慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	音楽家のための身体運動医科学 : ダイナフォーミックス
Sub Title	Musical dynaformics : motor neuroscience for musicians
Author	古屋, 晋一(Furuya, Shin'ichi)
Publisher	慶應SFC学会
Publication year	2021
Jtitle	Keio SFC journal Vol.20, No.2 (2020.) ,p.62- 69
JaLC DOI	10.14991/003.00200002-0062
Abstract	音楽と神経科学の研究分野であるNeuromusicは、過去30年の間に急速に成長してきた学際領域である。北米や欧州での盛り上がりとは対照的に、日本をはじめとするアジアにおけるNeuromusicの認知度は未だ高くない。本稿は、Neuromusicの歴史や対象を概説した後、当該領域の中でも特に研究が遅れている演奏研究の過去・現在・未来について論じる。
Notes	特集 音楽と科学 招待論文 : 学会動向
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-2002-0062

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

［招待論文：学会動向］

音楽家のための身体運動医科学
ダイナフォーミックス

Musical Dynaformics
Motor Neuroscience for Musicians

古屋 晋一
株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所リサーチャー・プログラムマネージャー
ハノーファー音楽演劇メディア大学客員教授
上智大学特任准教授
関西学院大学客員教授

Shinichi Furuya
Researcher and Program Manager, Sony Computer Science Laboratories Inc.
Guest Professor, Hannover University of Music, Drama, and Media
Research Associate Professor, Sophia University
Guest Professor, Kwansei Gakuin University

Correspondence to: furuya@csl.sony.co.jp

Abstract:　音楽と神経科学の研究分野である Neuromusic は、過去 30 年の間に急速に成長してきた学際領域である。北米や欧州での盛り上がりとは対照的に、日本をはじめとするアジアにおける Neuromusic の認知度は未だ高くない。本稿は、Neuromusic の歴史や対象を概説した後、当該領域の中でも特に研究が遅れている演奏研究の過去・現在・未来について論じる。

Neurosciences and music, often called “Neuromusic”, is an interdisciplinary field consisting of neuroscience, psychology, cognitive science, neurology, and biomechanics. The field has been growing up during the past three decades in the world. In contrast, little has been recognized about this field among researchers in Asian countries. This article introduces a history and targets of the Neuromusic researches, and also argues potentials of researches on music performance (i.e. Musical Dynaformics).

Keywords: モーターコントロール、バイオメカニクス、神経可塑性、学際領域
motor control, biomechanics, neuroplasticity, multidiscriplinary

1　序論

音楽と神経科学の研究分野は Neuromusic と呼ばれ、90 年代以降、急速に発展してきた。対象とする内容は、音楽の知覚や認知、音楽療法、音楽演奏など多岐にわたるため、様々なバックグラウンドを持った研究者らによる学際的な研究領域として盛り上がりを見せている。しかし、欧米諸国に比べて、国内での当該分野の認知度は未だ高くなく、今後多くの研究者の Neuromusic への参画が期待されている。本稿は、Neuromusic の歴史や対象を概説した後、その中でも特に萌芽段階にある音楽演奏に関する研究について、これまでの成果とこれからの可能性について述べる。

2　Neuromusic

音楽を聴いて感動し涙を流すことや、音楽を通してコミュニケーションを取ることなど、私たちの生活において音楽は有史以来、大きな役割を担ってきた。古くはギリシャ神話の神々が楽器を奏でていることや、古代の洞窟の壁画に描かれた演奏の様子などから、音楽に対する人々の興味の深淵な歴史がうかがえる。一方、音楽を鑑賞する脳の働きを科学によって明らかにすることは、芸術への冒涜だと批判にさらされることや、神経科学の対象領域ではないと拒絶されることも少なくなかった。このバランスが崩れ始め、音楽の神経科学研究が世界中で急速に進んだのは、90 年代に入ってのことである。脳イメージング技術が発展し、音楽がヒトの脳にとって言語のような普遍的なものであることや、音楽特有の認知や情動喚起のように特異的なものであることが次々と明らかにされてきたことが一因であろう。結果、Neuromusic の研究は大きなうねりを生み、後述する国際学会 The Neurosciences and Music の参加者は、回を追うごとに指数関数的に増加していくこととなった。

音楽と脳の研究は、主に 3 つの分野に大別される。一つ目は、リズムや拍、和音や音色、和声進行といった音楽の要素を処理する脳の働きや、音楽を聴取して快・不快を感じるといった情動が生まれる脳神経系の働きの理解を目指す、知覚および認知の研究である（“ 音楽知覚認知科学 ”）。失音楽症や音楽無快楽症など、音楽の知覚や情動処理に特異的な異常を示す疾患を調べることを通して、音楽を鑑賞する脳神経系の働きを理解しようとする取り組み

