

小特集—音楽演奏者の動作解析—

打楽器奏者の動作解析*

ソフィア ダール (オールボー大学)**・訳：三浦雅展 (龍谷大学)***

43.75.St

1. はじめに

プロの打楽器奏者は正確かつ繊細な演奏音を奏でるために動作の技術習得を行う。基本的には演奏音のために動作技術を習得するが、動作は音の特徴に密接に関連する。よって動作情報からも演奏に関する情報が得られ、かつその音に対する知覚の情報も得られる。本稿では、打楽器演奏における動作解析の研究をサーベイし、演奏方略の例を示し、プロ奏者がどのように音やタイミングの制御を行っているかについて述べる。これまでの多くの研究ではドラムスティックやマレットに着目した研究が多いため、本稿でもそれに従う。2章で打楽器演奏の特徴について述べ、特にスティック制御における重要な点について述べる。次にその動作が演奏内容やリズムによってどのように変わるのかを3章と4章で述べ、グリップが打叩にどのように影響するのかを5章で述べる。最後に、スキルがどのように影響するのかを6章で述べる。

2. 打楽器の演奏

打楽器は音の長さがとても短く、インパルスのような音で演奏するという特徴を持つ。それゆえ奏者による楽器への作用時間は大変短く、ドラムスティックがドラムヘッドに接触している時間長は5~8msである(メゾフォルテの強さでタムを打叩した場合は[1]、スネアドラムの場合は[2])。よって、打叩力と反発力は打叩動作において統合されなければならないと言える。動作は速度と打叩力、かつその継続時間によって定義される。当然ながら、打叩動作は楽器や演奏内容に依存する。

例えば、インドのタブラを演奏する(座ったままで指で演奏する)のと、マーチングバンドでマルチタムを演奏する(歩きながらドラムスティックやマレットで演奏する)のとでは動作が異なる。

ドラム打叩による音の大きさと音色は、打叩までの一連の動作に依存する。一瞬の強い打叩によって、多くの部分音を持つ豊富なスペクトルの音が得られる。これは正に奏者の腕によってなされるが、マレット、スティック、ハンマといった道具を用いて、より速く打つことで、単に手で演奏するよりもより力強く打叩することができる。マレットの形状、重さ、固さを変えることにより、演奏中に音色を変えることもできる(そのようにできない打楽器も多数ある)。

2.1 初期動作

シングルストロークは、ダウンストロークが開始される高さにドラムスティックを振り上げることによって始められる。この「準備動作」を図-1に示す。図-1では、遅いテンポ、メゾフォルテの強さで打叩する場合の動作を表しており、各マークは奏者の肩、肘、手首、指関節及びドラムスティックの先端を表している。その動作は、手首の動きから始められるが、ドラムスティックの動作が最も大きいことが分かる。このことは、図-1において最も右に示すドラムスティックのマークが大きい円状の軌跡を描くことから分かる。図-1内の矢印が示しているように、手に遅れるようにスティックが振り上げられ、スティックの先端がそれに追従する。スティックが最大の高さ、すなわち、「準備の高さ」に達すると、ドラムの打面をスティックで軽く打つ動作、すなわち、ダウンストロークが腕によって始められる。奏者は手首による誘導動作を行うことで、生理的な負担を少なくしながらスティックを加速するためのスティックの「通路」を、ストローク前に創り出す。

この種の「むち打ち」動作における滑らかな波

* Striking movements: A survey of motion analysis of percussionists.

