

展開科目：文理融合ゼミナール：研究入門

「アートする身体」

担当：工藤和俊（くどう かずとし）

- 所属

- 大学院総合文化研究科 教授
- 大学院情報学環（兼務）
- 教養学部統合自然科学科
スポーツ科学コース
- 前期課程スポーツ・身体運動部会

- 研究内容

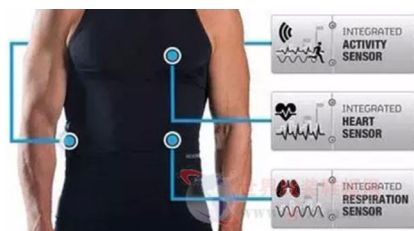
- スポーツ・ダンス・音楽における
巧みさ(スキル)と上達の科学

授業の目標および概要

- スポーツ、ダンス、音楽などのパフォーマンスにおける動作、筋活動、眼球運動、心拍、呼吸等の生体情報計測、映像解析等を用いて身体パフォーマンスの熟達化プロセスや熟達者の身体技法を明らかにし、(可能であれば)国内外での研究発表を目指します。
- 授業のキーワード
 - 身体技法、生体情報、熟達パフォーマンス、身体スキル、視線、呼吸、姿勢、脱力、バランス

使用可能な機器

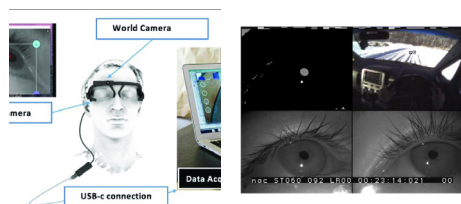
呼吸計測



GPS・心拍計測



眼球運動計測



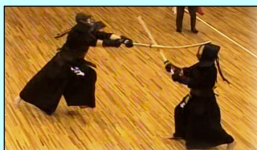
筋活動計測



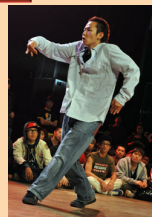
研究例

- 音楽演奏時の心拍/筋活動計測・解析
- 音楽の時系列構造解析
- 舞楽における舞と音楽の協調解析
- 呼吸パターンの定量化方法の開発
- ストリートダンス熟達化に関わる
コーディネーション能力の数理解析
- 陸上競技日本記録樹立レースの映像
解析

