲田大学人間科学部学生 (n=1, 女性, 20 歳) であった。同参加

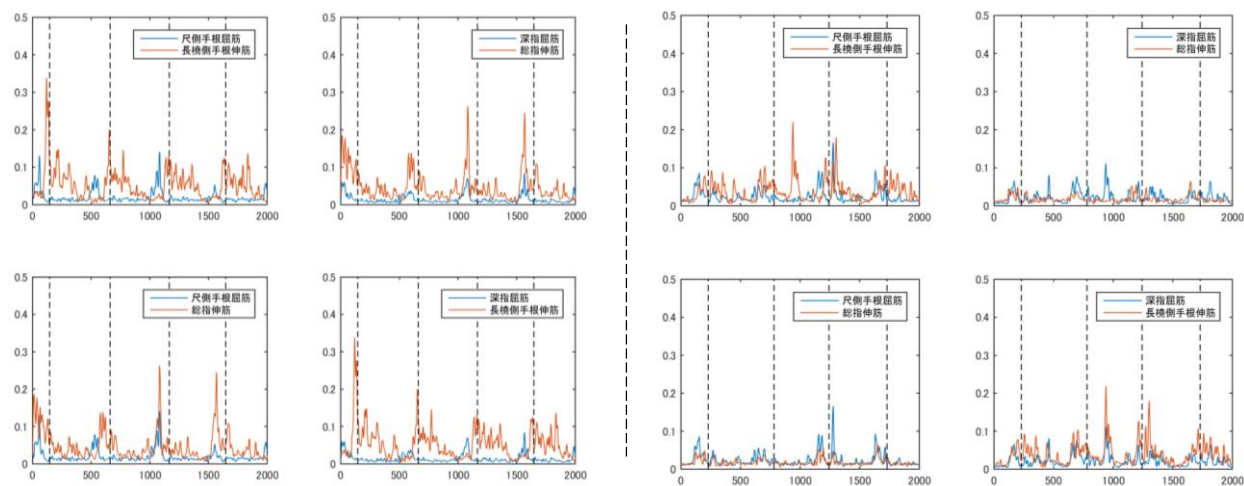


図 1: 前腕の筋活動
(左: 熟練者 1, 実験 1, 120bpm; 右: 未経験者 3, 実験 1, 120bpm)

者には2年のブランクがあったものの、経験者群として検討した。未経験者は、ドラム経験のない早稲田大学人間科学部学生(n=4, 全て男性)であった。平均年齢は、22.25歳であった。スポーツ経験にはばらつきがあった。なお、参加者は全員右利きであった。

使用機器：打圧データは、ドラム用練習パッド(VICFIRTH社, VICPAD6)に圧力センサ(DKH社, PH-464)を埋め込んだものを用い、取得した。打叩時の筋活動は、Biometrics社製の表面筋電計(SX230)を用い、計測した。本実験では、4本の表面筋電計を用い、1)尺側手根屈筋 2)長橈側手根伸筋 3)深指屈筋 4)総指伸筋の筋電図を取得した。なお、当該筋についての貼付位置の決定は、触診によって行った。上記データはすべて時系列データであり、それらを同期して収録することができるTRIASシステム(DKH社)を用い、計測した。サンプリング周波数は1kHzとした。

補足データとして、ハイスピードカメラ(CASIO, EX-100PRO)を2台使用し、打叩時の映像データを記録した。撮影は120fpsで行った。

課題：テンポ2水準(120bpm, 160bpm)について、それぞれ2分間打叩することとした。これらを1セットとし、3セット行った(計6試行)。実験参加者には、初めにメトロノーム音を呈示し、それに合わせて打叩させた。メトロノームは、打叩と同期してきたところで停止した。計測はメトロノームを停止したのち開始した。練習パッドの高さ・角度は固定した。使用スティック(Pearl 110H)は、同じ型のものを4本用意し、その中から参加者の好みのものを選ばせた。高さ調節が可能なドラム用の椅子(Pearl, D1000N)を用いた。椅子の高さは、実験開始前に参加者自身に調整させた。なお、未経験者には、膝の角度が90度より少しだけ大きくなる程度が一般的なドラマーの目安であることを伝えた。ドラム演奏経験の全くない未経験者には、それぞれのグリップの説明と叩き方の教示を行った。把持位置については、スティック全体の3分の1程度の位置を目安にした。グリップはフレンチグリップとした。なお、同グリップは、親指がスティックの真上に来るよう把持するものであり、ティンパニなどの高速打叩が要求される楽器演奏で用いられることが多い。

分析・統計：データ処理は全て、数値計算言語Matlab(Mathworks社)を用いた。打圧データは、各打叩のピーク値を算出後、それらの強度・ITIの平均値・SDを算出した。表面筋電データは、1)全波整流後(全ての値を2乗した後、平方根を取った)、2)それらのデー