** Sofia Dahl (Aalborg University, Copenhagen, DK-2750, Denmark)

*** Translation: Masanobu Miura (Ryukoku University, Otsu, 520-2194) e-mail: miura@rins.ryukoku.ac.jp

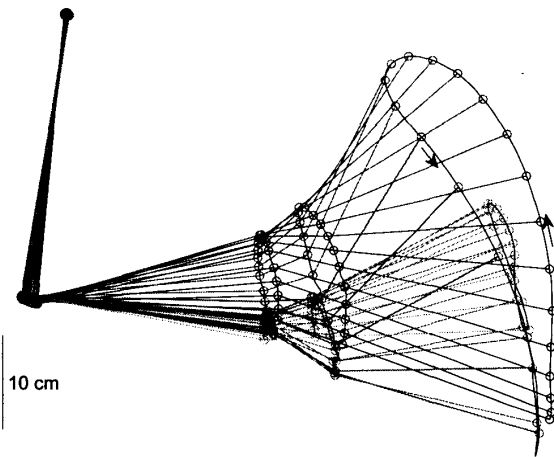


図-1 単一打叩における手腕及びスティックの軌跡
軌跡追跡用のマークは奏者の肩 (左上), 肘 (左下), 手首, 指関節, 及びスティック (右のループ) に設置され, メゾフォルテで1分間に50回打叩している様子が描かれている。「スティックの軌跡」は, 25 ms ごとにマークを直線で接続して描かれている。スティックの準備動作は手の上方向への動作から行われており, スティックがそれに続いている (上向きの矢印)。準備動作が完了した後に, 実際のダウンストロークが始まり (下向きの矢印), スティックの速度が急に速くなる。打叩後, 打面からの跳ね返りによってスティックが別の小さなループを描く。

のような特徴は, 教則本 (例えば [3-5]) で示されており, モーションキャプチャを用いたドラム演奏動作に関する研究でも観察されている (例えば [6-9])。しかしながら, スティックを加速させるときに用いられる詳細な演奏方略は, 奏者間でかなり異なっている ([6, 7, 10, 11] を参照)。

奏者がドラムスティックを持ち上げる準備の高さと, 打叩のダイナミックレベルの間にはある関係が見られる。打叩間に十分な時間がある場合, より高いダイナミックレベルでの打叩は, 低い打叩と比較して, より高い位置から開始される。奏者が異なればダイナミックレベルによるラウドネスも異なるが, 準備の高さと打叩速度には明確な関係があることが明らかにされている [7]。この関係を図-2 に示す。図-2 では, 3種類の異なるダイナミックレベルの打叩における打叩速度と準備の高さが示されている。

2.2 跳ね返り

奏者は道具を用いることで, 素手で叩く場合よりも強い力で楽器を叩くことが可能になる。奏者がドラムスティックをリラックスして握っているならば, スティックの堅さによって打面からの「跳ね返り」を使用することができる。通常, 打面には弾性があるため, スティックは「自然に」跳ね返

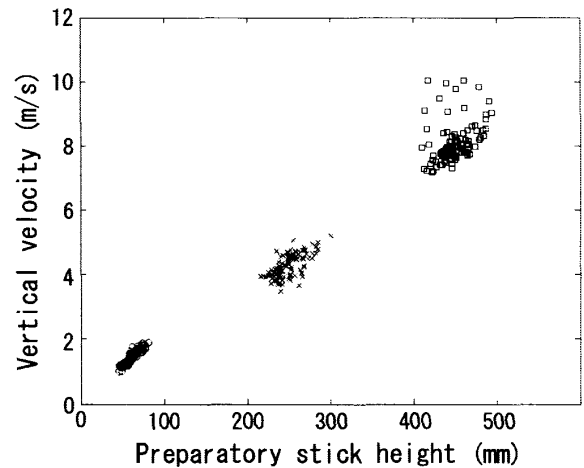


図-2 プロの奏者による準備の高さと打叩速度
ドラムスティックの先端の丁度打叩される直前における速度が示されており, 1分間に120打の速度で, 3通りのダイナミックレベルでの結果が示されている (ピアノ p は○, メゾフォルテ mf は×, フォルテ f は□)。準備の高さと打叩速度の間に強い関係があることがはっきりと示されている。低いダイナミックレベルで演奏する場合と比較して, 高いダイナミックレベルで演奏する場合は, 高い位置から打叩が開始される。

ることができる。遅いテンポでシングルストロークを演奏した場合, スティック動作に対する跳ね返りの影響は容易に観察できる。図-1 は, 叩いた後に, スティックの動きの方向が急に変化し, 小さなループが形成される様子を示している。