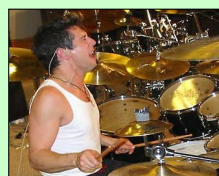
スポーツ



ダンス



音楽演奏



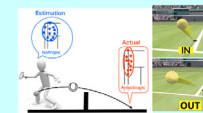
スポーツ



剣道の視線一動作計測



手押し相撲の視線一動作計測

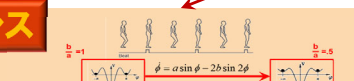


テニスの打球分散解析

3次元視線/動作計測

数理統計モデル

ダンス



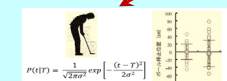
ストリートダンサー

非ダンサー

ストリートダンス動作の力学系モデル解析

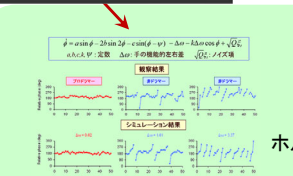


自動車運転時の視線計測



ゴルフの打球分散解析

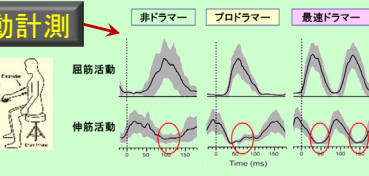
非線形力学系モデル



ホルン演奏時の筋活動解析

ドラム演奏の非線形力学系モデル

筋活動計測



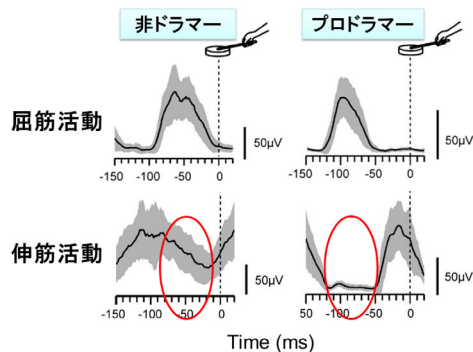
ピアノコンクール時の筋活動解析

音楽演奏

世界最速ドラマーの筋活動解析

脱力という熟練スキル

工藤 (2020) 脱力から知る熟練者の身体
Fujii, Kudo, Shinya, Ohtsuki, & Oda (2009) *Motor Control*



ドラム打叩時の筋活動

生命の根源
を見つめる

東京大学
教養学部 編
知のフィールドガイド

異分野の知識
させるクリエイ
思考力を五
身につける

脱力から知る熟練者の身体

工藤和俊

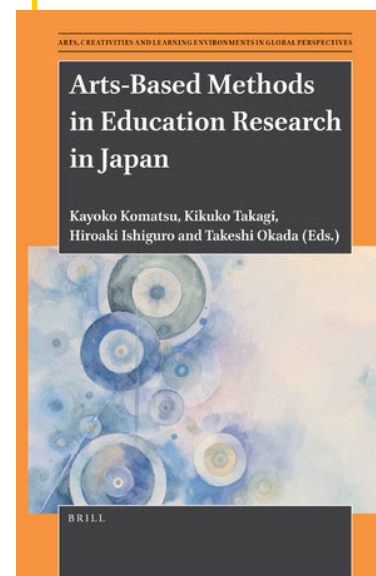
ヒトは、歌い、踊り、楽器を演奏し、スポーツをする動物である。私たちはこれらの活動をみずから楽しむとともに、他者の一流パフォーマンスに感服を覚える。これら芸術やスポーツの熟練パフォーマンスを実現している身体は、約 10¹⁰ 個の細胞、10¹⁵ 個の神経細胞、約 400 個の骨格筋を有する極めて複雑なシステムである。身体が能動的に力を発揮する際には筋が活動する。物を持ち上げたり歩いたりすることほもとより、文字を敲で造った声を出したりする際にも筋活動が生じる。筋が活動する際には、脳神経細胞の活動を介して電脳を運び伝達子の入り入り年じ、微弱な電場が発生する。これを脳電位といひ、皮膚上に貼り付けた電極から記録することができる。この筋活動は、さまざまな運動スキルの熟練差を知る手がかりとなる。

協調する身体

身体内には多数の筋が存在する。これら筋の活動を個別に制御することは、目の前にある多数のボリュメスイッチをいっぺんに操作するようなもので、大変に困難である。実際には、各筋の活動は互いに協調しており、同時に複数の筋が一定のパターンで

芸術連携教育/研究

「楽器としての身体：声楽の実践と科学」



CHAPTER 7
Music-Based/Inspired Scientific Research and Liberal Arts Education

Kazutoshi Kudo and Kiyomi Toyoda

Abstract

Music has been a common culture in human society since ancient times, and is also one of the basic subjects in the liberal arts. The skills of playing music can be improved through prolonged practice. In this chapter, we will introduce scientific research based on/inspired by music, and also the practice of music education as a liberal arts education based on the tacit knowledge of musician and explicit knowledge from scientific findings. For scientific research inspired by music, we will introduce neuroscientific and dynamical approach to elucidate human sensorimotor skills to achieve advanced musical performance. Regarding music education practice, we will introduce the contents of "human body as a musical instrument: practice and science of vocal music," which was offered as a specialized seminar at the College of Arts and Sciences, the University of Tokyo.

Kudo, K., & Toyoda, K. (2022) Music-based/ inspired scientific research and liberal arts education. In H. Komatsu, K. et al. (Eds.), *Arts-based method in education research in Japan* (pp. 164-184). Holland: Brill Sense.