も含まれる（Peretz & Zatorre, 2005）。さらに、音楽訓練に伴う知覚や認知に関わる神経機能の可塑的変化も一領域を成し、脳の臨界期以前から開始した長期的な音楽訓練は、絶対音感に代表されるように、他に類を見ない特異的な脳神経系の構造・機能変化をもたらすことが知られている（Munte *et al.*, 2002; Kraus & Chandrasekaran, 2010; Herholz & Zatorre, 2012）。二つ目は、音楽を演奏・聴取することにより、脳卒中や失語症、パーキンソン病といった神経疾患の症状を軽減させる研究である（“音楽療法”）。近年、脳イメージング技術や非侵襲脳刺激法を用いた研究により、音楽療法の神経機序が明らかになりつつあり、エビデンスに基づいた介入として医学での信頼が高まりつつある（Sihvonen *et al.*, 2017）。同様のアプローチを用いて、加齢が生体機能に及ぼす影響を軽減させようとする試みも、近年、高齢化社会が世界的に関心を高める中で注目を集めている（Sutcliffe *et al.*, 2020）。三つ目は、後に詳述する、音楽の演奏や演奏技能の習得に関わる脳や身体の働きを対象とした研究である（Furuya & Altenmüller, 2015）（“音楽演奏科学”）。これら３つの分野の中でも、古くは実験心理学や認知科学に端を発する音楽知覚認知科学や、臨床現場で幅広く用いられてきた音楽療法は、Neuromusic の研究が現状特に進んでいる分野である。

Neuromusic の黎明期を支え、分野の礎を築いた神経科学者として、Robert Zatorre、Isabelle Peretz、Nina Kraus、Gottfried Schlaug、Eckart Altenmüller、Aniruddh Patel、Christo Pantev らの名が挙げられる。これらの研究者は、音楽を処理する脳神経系の働きの普遍性と特異性や、音楽家の知覚・認知・運動機能の可塑的変化を明らかにすることで、神経科学分野の中での Neuromusic の地位を確立することに大きく貢献してきた。特に Zatorre 教授と Peretz 教授の両名の功績は計り知れないものがあり、音楽の神経科学の国際学会 The Neurosciences and Music を立ち上げ、牽引してきたことに加えて、Neuromusic 分野の世界最大の研究教育機関である BRAMS の創立者として、当該分野の後進の育成に今日まで取り組んでいる。

Neuromusic 分野の国際学会 The Neurosciences and Music は、2002 年に第 1 回が開催されて以来、これまで計 6 回、3 年に一度の頻度で行われてきた。しかし、その起源は 2000 年 5 月にニューヨーク科学アカデミー（NYAS）が

主催となって開催された会議 The Biological Foundations of Music に遡る。これは 90 年代に入り、世界中で急速に進んだ音楽の神経科学の研究の現状を整理し、今後の分野の方向性を検討する上で重要な役割を担う会議となった。その後、The Neurosciences and Music の各会議における主要な研究発表内容は、査読を経た後、NYAS が発刊する学術誌 *Annals of the New York Academy of Sciences* の特集号に掲載されることとなり、これが分野の発展の一翼を担った。The Neurosciences and Music は毎回テーマが定められており、そのテーマに沿ったシンポジウムやポスター発表が募集され、審査される。筆者は、2005 年の第 2 回から現在に至るまで、The Neurosciences and Music には毎回参加し、第 6 回大会からは Scientific Committee を担っているが、公募シンポジウムの選考は公平かつ厳正であり、非常に多くのハイインパクトな申請書が一切の利益相反を排除した上で厳しく審査される。そのため、シングルセッションで開催されるシンポジウムの質は高く保たれている。筆者の役割の一つは、アジアからの参加者の数を増やすことであり、ひいてはアジアにおける Neuromusic 分野の発展に寄与することであるため、次回の第 7 回大会以降、日本からの多くの参加者を期待している。

3　音楽家の研究から音楽家のための研究へ

音楽知覚認知科学や音楽療法は、The Neurosciences and Music の他にも幾つかの国際学会が開催されているように、盛んに研究が行われており、研究人口も比較的多い。一方、音楽演奏科学はこれらの分野に比べると萌芽期にあるが、演奏家や指導者といった現場からのニーズは高い。音楽演奏の脳と身体の働きについての研究は、3 つの領域に大別される。一つ目は実験心理学であり、音楽演奏の記憶についての研究（Palmer, 1997）や、演奏における表現についての研究 (Repp, 2005)、演奏時の聴覚と運動の統合についての研究 (Pfordresher, 2003; van der Steen *et al.*, 2014)、複数の音楽家による演奏の協調についての研究(D'Ausilio *et al.*, 2015)などが挙げられる。二つ目は、神経科学であり、演奏訓練に伴う感覚運動機能の可塑的変化に関する研究（Gentner *et al.*, 2010; Hirano *et al.*, 2020）や、演奏時の感覚予測の神経機序に関する研究 (Ruiz *et al.*, 2009)、過剰な音楽訓練による巧緻運動機能の失調