単一の打叩動作において複数見られる跳ね返りの特徴こそが, 奏者が長年かけて習得すべき制御そのものである。ストローク間の時間が非常に長い場合, 奏者はその都度スティックを持ち上げ, 各ストロークを開始しなければならない。しかし, 速い演奏の場合, 跳ね返りは次のストロークに対する準備動作に組み込まれる (図-3 を参照)。

跳ね返りが生じることによって, シングルストロークにおいて, 幾つかの打撃が見られる [12]。実際, 楽器とスティック間の相互作用に起因する細かい制御は, ロール演奏や両手による複雑なリズムパタンの演奏において必須である。ドラムスティックの堅さとドラムヘッドの弾性を利用しなければ, クローズドロールのような速いパタンの演奏を行うことは不可能である (1回のストロークに対して六つの打叩のクラスタの報告は [13] を参照)。しかし, 奏者が跳ね返りを積極的に制御しなければならない場合もある。例えば, アクセントの場合のように, 奏者が異なるダイナミックレベルで打叩を行わなければならない場合がある ([7] を参照)。

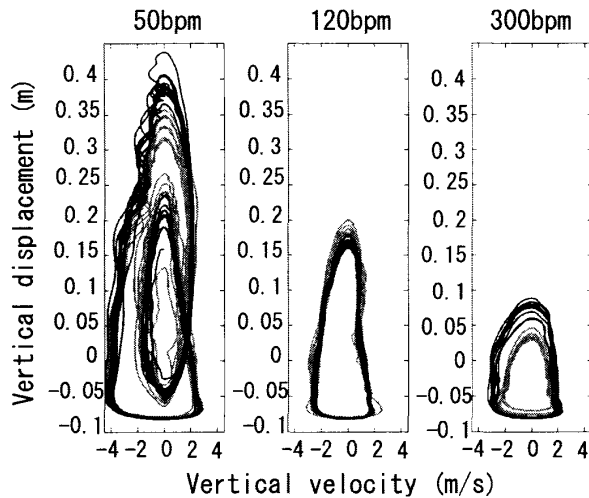


図-3 図-1 に示した奏者について、三つのテンポでメゾフォルテで演奏した場合における垂直の変位及び速度各グラフは、ドラムスティックのマーカ位置を表しており、左手で演奏した場合が灰色の線、右手で演奏した場合が黒色の線で示されている。なお、左側の図は最も遅い 50 bpm の場合、真ん中の図は中ぐらいの 120 bpm、右側の図は最も速い 300 bpm の場合を示している。50 bpm のテンポにおける演奏においては、打叩間の時間長は十分長い（1,200 ms）、スティックのループが拡大されていることが分かる。速いテンポの場合、跳ね返り動作は次のストロークのための準備動作に組み込まれる。また、速いテンポの演奏においてストローク間の準備時間は減少するため、遅いテンポと比較して、スティックのマーカの垂直方向の変位量が減少する。

3. 演奏内容の影響

奏者間では演奏方略に大きなばらつきが観察されたにもかかわらず、奏者自身の方略は一貫する傾向にある。しかし、動作方略は手の状況に適合するように、わずかに修正される。奏者は違った特性を持つマレットを用いて同じリズムパターンで演奏しようとし、更に顕著に異なる跳ね返りをする打面に対しても演奏する。従って、楽器やマレットに起因するフィードバックの違いによって打楽器奏者が利用する演奏方略を調整することは、理解に難くない。

奏者は演奏時に、打面に合わせて打叩時の速度を調整する。Dahl [7] は、強さの異なるプレート（柔らかい、標準、硬い）を用いて、打面の違いによる打叩時の速度を比較した。全体として、奏者は、標準に比べて硬い打面を演奏するときには打叩速度を減衰させた。それに比べ、柔らかい打面は打叩速度を増加させた。