身体のコーディネーション



音楽教育事業 音楽支援事業 音楽研究法

ホーム > 音楽支援事業 > 研究活動支援 > 研究活動支援対象者の活動レポート > 非線形力学系アプローチを用いた複雑な手指

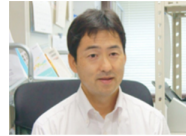
研究活動支援対象者の活動レポート

非線形力学系アプローチを用いた複雑な手指運動のコーディネーション解析

東京大学大学院総合文化研究科 工藤和俊 准教授 インタビュー

初心者のパフォーマンス向上を妨げる「引き込み現象」

ストリートダンスの例では、初心者には「ダウン動作」への「引き込み現象」が顕著に見られた一方で、プロのダンサーは、毎分180回という速い速い屈伸のテンポでも「アップ動作」を行うことができたそうです。つまり、熟達によって「引き込み現象」から解放されることで、思い通りの表現を行う自由が獲得されると考えられます。これは同時に、初心者が運動や音楽のパフォーマンスを向上させていく際に、「引き込み」が大きな「足かせ」になっていることを意味するのだそうです。



工藤和俊 准教授

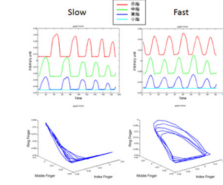


図3：課題C実行時の指位置時間系列（上段）と指の位置-位置プロット（下段）

身体運動・健康科学実習 「コーディネーション」

フェルデンクライス

野口体操

ピラティス

真向法

ヨガ

ボディー・マッピング

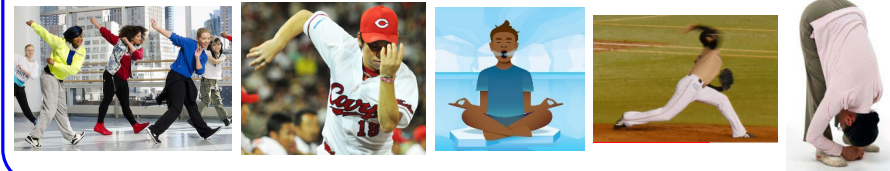
アレクサンダー・テクニーク

座禅

瞑想

統合

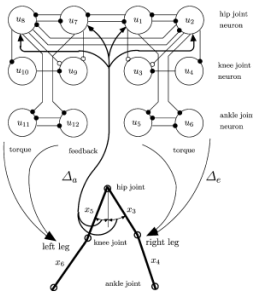
脱力・呼吸・姿勢・体幹・身体感覚・リズム・協調



コーディネーション(協調)ダイナミクス

体肢間協調

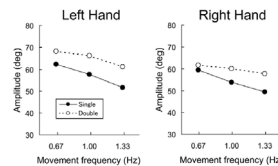
$$\begin{cases} \tau_i \dot{u}_i(t) = u_i(t) - v_i(t) - u_i(t)^3/3 + \sum_{j=1}^{12} w_{ij} y_j \\ \quad + u_0 + \alpha F_i(x(t) - \Delta_{a_i}), \\ \dot{v}_i(t) = u_i(t) + a - b v_i(t), \\ y_i = f(u_i(t)), \quad f(u) = \max(0, u), \quad (i = 1, 12) \end{cases}$$



Ohgane et al. (2004)
Biol Cybern

感覚運動協調

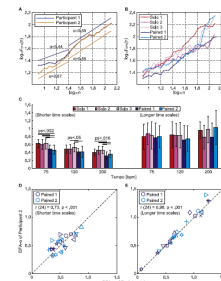
$$\begin{cases} \dot{\phi} = \Delta\omega - a \sin \phi - 2b \sin 2\phi + \sqrt{Q} \xi_t \\ \begin{cases} x_1 + f_1(x_1, x_2) = I_{12}(x_1, x_2) \\ x_2 + f_2(x_2, x_1) = I_{21}(x_1, x_2) \end{cases} \\ \dot{\phi} = (\alpha + 2\beta r^2) \sin \phi - \beta r^2 \sin 2\phi, \\ I_{jk} = (x_j - x_k) \times [\alpha + \beta(x_j - x_k)^2] = -I_{kj} \end{cases}$$