に関する研究（Altenmüller, 2003）、歌唱や楽器演奏における感覚運動統合の神経機序に関する研究（Bangert *et al.*, 2006; Kleber *et al.*, 2013）などが挙げられる。三つ目は、身体運動学であり、バイオメカニクスの手法や運動制御・運動学習の理論に基づき、ピアノ演奏（Furuya & Kinoshita, 2008; Furuya *et al.*, 2011）やドラム演奏（Fujii *et al.*, 2009; 2010; Fujii & Moritani, 2012）、チェロ演奏（Verrel *et al.*, 2013）やヴァイオリン演奏（Lee *et al.*, 2013）といった複雑な演奏動作の運動特性を精緻に描写したり、背後にある制御や学習の仕組みについて理解を深める研究などが挙げられる。

このように、演奏に関わる音楽家の脳と身体の働きについて異なる観点や手法を用いた研究が行われてきた一方で、音楽家のための演奏研究、すなわちトランスレーショナル・リサーチは、実現されていると呼べる水準に至っていない。先述の Altenmüller 教授は、自身がプロのフルート奏者であると共に神経内科医でもある専門性を融合し、演奏家の障害の診断や治療といった臨床活動に取り組む一方で、これら音楽家の障害の病態理解や治療法の開発にも取り組んできた。Musicians' Medicine（音楽家医学）は彼が打ち立てた領域であるといって過言ではなく、その先駆者として、数多くの音楽家を救う臨床研究に取り組んできた。同様の志を持った取り組みは、音楽家の熟達支援や故障予防を行う音楽教育においても行われるべきである。過去には、身体教育を通して演奏家をサポートすることを目指した音楽教育者や科学者も散見される。最も有名な例は、身体運動学の祖として知られるニコライ・ベルンシュタインであろう。彼は、モスクワ音楽院からの依頼を受け、ピアノのオクターブ打鍵時の腕運動について調べた（Kay *et al.*, 2003）。その際、当時最先端の動作分析と逆動力学計算を用いて、ピアニストは重力を利用して打鍵していないという結論を 1930 年に発表した。しかし、この結論に演奏家からは疑問の声が相次ぎ、筆者自身も、打鍵の際には肩や肘で重力を用いることで無駄な筋の仕事を軽減できるという主観と反することに疑問を抱いた。事実、ベルンシュタインが用いた運動方程式は不正確であり、また筋電図評価を用いずに重力利用の可否を検証できないため、筆者らは詳細な剛体リンクモデルと筋電図を用いた研究を行い、重力を利用して打鍵する演奏技能が明らかとなった（Furuya *et al.*, 2009）。この例は、偉大なる身体運動科学者の

名に傷を付け得る事例では決してなく、むしろ演奏を正しく理解し、演奏家に意義ある知見を提供するためには、演奏家としての経験や問題意識に基づくことと、適切な実験と評価を行うことの相乗効果が不可欠であることを、筆者自身に強く胸に刻み込む出来事となった。芸術の高みを目指して日々研鑽を積む演奏家に対して、真に役に立ち得る知見を提供するためには、未成熟な研究領域が発展し、より多くの優れた知が集結し、相乗効果を生み出すことが不可欠である。「はじめに音楽家ありき」を信条としたミュージシャン・セントリックな研究が活性化することを目指し、筆者は 2009 年に音楽演奏科学という領域を明示的に提案し、それを元に体系立てたダイナフォーミックスという領域を 2019 年に提案した。パフォーマンスの元となる perform は「完全なものを形作る・与える」という語源であるのに対し、ダイナフォーミックスは多種多様に変化する表現や生体の変化の理を解明する学問である。演奏における表現の多様性や可塑性というダイナミクスに主眼を当てた研究・開発の目的は、演奏家が思い描いた表現を生み出す支援をすることにある。演奏家の抱える問題が、暗譜やアガリ、故障や音色の多様性など、多岐にわたるため、バイオメカニクスや神経生理学、実験心理学や予防医学、音響工学など、ダイナフォーミックスが対象とする研究分野は単一ではなく、学際的な領域である。多様なアプローチを通して、音楽を創造する脳・身体・心の働きや、楽器という人工物と生体との相互作用の仕組みを解明し、その成果を一気通貫に教育に実装し、さらに指導・練習の現場で得られた知見を研究・開発に還元する循環を生み出すため、筆者らは 2020 年よりミュージック・エクセレンス・プロジェクトを開始した。Altenmüller 教授が音楽家医学で実現したように、研究・開発・教育が三位一体となって循環するサーキュラー・リサーチを実現することにより、思い描いた表現を演奏家が自在に創造できる社会において、どのような新しい音楽表現が生まれるか、興味は尽きない。