タに対して9msの移動平均をかけた。以上の処理を施した表面筋電データを用い、屈曲伸筋の相対差分信号(Relative-Difference Signals (Hauer^[4]; Fujii, et al.^[5]), 式(1), 以下RDS)を算出した。

$$RDS = (\text{屈曲筋} - \text{伸筋}) / (\text{屈曲筋} + \text{伸筋}) \quad (1)$$

同式は、時系列データ内の屈曲筋・伸筋の出力の差分を両者の和で除した値を全て求めることで、試行内で屈曲筋・伸筋の共収縮がどれほどの割合で起きているか、またどちらが優勢であるかを検討するためのものである。具体的には、共収縮が優勢の場合にはRDS=0の頻度が高く、屈曲筋優勢の場合には上限が1となる正の値の頻度が高く、伸筋優勢の場合には下限が-1となる負の値の頻度が高くなる(図2)。Fujii et al.^[1]では、OD群のRDSのSDがND群より有意に大きく、すなわち屈曲伸筋の出力がはっきりと分離しているため、0付近の値が表す共収縮の割合が少ないと主張されている。なお本実験では前腕の屈曲伸筋に、センサを2個ずつ装着したため、以下の4つの筋肉の組合せについてRDSを算出し、検討した。

- 1)尺側手根屈筋—長橈側手根伸筋
- 2)深指屈筋—総指伸筋
- 3)尺側手根屈筋—総指伸筋
- 4)深指屈筋—長橈側手根伸筋

本実験では、Fujii et al.^[5]との比較のためRDSのSDについて検討したうえで、全てのRDS(筋の組み合わせ4条件×テンポ2条件=8条件)の分布について、ヒス

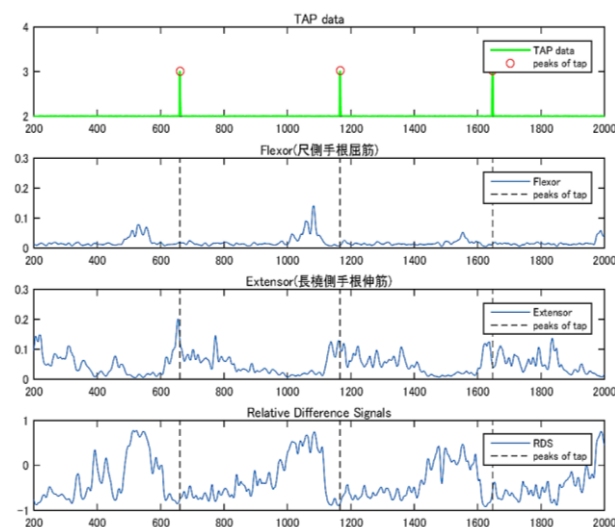


図2：RDSの算出

(熟練者1, 120bpm; 1段目: 打圧データ, 2段目: 屈曲筋, 3段目: 伸筋, 4段目: RDS)

トグラムを作成し(図 3), それらを定性的に比較した。また, 補足データとして, 1 試行 2 分間の RDS を, 時間軸で 10 分割 (12 秒間分) し, プロットすることで, 試行内の筋活動にどのような変遷があるのかについても検討した(図 4)。

ハイスピードカメラによる映像分析では, 熟練者 2 名について, 打叩 5 周期分の映像を抽出し, 定性的に検討した。映像は前横 2 点から撮影したデータの時系列を同期させ, 使用した。

統計処理は全て R(Ver.3.1.1)を用いた。等分散性の検定 (バートレット検定) により, 取得データの正規性を確認した後, 熟練度 (2 水準) ×テンポ (2 水準) について, 繰り返しのある 2 要因分散分析を行った。多重比較はホルム法を用いた。なお, 本実験で得られたデータは全て, パラメトリックデータであった。

2.3 結果

ITI・打叩強度: ITI の平均値と SD について(表 1), 120bpm (周期は 500ms) では, 熟練者 507.9±11.9ms, 未経験者 507.912±34.94, 160bpm (周期は 375ms)

では, 熟練者 380.92±8.18ms, 未経験者 362.02±28.82ms であった。繰り返しのある 2 要因分散分析の結果, ITI の平均については熟練度の主効果・交互作用は認められなかった(F(1,13)=0.44, ns, F(1,13)= 0.53, ns)。テンポについては主効果が認められたが, これは目標とされるテンポが異なるためであった(F(1,13)=94.28, p<.001)。SD については, 熟練者は未経験者よりも有意に小さかった(F(1,13)=505.8, p<.001)。また, テンポの主効果・交互作用は認められなかった(F(1,13)= 0.23, ns; F(1,13)=0.11, ns)。以上の結果は, 熟練度によって ITI の平均自体に統計的に有意な差はないが, 打叩間隔のバラつきを表すSDは, 熟練者の方が有意に小さいことを示している。なお, 経験者(n=1)の ITI は, 120bpm では, 495.80 ±17.46ms, 160bpm では, 358.54±14.94ms であり, いずれの SD も未経験者よりは小さく, 熟練者よりは大きい結果となった。