Kudo et al. (2006)
J Exp Psychol
Hum Percept Perform

対人間協調

$$\begin{cases} \frac{d\theta_{1i}(t)}{dt} = \omega_{1i}(t) + Z(\theta_{1i}(t)) p_{1i}(t) + \sigma_1 \xi_{1i}(t) \\ \frac{d\omega_{1i}(t)}{dt} = Y(\theta_{1i}(t)) p_{1i}(t) - k_{1i} p_{1i}(t) (\omega_{1i}(t) - \omega_{1i}(0)) \\ p_{1i}(t) = \sum_{\ell} \delta(t - \tau_{\ell}^{(1)}) \\ p_{2i}(t) = \sum_{\ell} \delta(t - \tau_{\ell}^{(2)}) \end{cases}$$



Okano et al. (2020)
Physica A

高校体育教科書資料

工藤和俊(2022) 調整力のトレーニング

基礎から学ぶ

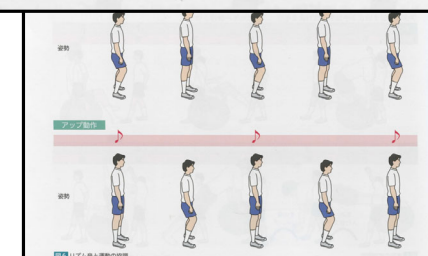
スポーツ概論

高橋健夫・大塚立志・本村清人・壺川恒夫・友添秀剛・菊幸一・岡出美則 編著
全国高等学校体育学科・コース連絡協議会 編集協力



音と運動の協調性

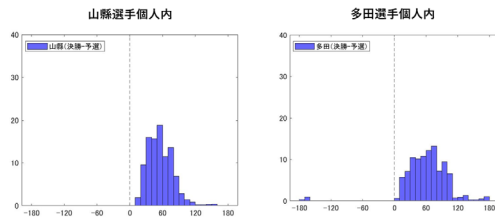
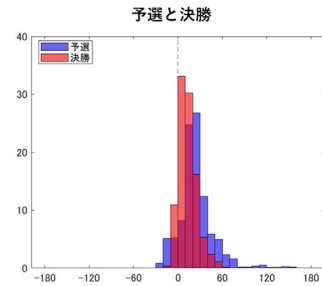
現代的なリズムにあわせたダンスをおこなう際には、リズム音と運動との協調性を保持することが必要となる。このとき、リズム音と膝の屈曲を一致させるダウン動作よりもリズム音と膝の伸展を一致させるアップ動作のほうが難しい(図6)。アップ動作をおこなっている際にリズムを徐々に速くすると、ダウン動作になってしまうことがある。したがって、このような協調運動の練習をおこなう際には、適切な速さのリズムを用いることが重要になる。



陸上競技日本記録樹立レース

2組 (風:+2.0)

順位	レーン	ナンバー	氏名	所属	記録	コメント
1	6	644	YAMAGATA Ryota	東京	0.127	
2	5	607	山縣 亮太	セイコー	9.95	NR, GR
			TADA Shuhei	大阪	0.125	
3	7	609	多田 修平	住友電工	10.01	=GR
			KOIKE Yuki	東京	0.136	
			小池 祐貴	住友電工	10.13	