同じダイナミックレベルで打叩した場合は、動作特性と準備動作の高さにテンポの影響が見られた。極端に異なる 3 通りのテンポにおいてメゾフォル

テで打叩したときに観察される垂直方向の変位と速度を段階的にプロットした例を図-3 に示す。三つの図から垂直方向の移動の大きさを比較すると、テンポが速くなるにつれ準備動作の高さが低くなることが確認される。速いテンポでは、奏者は打叩と打叩の間をより短い準備時間で演奏し、またそれぞれの打叩において動作を小さくしなければならない。この例はボールの跳ね返りに例えることができる。大きい振幅で高い頻度においてボールを跳ね上げることが要求されている場合、ボールを地面に近づけて移動距離を小さくすることで簡単にできるようになる。

4. リズムパターン

音楽的なリズムには、時間間隔の異なる音符の演奏や、アクセントのような強調による演奏によってなされる。音を強調する方法の一つは、その音を大きく演奏することである。ただし、隣接した音と比べて対象とする音を大きく演奏する（打叩する）ために、奏者は準備する必要がある。

アクセントの音のための準備動作について、Dahl [7] は全体の音量とアクセントのための打叩の強調の相互関係を見つけた。この研究では、4 人の奏者が、4 拍目がアクセントとなる一定のパターンを、様々な音圧レベル、テンポ、打面の組み合わせにおいて演奏するよう要請された。すべての奏者は、アクセントのない打叩に比べてアクセントのある打叩の場合は、高くスティックを持ち上げていた。しかし、準備動作においては異なる演奏方略が示され、かつアクセントのない打叩に比べ、アクセントのある打叩では異なる強調の様子が示された。幾つかのケースでは、アクセントのない直前の打叩よりも早く準備が始まる。跳ね返りにより、ドラムスティックはドラム打面に接触しても留まることができないため、奏者はこれを利用して早く準備を始めることができる。従って、腕が持ち上がってスティックの先が垂れ下がっている動作は、アクセントのない 3 番目の打叩において生じ、そのときの打叩時の速度が減少する。

Dahl [7] は、奏者がアクセントの打叩を打叩速度を増加することで強調すると共に、次の打叩を遅らせることを確認した。アクセントの打叩における打叩速度と IOI の関係の変化を図-4 に示す。この図より、打叩速度の平均と打叩間の IOI が 4

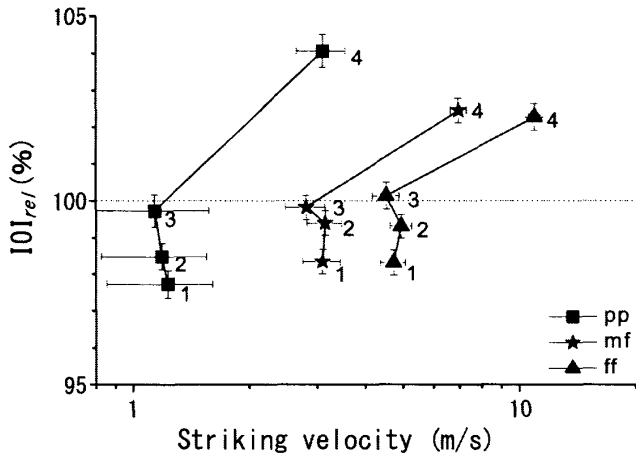


図-4 ある繰り返しパタンの4番目の打叩のアクセントにおける打叩速度と IOI_{rel} の変化
 図中の各データの点は、四つの拍 (1, 2, 3, 4) と三つのダイナミックレベルによる計 288 パタンの打叩を表しており、pp は■, mf は★, ff は▲で示されている。4人の奏者と三つのテンポの平均値を表し、エラーバーは95%の信頼区間を示す。スティックの先端における実際の速度は、約30%速いと推定される。図に示すように、アクセントの打叩における速度は、どのダイナミックレベルでも約2倍増加する。しかし IOI_{rel} はダイナミックレベルの増加に伴って減少している [7]。

拍の場合において述べられている (ここで“4”の IOI_{rel} とは、4拍目から1拍目までの相対時間長を表す)。図-4より、四つの拍における打叩速度と打叩間の時間の関係の全体平均が分かる。