打叩強度についての平均と SD では, 120bpm では, 熟練者 3.42 ±0.12mV, 未経験者 2.72 ±0.37mV, 160bpm では, 熟練者 3.45±0.32mV, 未経験者 2.68±0.35mV であった。繰り返しのある 2 要因分散分析の

表 1: ITI・打叩強度

Tap	熟練者(n=3)		未経験者(n=4)		経験者(n=1)	
	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM
ITI(ms)	507.9	380.92	507.91	362.02	495.8	358.54
強度(mV)	3.42	3.45	2.72	2.68	3.86	3.63
ITI SD(ms)	11.9***	8.18***	34.94	28.82	17.46	14.94
強度 SD(mV)	0.12**	0.32**	0.37	0.35	0.25	0.4

ITI目標値:120bpm 500ms; 160bpm 367ms
*p<.05, **p<.01, ***p<.001.

表 2: RDS SD

RDS SD	熟練者(n=3)		未経験者(n=4)		経験者(n=1)	
	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM
Mean 1	0.44*	0.45*	0.33	0.34	0.41	0.44
Mean 2	0.3+	0.3+	0.29	0.31	0.36	0.4
Mean 3	0.29	0.32	0.27	0.26	0.4	0.41
Mean 4	0.45	0.44	0.34	0.37	0.38	0.42
SD 1	0.05	0.09	0.02	0.03	0.03	0.03
SD 2	0.03	0.04	0.06	0.02	0.01	0.01
SD 3	0.06	0.08	0.06	0.08	0.03	0.04
SD 4	0.06	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01

1: 尺側手根屈筋 - 長橈側手根伸筋, 2: 深指屈筋 - 総指伸筋, 3: 尺側手根屈筋 - 総指伸筋, 4: 深指屈筋 - 長橈側手根伸筋
+p<.1, *p<.05, **p<.01, ***p<.001.

表 3: 熟練者毎の ITI・打叩強度

Tap	熟練者1		熟練者2		熟練者3	
	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM
ITI(ms)	533.20	394.36	495.70	370.86	495.09	377.57
強度(mV)	2.95	2.97	3.98	3.98	3.32	3.39
ITI SD(ms)	13.29	8.78	11.82	8.85	10.71	6.92
強度 SD(mV)	0.03	0.06	0.17	0.13	0.16	0.18

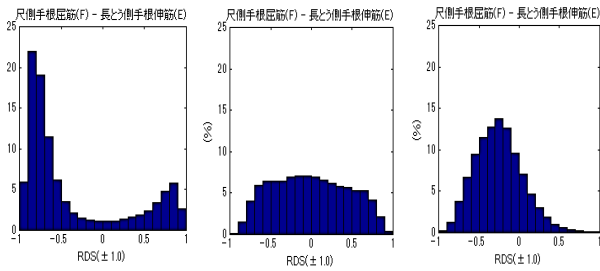


図3：RDSのヒストグラム

(実験1, 120bpm, 縦軸: 1試行内のRDSの割合(%), 横軸: RDSの値(±1), 左: 熟練者1, 中央: 熟練者3, 右: 未経験者3)

結果, 打叩強度の平均では, 熟練者は未経験者よりも有意に大きかった($F(1,13)=7.99, p<.05$)。テンポの主効果・交互作用は認められなかった($F(1,13)=0.04, ns, F(1,13)=0.62, ns$)。SDでは, 熟練者は未経験者よりも有意に小さかった($F(1,13)=28.27, p<.01$)。テンポの主効果・交互作用は認められなかった($F(1,13)=1.07, ns, F(1,13)=1.62, ns$)。以上の結果は, 打叩強度について, 熟練者は未経験者よりも有意に出力が大きく, バラつきも少ないことを示した。なお, 経験者の打叩強度は, 120bpmでは, $3.86 \pm 0.25mV$, 160bpmでは, $3.63 \pm 0.40mV$ であり, 全実験参加者の中で最も出力が大きかった。

Relative-Difference Signals (RDS) : Fujii et al.^[5]にならい, 屈曲伸展筋2対のRDSを算出後, それらの分布を表すヒストグラムを作成した(図3, 横軸: RDSの値(±1), 縦軸: 分布量(%))。なお, 図3のプロット(尺側手根屈筋-長橈側手根伸筋)は, Fujii et al.^[5]で対象とされた筋の組み合わせと同一のものとした。

熟練者1では, Fujii et al.^[5]で提示されたプロットと, 近似した谷型の分布が認められた(図3, 左)。RDS=0付近での共収縮の割合は, 1%程度であった。一方で熟練者3では, 分布がフラットになった(図3, 中央)。す