ドライビング時の頭部動揺

非F1出場選手



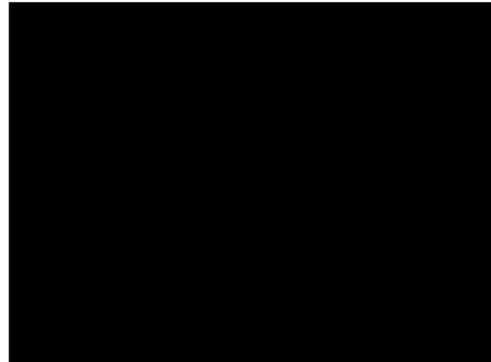
F1出場選手



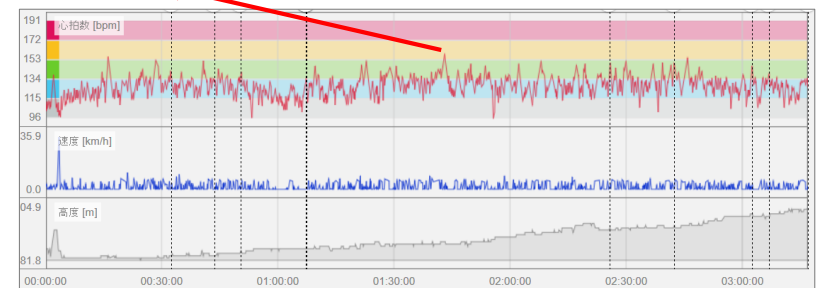
運転時の眼球運動

大学自動車部員

全日本ラリー優勝者



ゴルフラウンド時の心拍数



歌う身体，踊る身体

生命環境科学系 工藤 和俊

遍在する歌と踊り

ヒト社会は歌と踊りに満ちている。いつの時代も、どの地域においても、いかなる文化であっても、歌と踊りは人間社会の中に存在し続けてきた。先史人類であるホモ・ネアンデルターレンシスの社会においても、全体的で、多感覚的で、ミメシス（模倣）的で、音楽的なコミュニケーションを顕現するものとして、歌と踊りが溢れていたと主張する認知考古学者も存在する¹⁾。そのように考えると、歌と踊りはそれぞれ決して別々のものではなく、きわめて密接な関係を有する身体活動であるといえる。

音と身体運動の密接な関係

人々は歌や演奏に合わせて舞い踊り、踊りに合わせて声を出す。歌と踊りの密接な関係の背景には、聴覚と身体運動の双方向的な結合関係がある。ダンスや行進のための音楽ジャンルが存在するように、リズムカルな音を聴くと身体運動はそのリズムに引き込まれていく。安定したテンポの音を聞くことにより、それに合わせた運動は時空間的に安定する²⁾(図1)。このようなヒトの聴覚-運動特性は歩行のリハビリテーションやスポーツ技能の習得にも応用されている³⁾。

また、思わず身体を動かしたくなってしまふようなノリの良い音楽を聴いている際には、身体運動の制御に関与する脳部位である運動前野や補足運動野の活動が増大する⁴⁾。これらの脳活動は、運動発現を促進するだけでなく、音に合わせた身体運動を脳内でシミュレートすることにより、リズムやビートの知覚にも関与していると考えられている⁴⁾。すなわち、音構造の知覚(perception)とは、自らの身体が決定的な役割を担う行為(action)として成立するといえる。

同期する身体

リズムカルな音に身体運動が引き込まれると両者の周期が一致していく。たとえば、一定周期のビート音に合わせて立位で身体の上下動をする際には膝関節角度が正

A. 単一メトロノーム条件 B. 二重メトロノーム条件

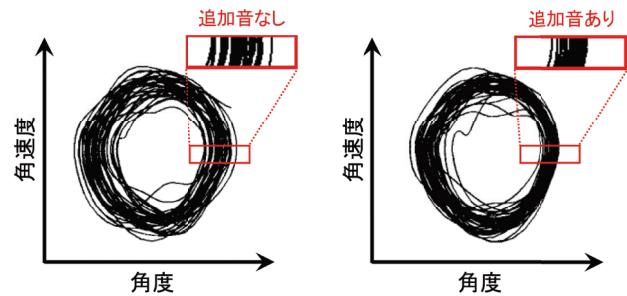


図1 聴覚情報の提示による運動軌道の安定化²⁾
この研究において、参加者は一定テンポで提示されるメトロノーム音に合わせて周期的な運動を実施した。運動時の関節角度を横軸、角速度を縦軸とした状態空間に運動軌道をプロットすると、1周期に1度メトロノーム音を提示する単一メトロノーム条件(A)に比べて、1周期に2度メトロノーム音を提示する二重メトロノーム条件(B)では、追加音を提示したタイミングで運動の軌道が収束し、安定化した。さらに、これらの運動軌道をより文脈依存性の高い高次の状態空間に埋め込み、その時系列特性を検討すると、特定の高次状態がより高い確率で再現され、再現性の高い状態がより長期にわたって連続することが明らかになった。