ダイナミックレベルの高い演奏に比べて低い演奏の場合、4番目の間隔は長くなる傾向が見られた。すべてのダイナミックレベルにおいて、アクセントの打叩における打叩速度の増加はおおよそ2倍であった。また、アクセントの打叩より一つ前の打叩、すなわち3番目の打叩において、打叩速度の減少が確認された。

打叩の強調におけるもう一つの例は、ジャズで一般的に使用されるリズムカルなスイングパターンである。スイングパターンは、一般にはシンバルで演奏され、2番目のビートが強調される。Waadeland [9] は、パターン内の強調される打叩が変化する場合の動作パターンを調査した。パターン内のどのビートを強調するかによって奏者による準備の高さが変化することが確認された。しかし、2番目のビートは、他のビートを強調した場合にも強くなることが分かった。

5. 打叩力及び音の制御

2.1節で述べたように、ドラムスティックとドラムヘッド間の接触における力の状態とその接触時間長は、奏でられる音に影響をおよぼす主要因である。ドラムスティックとドラムヘッドの接触時間がミリ秒のオーダーであるので、奏者は接触時において意識的に何かを変えるような時間はないと言える。従って、奏でられる音の特徴はダウンストロークにおけるスティックの動作によって決定される。ゴルフの場合と同様に、奏者のグリップは制御に決定的な影響を及ぼす。通常、打楽器奏者やドラム奏者はドラムスティックやマレットを握っており、支点を中心に回転させることができる。一般にその支点は、親指と人差し指によって形成される。この場合、スティックは垂直面において自由に回転でき、必要ならば、他の指を用いて安定させたり固定したりできる。また、スティックを安定させるために強く握る場合もある。例えば後続のストロークをより弱く演奏する場合は跳ね返りを抑える必要がある。

奏者が打叩時にスティックを強く握ると、奏でられる音に影響する。最近の研究として、DahlとAltenmüller [14] は打叩後の跳ね返りを抑える効果について調査した。スティックの動作、スティックにかかる力及び得られる音の特徴について、「通常の」打叩の場合で調査した。ここでは奏者は打面からドラムスティックを自由に跳ね返らせ、その後に「制御」させた。ここで、奏者は跳ね返りに後ドラムスティックを打面にできるだけ近い状態で静止させるようにした。この制御は、低いダイナミックレベルの打叩の準備に用いられる技術を模倣したものである (例えば [5])。

モーションキャプチャを用いた分析より、二つの打叩を奏者が区別している様子が確認された。予想されたとおり、跳ね返るスティックを抑えるために必要となる握る強さの変化はスティックとドラム打面のインタラクションに影響し、2種類のストロークによって異なる音を得られることが確認できた。聴取実験より、制御されたストロークによる音は通常の打叩の場合と比べて、十分な音とは言えないことが確認された。恐らくいくらか直観的ではあるが、制御された打叩は通常の場合と比べ全体として短い時間長かつ強い力で行わ

れたのであろう。

6. 利き手, スキル, 動作障害

スキルによる動作の違いについての研究がある。Trappe ら [8] は, プロの奏者の動作が柔軟で鞭を打つような動作であると述べた。学生でも似たような傾向が見られたが, 関節の角度よりプロに比べると制御が劣ることが示された。動作戦略の違いが筋活動に現れる例も報告されている。Fujii ら [15] は, ドラム奏者及び非ドラム奏者に 12 秒間, プレートを用いて演奏させ, 筋電位信号 (EMG) を記録した。ドラム奏者は非ドラム奏者に比べ時間のばらつきが小さいことを示した。また, ドラム奏者は筋肉の共収縮が非ドラム奏者に比べて少ないことを示した。すなわち, 拮抗筋の動きを少なくすることでより効果的な動作が行われている。約 100 ms の IOI で演奏するという世界で最も高速に叩くドラム奏者の場合, 屈筋と伸筋の重複がほとんど見られなかったことも示されている [16]。

Fujii らの研究で用いられている被験者はすべて右利きであり, 左手によるタッピング速度は遅い。左右手の違いは非ドラム奏者に比べてドラム奏者の場合は少ないことが示されている [16]。プロ打楽器奏者が両手で同じリズムを演奏するように要請され, テンポや難しさを変えるよう要請された。図-3 において, 左手 (グレー) と利き手である右手 (黒) は, テンポが速い場合に左右で異なっている様子が見られる。