なわち, 共収縮・伸展筋優勢・屈筋優勢の割合が1試行の中で均等になった。RDS=0付近での共収縮の割合は5%程度であった。経験者では, 熟練者3と近似したフラットなプロットが認められた。未経験者は, 全体を通して, やや伸展筋優勢の山型となった(図3, 右)。また, 他群に比べ, 狭い範囲に分布が集中していた。RDS=0付近での共収縮の割合は, 7-10%程度であった。

RDSのSD(屈曲-伸展筋4条件)の値(表2)は, 尺側手根屈筋-長橈側手根伸筋について, 120bpmでは, 0.44 ± 0.05 , 未経験者 0.33 ± 0.02 , 160bpmでは, 熟練者 0.45 ± 0.09 , 未経験者 0.34 ± 0.03 であった。深指屈筋-総指伸展筋について, 120bpmでは, 熟練者 0.30 ± 0.03 , 未経験者 0.29 ± 0.06 , 160bpmでは, 熟練者 $0.30 \pm 0.04ms$, 未経験者 0.31 ± 0.02 であった。尺側手根屈筋-総指伸展筋について, 120bpmでは, 熟練者 0.29 ± 0.06 , 未経験者 0.27 ± 0.06 , 160bpmでは, 熟練者 0.32 ± 0.08 , 未経験者 0.26 ± 0.08 であった。深指屈筋-長橈側手根伸筋について, 120bpmでは, 熟練者 0.45 ± 0.06 , 未経験者 0.34 ± 0.05 , 160bpmでは, 熟練者 0.44 ± 0.08 , 未経験者 0.37 ± 0.03 であった。繰り返しのある2要因分散分析の結果, 尺側手根屈筋-長橈側手根伸筋では, 熟練者は未経験者よりもSDが有意に大きかった($F(1,13)=10.76, p<.05$)。すなわちこのデータは, Fujii et al.^[5]で示されていた結果と同様であった。テンポ要因・交互作用についてはいずれも有意差は認められなかった($F(1,13)=0.12, ns; F(1,13)=0.02, ns$)。深指屈筋-総指伸展筋では, 熟練者は未経験者よりもSDが大きい有意傾向が認められた($F(1,13)=5.16, ns$)。テンポ要因・交互作用についてはいずれも有意差は認められなかった($F(1,13)=0.55, ns; F(1,13)=1.43, ns$)。尺側手根屈筋-総指伸展筋では, 熟練度・テンポ・交互

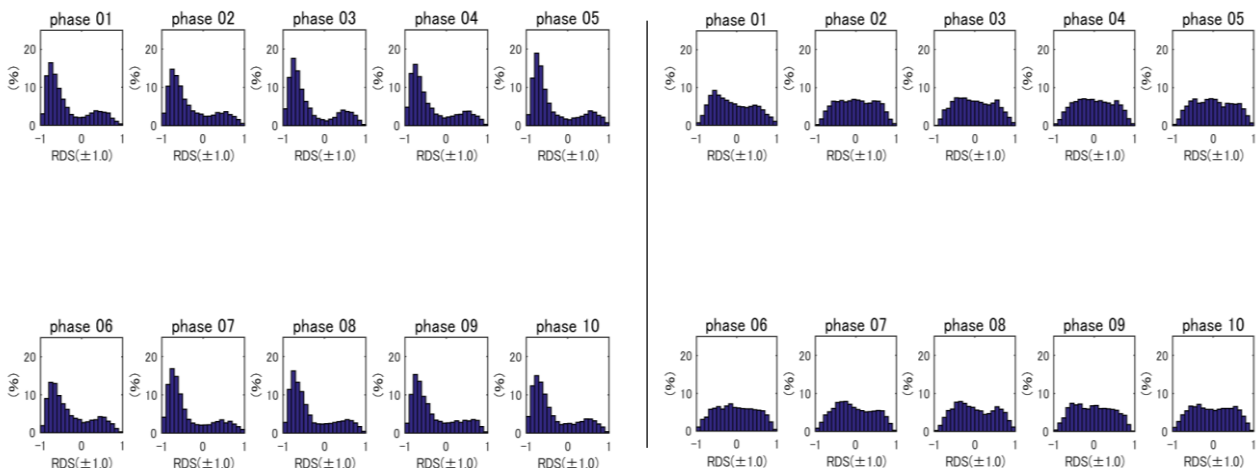


図4：10分割したRDS

(実験1, 120bpm, 左: 熟練者1, 右: 熟練者3)