弦波状に時間変化し、この運動周期がビートの周期と等しくなる。これを周期同期という。

ここで、リズムカルな音に合わせて複数の人々が身体の上下動をしているという状況を想定してみる。周期同期が起きているとき、必ずしも人々の動きが一致しているとは限らない。つまり周期が同一であっても、同じタイミングで身体が下方に沈み込んでいる場合もあれば、逆に上方に伸び上がっている場合もありうる。実際、ビートのテンポが比較的遅い場合には、これらの運動がいずれも発現しうる⁵⁾(図2A)。一方、テンポを上げると、約120拍/秒(=2Hz)を超えたあたりから多くの人々の運動が揃っていき、身体の上下動(位相)が一致するようになる⁵⁾(図2B)。このときには周期同期に加えて位相同期が生じることになり、互いに一致した集団運動が出現することになる。これらの知見は、動きの揃った原初的な集団の踊りが、動きを合わせるための特別な練習を積み重ねることなく、ヒトの聴覚運動特性から自己組織的に生じうる可能性を示唆している。

また、外部から与えられた音を聞くのではなく、自ら

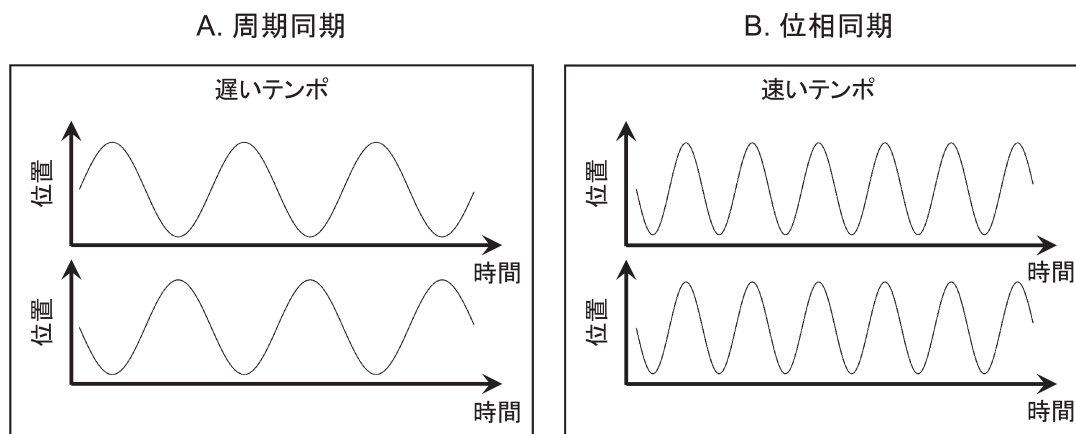


図2 周期同期(A)と位相同期(B)

遅いテンポでは運動の周期のみ一致しているのに対して、速いテンポでは周期に加えて位相が一致する。

リズムカルな声を出し、その声に合わせて運動すると、発声と運動が互いに引き込み合い同時に安定化する⁶⁾。この研究では、メトロノームで提示された一定のテンポを保つようにして、1) 単独での発声、2) 単独での運動、3) 同時に発声と運動の両方を実施、という3条件下でテンポ維持課題を実施し、各条件におけるテンポのばらつきを比較した。その結果、発声と運動を共に行うことによって、それぞれを単独で行うよりもばらつきが小さくなることが明らかになった。この知見は、歌いながら踊ることによって、歌のみ、あるいは踊りのみを実施するよりも運動が安定化する可能性を示している。