Fujisawa と Miura [17] は, ドラム奏者と非ドラム奏者に 3 分間異なるテンポでシングルストロークを演奏させ, 最初の 1 分と最後の 1 分の EMG を調査したところ, 72% の非ドラム奏者の EMG の合計が向上したのに対し, ドラム奏者の場合は 42% のみであることを示した。彼らによると, ドラム奏者は非ドラム奏者に比べ演奏中はリラックスし, かつ少ない労力で演奏するとされている。

6.1 音楽家のフォーカリストニア

不幸にもプロの演奏家が手首の屈筋と伸筋で共収縮を示す場合がある。音楽家での痙攣, あるいはフォーカリストニアは痛みを伴わないが, 無意識に生じる運動能力の低下を意味する。この症状の演奏家はけいれんや震えなどの症状を示し, 大きな音や速い演奏において顕著に生じる。

最近の研究では, Dahl とその同僚 [18] は, その

ような症状を持たないプロの打楽器奏者と左手にフォーカリストニアを持つ奏者に対し, タイミング制御を調査した。ここではシングルストロークを様々な強さとテンポで演奏させた場合の動作とタイミングについて調査した。どちらの奏者においても, 速いテンポにおいてはタイミングと最大加速度のばらつきが大きいことが示された。最もばらつきが大きかったのは 300 bpm におけるピアノ *p* での打叩であり, 利き手ではない (又は症状のある) 手によって演奏された場合であった。速いテンポの場合は, フォーカリストニアを持つ奏者は上腕において硬直が見られ, 頻繁にミスをしたり余分なバウンドなどが見られた。しかし, そのようなエラーを除けば, IOI のばらつきは健康な奏者と同程度であった。なお, このことはフォーカリストニアを持つ奏者について, 速いテンポにおける異常な行動を示す場合は除いている。

7. おわりに

本稿では打楽器奏者の動作に関する研究を概説した。ドラム打叩は時間軸上での離散的なイベントであるが, それらは繋がった動作である。時間軸上でのストロークを実現するには, 先行する打叩よりも早い時点で準備が開始される。楽器からのフィードバックや跳ね返りもまた次の動作の準備を行い, 熟達者はそれをうまく利用できる。また, 打叩動作は聴取者に表現や打叩タイミングを視覚的に伝える。

他の楽器の演奏と比較すると, 打楽器の動作は大きくて素早いと言える。ドラムスティックやマレットの素早い動作はその動作の研究を難しくする。それは演奏者にとっても, また観察者にとってもである。スティックの動作の動きはそれゆえ打楽器を学ぶ学生にとってその打叩を理解するのに役立つ。動きの動作に関する教育的な例は古くは [4] で述べられ, ここでは異なる打叩スタイルの映像が示されている。

近年のモーションキャプチャシステムの発展により, 打楽器奏者と楽器のインタラクションの研究が進んでいる。ドラムスティックによる打叩時における高い速度により, 400 Hz かそれ以上のサンプリング速度が必要となっている (ほとんどの人間の動作の場合は 100 Hz で十分である)。しかし, 多くの研究では動作と音のインタラクション

が求められている。現在、モーションキャプチャによる解析の研究では、等間隔打叩や単純なリズムパターンを片手あるいは両手で演奏させている。これに比べ、ドラムセット奏者は四肢を用いて複雑なリズムを演奏し、多数の離れた楽器を演奏する。フルコンサートにおいて演奏を保つために生理学的な負担を軽くして演奏するための技術が必須であることは明らかであろう [19]。