作用ともに有意差は認められなかった($F(1,13)=0.03$, ns; $F(1,13)=0.25$, ns; $F(1,13)=0.23$, ns)。深指屈筋-長橈側手根伸筋では、熟練度・テンポ・交互作用ともに有意差は認められなかった($F(1,13)=0.65$, ns; $F(1,13)=0.33$, ns; $F(1,13)=1.36$, ns)。経験者についてのRDSのSDは、尺側手根屈筋総指伸展筋-長橈側手根伸筋について、120では 0.41 ± 0.03 , 160では 0.44 ± 0.03 であった。深指屈筋-総指伸展筋について、120では 0.36 ± 0.01 , 160では 0.40 ± 0.01 であった。尺側手根屈筋-総指伸展筋について、120bpmでは 0.40 ± 0.03 , 160bpmでは 0.41 ± 0.04 であった。深指屈筋-長橈側手根伸筋について、120bpmでは 0.38 ± 0.02 , 160bpmでは 0.42 ± 0.01 であった。

時間軸で10分割したプロットでは、試行内で筋活動が遷移することが想定されたが、熟練度・テンポにかかわらず、1試行を通して同様の分布となった(図4)。

2.4 考察

本実験では、ITIの平均については、熟練者と未経験者との間で、統計的に有意な差は認められなかった。一方、打叩強度の平均については、熟練者は未経験者よりも有意に大きかった。また、それらのSDについては、熟練者は未経験者よりも有意に小さかった。以上のデータは、Fujii & Oda.^[6]や、Fujii et al.^[11]で報告されたものと近似していた。

次に、RDSについて、SDを熟練度・テンポ要因から比較した。その結果、本実験課題の主働拮抗筋になることが想定された、尺側手根屈筋-長橈側手根伸筋のセットにおいて、統計的に有意な差が認められた。すなわち、熟練者は、当該筋においてRDSのバラつきが大きかった。また、本実験におけるRDSのプロットでは、Fujii et al.^[6]で示された熟練者の分布と同様のものが認められた(図3, 左)。一方で、熟練者群においては、Fujii et al.^[6]とは異なる平型の分布が認められた(熟練者3, 図3, 中央)。すなわち2分間で検討した時の、RDS=0付近での共収縮の値は、他の熟練者と比較して高かった。にも関わらず、演奏安定性は維持されていたことから(表3)、当該筋の相補性だけが演奏安定性を実現する要因とは言えない可能性がある。

10分割したRDSプロット(図4)では、筋活動の遷移は認められなかった。熟練者3では、平型の分布となったため、10分割した場合、試行内で筋活動が遷移することが想定された。しかし、実際は同様の平型分

布が続いていたことから、以下のような可能性が導き出せる。1) 熟練者3特有の筋活動パターンがあること、2) 上腕筋をベースに運動していた場合、今回対象とした前腕筋は活動が抑えられたこと。いずれの場合においても、前腕筋の活動のみから判断するには、あまりにも情報が乏しいことは確かである。

熟練者は全員、ドラム歴が20年以上のベテランドラマーであり、日常的に使用している叩き方の癖が身についている。それは本実験のような課題統制下においても生起し得るものであり、その結果、主働拮抗筋は各参加者に応じて異なる可能性がある。このような個別性を伴った筋活動は、Fujii et al.^[11]で報告されているような、屈曲伸展筋の1セットのみからの検討では捉えきれないものである。

3. 実験2

3.1 目的

実験1では、2分間の打叩課題を用い、熟練者が、柔軟な身体定位の調整から、安定的な演奏を実現していることを検証した。本実験では、身体定位が不安定になるような実験課題でも、熟練者は演奏安定性を維持できることを以下の実験課題を用いて検証した。

3.2 方法

実験計画、実験参加者、使用機器は実験1と同一であった。

課題： 実験2では、実験参加者に提示する課題を、回旋課題とした。これは、フレンチグリップ⇒アメリカングリップ⇒ジャーマングリップを実験参加者の任意の周期で繰り返すものであった。ジャーマングリップは手の甲が地面と平行となるグリップであり、アメリカングリップはフレンチグリップとジャーマングリップの中間位置でスティックを把持するグリップである。なおアメリカングリップは、多様な場面に対応できることからドラムセットを使用する演奏家が好んで使うことが多い。本実験で対象とした熟練者は、3名ともアメリカングリップのユーザーであった。

分析： 打圧データは、ITI・打叩強度の平均とSDを算出した。表面筋電データについては実験1同様の処理を施したのち、RDSを算出した。その後それらのSDを算出し、統計的検定を行った。分析方法は、実験1と同一であった。

表 4: ITI・打叩強度

Tap	熟練者(n=3)		未経験者(n=4)		経験者(n=1)	
	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM
ITI(ms)	494.16	376.1	491.93	363.01	461.39	352.66
強度(mV)	3.35	3.37	2.72	2.68	3.57	3.44
ITI SD(ms)	14.42**	9.44**	60.16	29.32+	15.29	19.27
強度 SD(mV)	0.1**	0.11**	0.36	0.35	0.3	0.44

+p<.1, *p<.05, **p<.01, ***p<.001.