さらに、音楽は一般に、音の時間間隔だけでなく、音圧、音高、音色に関しても豊かで複雑な構造をもつ。たとえば、多くの音楽は特定の音圧構造（拍子）を有している。リズムカルな音系列に拍子を加えると、それに合わせた運動も無意図的に変化し、一定テンポのビート音に対する運動の同期課題を行う際に音圧を変化させて「大・小・大・小」のように拍子をつけると、「大・大・大・大」と音圧を一定にしたときよりも運動が安定化するとともに動作の振幅が増大する⁷⁾。

このような周期運動の自己組織的な振る舞いに関与するパラメータは、視聴覚と運動の関係のみならず体肢間や対人間の同期現象に幅広く共通するものであり、結合振動子系等を用いた数理モデルによってその振る舞いが記述されている⁸⁻¹⁰⁾。

社会へ広がる歌と踊り

ともに歌い、ともに踊るとき、人々の結びつきは強まっていく。リズムカルな運動を行う際、互いに声を掛け合うことに加えて互いの姿を見ることにより、運動の聴覚

的相互作用に視覚的相互作用が重畳し、互いの運動がより安定化する¹¹⁾。近年ではさらに、このような身体同期の社会的な役割に関わる研究が進展し、運動の同期が集団の凝集性を高め、集団内での向社会行動や協力行動を増大させることが明らかになってきた¹²⁾。人類社会の歴史においても、歌と踊りは常に「まつり（祭り／祀り／政り）ごと」とともにあり、人々の心を捉え、結びつきを強化する役割を果たしてきた。その意味で、歌い踊る身体の研究は、人類の来し方を知るうえでも、また行く末を案じるうえにおいても、一定の役割を果たしているのではないかと考えている。

引用文献

1. Mithen, S.J. *The singing Neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. London: Weidenfeld & Nic. 2005.
2. Kudo, K., Park, H., Kay, B.A., Turvey, M.T. Environmental coupling modulates the attractors of rhythmic coordination. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, **32**, 599-609, 2006.
3. Schaffert, N., Janzen, T.B., Mattes, K., Thaut, M.H. A review on the relationship between sound and movement in sports and rehabilitation. *Front. Psychol.*, **10**, 244, 2019.
4. Matthews, T.E., Witek, M.A.G., Lund, T., Vuust, P., Penhune, V.B. The sensation of groove engages motor and reward networks. *Neuroimage*, **214**, 2020.
5. Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., Kanehisa, H. Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers. *Hum. Mov. Sci.*, **30**, 1260-1271, 2011.
6. Miyata, K., Kudo, K. Mutual stabilization of rhythmic vocalization and whole-body movement. *PLoS One*, **9**, e115495, 2014.
7. Erani, T., Miura, A., Okano, M., Shinya, M., Kudo, K. Accent stabilizes 1:2 sensorimotor synchronization of rhythmic knee flexion-extension movement in upright stance. *Front. Psychol.*, **10**, 888, 2019.
8. Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., Oda, S. Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: A study of professional drummers and nondrummers. *J. Neurophysiol.*, **104**, 2178-2186, 2010.
9. Okano, M., Shinya, M., Kudo, K. Paired synchronous rhythmic finger tapping without an external timing cue shows greater speed increases relative to those for solo tapping. *Sci. Rep.*, **7**, 43987, 2017.
10. Okano, M., Kurebayashi, W., Shinya, M., Kudo, K. Hybrid dynamics in a paired rhythmic synchronization-continuation task. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, **524**, 625-638, 2019.
11. Miyata, K., Varlet, M., Miura, A., Kudo, K., Keller, P.E. Vocal interaction during rhythmic joint action stabilizes interpersonal coordination and individual movement timing. *J. Exp. Psychol. Gen.*, **150**, 385-394, 2021.
12. Michael, J., McEllin, L., Felber, A. Prosocial effects of coordination - What, how and why? *Acta Psychol.*, **207**, 103083, 2020.