文 献

- [1] S. Dahl, "Spectral changes in the tom-tom related to striking force," *Speech, Music and Hearing, Quarterly Progress and Status Report*, KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 38, 59–66 (1997).
- [2] A. Wagner, *Analysis of Drumbeats — Interaction between Drummer, Drumstick and Instrument*, Masters thesis, KTH, Computer Science and Communication, Stockholm (2007).
- [3] A.A. Shivas, *The art of the tympanist and drummer* (Dobson Books, London, 1957).
- [4] S.A. Moeller, *The Moeller Book* (Ludwig Music Publishing Co., Grafton, 1956).
- [5] D. Famularo, *It's Your Move. Motions and Emotions* (Warner Bros. Publications, Miami, 1999).
- [6] S. Dahl, "The playing of an accent — Preliminary observations from temporal and kinematic analysis of percussionists," *J. New Music Res.*, 29, 225–234 (2000).
- [7] S. Dahl, "Playing the accent — Comparing striking velocity and timing in an ostinato rhythm performed by four drummers," *Acta Acustica united with Acustica*, 90, 762–776 (2004).
- [8] W. Trappe, D. Parlitz, U. Katzenberger and E. Altenmüller, "3-d measurement of cyclic motion patterns in drummers with different skill," *Proc. 5th Int. Symp. the 3-D Analysis of Human Movement*, pp. 97–99 (Chattanooga, Tennessee, 1998).
- [9] C.H. Waadeland, "Strategies in empirical studies of swing grooves," *Studia Musicologica Norv.*, 32, 169–191 (2006).
- [10] S. Dahl, "Movements and analysis of drumming," in *Music, Motor Control and the Brain*, E. Altenmüller, M. Wiesendanger and J. Kesselring, Eds. (Oxford University Press, New York, 2006), pp. 125–138.
- [11] S. Dahl, F. Bevilacqua, R. Bresin, M. Clayton, L. Leante, I. Poggi and N. Rasamimanana, "Gestures in performance," in *Musical Gestures. Sound, Movement, and meaning*, M. Leman and R.I. Godøy, Eds. (Routledge, 2009), pp. 36–68.
- [12] C.H. Waadeland, "The influence of tempo on movement and timing in rhythm performance," *Proc. 9th Int. Conf. Music Perception and Cognition (ICMPC9)*, M. Baroni, A.R. Addressi, R. Caterina and M. Costa, Eds., Bologna, Italy, p. 29 (2006).
- [13] M. Miura, "Inter-player variability of a roll performance on a snare-drum performance," *Proc. Forum Acusticum*, Budapest, Hungary, pp. 563–568 (2005).
- [14] S. Dahl and E. Altenmüller, "Motor control in drumming: Influence of movement pattern on contact force and sound characteristics," *Proc. Acoustics'08*, Paris, France, pp. 1489–1494 (2008).
- [15] S. Fujii, K. Kudo, T. Ohtsuki and S. Oda "Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer," *Neurosci. Lett.*, 459, 69–73 (2009).
- [16] S. Fujii, K. Kudo, M. Shinya, T. Ohtsuki and S. Oda, "Wrist muscle activity during rapid unimanual tapping with a drumstick in drummers and nondrummers," *Mot. Control*, 13, 237–250 (2009).
- [17] T. Fujisawa and M. Miura, "Investigating a playing strategy for drumming using surface electromyograms," *Acoust. Sci. & Tech.*, 31, 301–303 (2010).
- [18] S. Dahl, M. Grossbach and E. Altenmüller, "When the forearm gets stiff: differences in highly skilled movement patterns in healthy percussionists and in players suffering from musician's dystonia," (Forthcoming).
- [19] M. Smith, S. Draper, C. Potter and C. Burke, "The energy cost of rock drumming: a case study," *Proc. 13th Annu. Cong. European College Sport Science*, p. 165 (2008).



Sofia Dahl

2006 スウェーデン王立工科大学より音声音楽通信の博士号取得。現在、オールボー大学建築・デザイン・メディア学科助教。電気工学と音楽学を背景に、演奏家がどのようにして楽器を制御し、インタラクションを行うのかに関する研究に従事。



三浦 雅展

2003 同志社大学大学院工学研究科博士後期課程了。博士(工学)。2005より現在、龍谷大学理工学部情報メディア学科講師。情報学・音響学・音楽学を背景に、打楽器演奏の動作解析、ピアノ・ドラムスによる演奏の熟達度評価システムの開発などに従事。