表 5: RDS SD

RDS SD	熟練者(n=3)		未経験者(n=4)		経験者(n=1)	
	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM	120BPM	160BPM
Mean 1	0.48**	0.53**	0.37	0.4*	0.41	0.44
Mean 2	0.26	0.26	0.24	0.26	0.36	0.4
Mean 3	0.27	0.3	0.29	0.3	0.4	0.41
Mean 4	0.48	0.51	0.34	0.37	0.38	0.42
SD 1	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03
SD 2	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01
SD 3	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04
SD 4	0.01	0.01	0.06	0.03	0.02	0.01

1: 尺側手根屈筋 - 長橈側手根伸筋, 2: 深指屈筋 - 総指伸筋, 3: 尺側手根屈筋 - 総指伸筋, 4: 深指屈筋 - 長橈側手根伸筋
+p<.1, *p<.05, **p<.01, ***p<.001.

統計: 統計処理は全て R(Ver.3.1.1)を用いた。等分散性の検定 (バートレット検定) により, 正規性の確認できたデータに関して, 熟練度 (2水準) × テンポ (2水準) についての, 繰り返しのある 2 要因分散分析を行った。多重比較はホルム法を用いた。なお, 正規性が確認できなかったノンパラメトリックデータについては, ウィルコクソンの順位和検定を用い, 熟練度×テンポ 120, 熟練度×テンポ 160 それぞれについて検討した。

3.3 結果

ITI・打叩強度: ITI の平均と SD について, 120bpm (周期は 500ms) では, 熟練者 $494.16 \pm 14.42\text{ms}$, 未経験者 $491.93 \pm 60.16\text{ms}$, 160bpm (周期は 375ms) では, 熟練者 $376.10 \pm 9.44\text{ms}$, 未経験者 $363.01 \pm 29.32\text{ms}$ であった。2 要因分散分析の結果, ITI の平均については, 熟練度の主効果・交互作用による有意差はなかった ($F(1,13)=0.19$, ns; $F(1,13)=0.66$, ns)。テンポについては主効果が認められたが, これは目標とされるテンポが異なるためであった ($F(1,13)=110.53$, $p<.001$)。SD では, 熟練者は未経験者よりも有意に小さかった ($F(1,13)=15.53$, $p<.01$)。テンポ要因では, 160bpm よりも 120bpm の課題時に SD が大きくなる有意傾向が認められた ($F(1,13)=0.07$, $p<.1$)。交互作用については, 有意差が認められなかった ($F(1,13)=2.77$, $p<.1$)。以上から, 本実験のような身体定位を変動させながら行う課題であっても, ITI の平均に統計的に有意な差は認められなかったが, ITI のバラつきを示す SD は, 熟練者の方が有意に小さいことが示された。なお,

経験者 (n=1) の ITI は, 120bpm では, $461.39 \pm 15.29\text{ms}$, 160bpm では, $352.66 \pm 19.27\text{ms}$ であった。打叩強度について 120bpm では, 熟練者 $3.35 \pm 0.10\text{mV}$, 未経験者 $2.72 \pm 0.36\text{mV}$, 160bpm では, 熟練者 $3.37 \pm 0.11\text{mV}$, 未経験者 $2.68 \pm 0.35\text{mV}$ であった。2 要因分散分析の結果, 熟練者は未経験者よりも有意に出力が大きかった ($F(1,13)=7.05$, $p<.05$)。テンポによる主効果・交互作用は認められなかった ($F(1,13)=0.29$, ns; $F(1,13)=2.21$, ns)。打叩強度の SD は, 熟練者は未経験者よりも有意に小さかった ($F(1,13)=24.64$, $p<.01$)。また, テンポによる主効果・交互作用は認められなかった ($F(1,13)=0.01$, ns; $F(1,13)=0.76$, ns)。以上から, 熟練者が本実験課題のような状況においても, 安定的な打叩出力を実現していることが示された。なお, 経験者 (n=1) の打叩強度は, 120bpm では, $3.57 \pm 0.30\text{mV}$, 160bpm では, $3.44 \pm 0.44\text{mV}$ であった。

Relative-Difference Signals (RDS): まず, RDS の分布を表すヒストグラムを作成した。熟練者 1 は, 実験 1 同様, 両端が山となり, 0 付近が低くなるような谷型の分布となった。RDS=0 付近での共収縮の割合は 1%程度であった。熟練者 2 では, 伸展筋優勢の分布となった。RDS=0 付近での共収縮の割合は 5%程度であった。熟練者 3・経験者では, 実験 1 よりも, やや伸展筋優勢となった。RDS=0 付近での共収縮の割合は, 5%程度であった。未経験者は, やや伸展筋優勢の山型であった。

屈曲-伸展筋 4 条件における RDS の SD に関して, 尺

側手根屈筋・長橈側手根伸筋について、120bpm では、熟練者 0.48 ± 0.05 、未経験者 0.37 ± 0.05 、160bpm では、熟練者 0.53 ± 0.04 、未経験者 0.40 ± 0.04 であった。深指屈筋・総指伸展筋について、120bpm では、熟練者 0.26 ± 0.01 、未経験者 0.24 ± 0.03 、160bpm では、熟練者 0.26 ± 0.01 、未経験者 0.26 ± 0.02 であった。尺側手根屈筋・総指伸展筋について、120bpm では、熟練者 0.27 ± 0.02 、未経験者 0.29 ± 0.05 、160bpm では、熟練者 0.30 ± 0.02 、未経験者 0.30 ± 0.02 であった。深指屈筋・長橈側手根伸筋について、120bpm では、熟練者 0.48 ± 0.01 、未経験者 0.34 ± 0.06 、160bpm では、熟練者 0.51 ± 0.01 、未経験者 0.37 ± 0.03 であった。2 要因分散分析の結果、尺側手根屈筋・長橈側手根伸筋では、熟練度・テンポが要因の主効果・交互作用ともに有意差が認められた ($F(1,13)=18.10$, $p<.01$; $F(1,13)=186.56$, $p<.001$; $F(1,13)=9.72$, $p<.05$)。熟練度要因の主効果について、熟練者は未経験者より、SD が大きかった。テンポ要因の主効果について、160bpm では、120bpm よりも SD が大きかった。深指屈筋・総指伸展筋では、正規性を確認できなかったため、ノンパラメトリック検定を行った。その結果、統計的に有意な差は認められなかった (ウィルコクソンの順位和検定: 熟練度 $\times$ 120bpm, $W=9$, $p=0.4$, ns; 熟練度 $\times$ 160bpm, $W=6$, $p=1$, ns)。尺側手根屈筋・総指伸展筋では、テンポ要因・交互作用ともに有意差が認められた ($F(1,13)=109.06$, $p<.001$, $F(1,13)=8.78$, $p<.05$)。熟練度の主効果には、有意差が認められなかった ($F(1,13)=0.19$, ns)。テンポ要因の主効果について、160bpm では、120bpm よりも SD が大きかった。深指屈筋・長橈側手根伸筋では、ノンパラメトリック検定を行った。いずれにおいても有意差はなかった (ウィルコクソンの順位和検定: 熟練度 $\times$ 120bpm, $W=12$, $p=0.057$, ns; 熟練度 $\times$ 160bpm, $W=12$, $p=0.058$, ns)。

経験者についての RDS の SD は、尺側手根屈筋・長橈側手根伸筋について、120bpm では 0.41 ± 0.03 、160bpm では 0.44 ± 0.03 であった。深指屈筋・総指伸展筋について、120bpm では 0.36 ± 0.01 、160bpm では 0.40 ± 0.01 であった。尺側手根屈筋・総指伸展筋について、120bpm では 0.40 ± 0.03 、160bpm では 0.41 ± 0.04 であった。深指屈筋・長橈側手根伸筋について、120bpm では 0.38 ± 0.02 、160bpm では 0.42 ± 0.01 であった。

3.4 考察

本実験では、実験 1 とは異なり、グリップを変化さ

せながら 2 分間の打叩を行う課題を課した。そのため、ITI や打叩強度について、熟練者と未経験者間の差が大きくなることが想定された。その結果、ITI・打叩強度の平均については、実験 1 同様、有意差は認められなかったが、SD については熟練者の方が有意に小さかった。以上から熟練者は、本実験のように身体定位の変化を強いられる状況においても、演奏安定性を維持できることが分かった。プロドラマーは、実際の演奏場面において、多様な種類の楽器を状況に応じて使い分けながら演奏することが求められる。日常的にこのような経験を蓄積している熟練者群の実験参加者が、本実験課題を実験 1 とほとんど変わらない演奏安定性を実現できたのも、そのためであると推測される。一方、ITI のテンポが要因について、160bpm では、120bpm よりも打叩のバラつきを示す SD が有意に小さくなることが分かった。これは、120bpm の課題では、拍間隔が広く (120bpm では 500ms, 160bpm では 375ms)、一定のテンポを維持することが困難であったためであると考えられる。

RDS の値について、本実験では主動拮抗筋がグリップに応じて頻繁に遷移するため、熟練者群においても未経験者同様、0 付近、あるいはやや伸展筋優勢 (マイナス方向) で山型の分布になることが想定された。しかし結果は、熟練者の方が未経験者よりも有意に SD が大きかった。すなわち、Fujii et al.⁵⁾にならえば、熟練者は実験 2 においても、RDS の両端の分布が大きく、当該筋が交互に活動していることになる。プロットを参照しても、熟練者に関しては、ほとんど山型とはならなかった。熟練者 1 については、テンポを問わず伸展筋優勢であり、熟練者 2 については、RDS=0 付近での共収縮の割合が高い組み合わせがありながらも、全体的な傾向としては伸展筋が優勢に働いていた。

また、RDS=0 付近での共収縮の割合は、熟練者・経験者群よりも、未経験者群の方が高かったことから、未経験者は、手首の回旋運動を、屈曲伸展筋を共収縮させながら行っていたのに対し、熟練者・経験者はこのような課題においても、打面の反力を、手首関節の迎合性を維持することで、最大限に利用した可能性がある。

多くの RDS 分布で伸展筋が優勢であった点について、打面の反力との兼ね合いとは別に、重力との関係性が挙げられる。打叩の際、重力方向に働くのは尺屈時の前腕の屈曲筋 (尺側手根屈筋) であった。一方橈屈時、すなわち抗重力方向に働くのは、前腕の伸展筋 (長橈側

手根伸筋)であった。したがって振り下ろし動作時には重力を利用できるため、ほとんど屈曲筋が使われていないが、実験 1 の映像データからも明らかなように、スティックが打面に触れる数ミリ秒前、尺屈が起る。この時、屈曲筋が主働筋として使われているため、Fujii et al.^[6]や本実験の熟練者 1 に認められるような右端がやや盛り上がった分布になったと考えられる。一方、未経験者では比較的共収縮の割合が高かったことから、尺屈時に重力を利用できず、余分な筋緊張が起こっていたものと考えられる。

4. 統括的議論

本研究では、仮説検証のため、長時間の打叩(実験 1・2)や不安定な状態(実験 2)を実験課題として設定した。熟練者はそのような状況でも、ITI の SD は小さく、打叩強度の出力は未経験者よりも有意に大きかった(表 1, 4)。これらのデータは、本仮説が目指す、多対 1 への調整を直接的に明らかにするものではなかった。しかし熟練者は、多様な文脈の中でも、ITI・打叩強度を維持できていたことから、多数の命令を、1 つあるいは少数の実行結果に調整しているメカニズムの端緒を示すことができた。熟練者の RDS のデータでは、2 分間の課題においても、屈曲伸展筋の相補性が高く、演奏安定性も高いというような Fujii et al.^[6]の仮説を支持するデータが認められた(熟練者 1)。一方で、演奏安定性は、必ずしも屈曲伸展筋の相補的な活動のみから達成されるわけではないことを示すデータも認められた(熟練者 3)。同データは、打叩動作の個別性を示すデータでもあり、Fujii et al.^{[1][6]}で設定された、主働拮抗筋 1 対を対象とした検討では不十分であることが示唆された。

以上のデータは、仮説および予測した結果のすべてを支持するには不十分であった。しかし、ドラム演奏の熟達を、Fujii et al.^{[1][6]}のような、局所的検討ではなく、連鎖的な協応レベルから検討することへの意義を支持する重要なデータとなった。さらに、このような身体全体が織り成す、連鎖的な協応構造からドラム演奏を検討することで、演奏者の個別性を範疇に入れながら、「熟達」を定義できる可能性がある。

5. 展望

本研究で検討した、熟練者が、命令—実行結果を多対 1 に調整しているという仮説の背景には、Bernstein^[3]の、「感覚による調整」がある。これは、

我々の動作が、感覚によって方向付けられ制御されていることを示したものである^[3]。しかしながら、熟練者がどのように感覚調整を行っているのかに関しては、本研究では検証できなかった。そこで、打叩動作における「感覚による調整」の 1 つとして、スティックのダイナミックタッチ^[7]に関する研究等を検討している。

謝辞

本研究の実施にあたっては、日本学術振興会科学研究費補助金挑戦的萌芽研究(課題番号 15K12053)の助成を受けました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2009). Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer. *Neuroscience letters*, 459(2), 69-73.
- [2] 三嶋 博之 (2001). エコロジカル・マインド —知性と環境をつなぐ心理学— 日本放送出版協会
- [3] Bernstien, N. A. (1967). On Dexterity and its Development . (デクステリティ 巧みさとその発達, 工藤和俊訳 佐々木正人監訳 (2003) 金子書房)
- [4] Heuer, H. (2007). Control of the dominant and nondominant hand: exploitation and taming of nonmuscular forces. *Experimental brain research*, 178(3), 363-373.
- [5] Fujii, S., Kudo, K., Shinya, M., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2009). Wrist muscle activity during rapid unimanual tapping with a drumstick in drummers and nondrummers. *Motor Control*, 13(3), 237-250.
- [6] Fujii, S., & Oda, S. (2006). Tapping speed asymmetry in drummers for single-hand tapping with a stick. *Perceptual and motor skills*, 103(1), 265-272.
- [7] Turvey, M. T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51(11), 1134.