4　世界の頂へ

日本で生まれ、北米と欧州で生活してきた筆者は、日本という国の特異性や優位性を感じる点を幾つか挙げることができる。第一に、日本には、ヤマハやカワイといった世界に誇る楽器製作と音楽教育の企業が存在する。第二

に、内田光子氏や五嶋みどり氏、小澤征爾氏など、数多くの日本人アーティストが、これまでに国際舞台の第一線で活躍してきた。第三に、演奏の身体運動科学の数少ない研究者である藤井進也准教授（慶應 SFC）や筆者が同じ時代に切磋琢磨しながら当該分野を牽引している。巨人の肩の上に立つ恩恵を被り、これまで Neuromusic の研究に従事してくることができた我々が、演奏の分野において世界をリードするという、10 年前には夢物語と思われたようなことが実現可能な未来として目の前に迫っている。本特集号は、そのような時代の訪れを知らせる鐘を鳴らす役割を担っているものと確信している。

参考文献

Altenmüller, E. (2003) “Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians”, *Hand Clin*. 19, pp. 523-538, xi.

Bangert, M., Peschel, T., Schlaug, G., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., Heinze, H.J. & Altenmüller, E. (2006) “Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: evidence from fMRI conjunction”, *Neuroimage*. 30, pp. 917-926.

D’Ausilio, A., Novembre, G., Fadiga, L. & Keller, P.E. (2015) “What can music tell us about social interaction?”, *Trends in Cognitive Sciences*. 19, pp. 111-114.

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”, *Neurosci. Lett*. 459, pp. 69-73.

Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T. & Oda, S. (2010) “Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: a study of professional drummers and nondrummers”, *J. Neurophysiol*. 104, pp. 2178-2186.

Fujii, S. & Moritani, T. (2012) “Rise rate and timing variability of surface electromyographic activity during rhythmic drumming movements in the world's fastest drummer”, *Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 22, pp. 60-66.

Furuya, S. & Altenmüller, E. (2015) “Acquisition and reacquisition of motor coordination in musicians”, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1337, pp. 118-124.

Furuya, S., Flanders, M. & Soechting, J.F. (2011) “Hand kinematics of piano playing”, *J. Neurophysiol*. 106, pp. 2849-2864.

Furuya, S. & Kinoshita, H. (2008) “Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke”, *Neuroscience*. 156, pp. 390-402.

Furuya, S., Osu, R. & Kinoshita, H. (2009) “Effective utilization of gravity during arm downswing in keystrokes by expert pianists”, *Neuroscience*. 164, pp. 822-831.

Gentner, R., Gorges, S., Weise, D., aufm Kampe, K., Buttmann, M. & Classen, J. (2010) “Encoding of motor skill in the corticomuscular system of musicians”, *Curr. Biol*. 20, pp. 1869-1874.

Herholz, S.C. & Zatorre, R.J. (2012) “Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure”, *Neuron*. 76, pp. 486-502.

Hirano, M., Kimoto, Y. & Furuya, S. (2020) “Specialized Somatosensory-Motor Integration Functions in Musicians”, *Cereb Cortex*. 30, pp. 1148-1158.

Kay, B.A., Turvey, M.T. & Meijer, O.G. (2003) “An early oscillator model: studies on the biodynamics of the piano strike (Bernstein & Popova, 1930)”, *Motor Control*. 7, pp. 1-45.

Kleber, B., Zeitouni, A.G., Friberg, A. & Zatorre, R.J. (2013) “Experience-dependent modulation of feedback integration during singing: role of the right anterior insula”, *J. Neurosci*. 33, pp. 6070-6080.

Kraus, N. & Chandrasekaran, B. (2010) “Music training for the development of auditory skills”, *Nat. Rev. Neurosci*. 11, pp. 599-605.

Lee, A., Tominaga, K., Furuya, S., Miyazaki, F. & Altenmüller, E. (2013) “Task-specific tremor in violinists: evidence of coactivation in the 3 to 8 Hz frequency range”, *Mov. Disord*. 28, pp. 1890-1892.

Munte, T.F., Altenmüller, E. & Jancke, L. (2002) “The musician's brain as a model of neuroplasticity”, *Nat. Rev. Neurosci*. 3, pp. 473-478.

Palmer, C. (1997) “Music performance”, *Annu. Rev. Psychol*. 48, pp. 115-138.

Peretz, I. & Zatorre, R.J. (2005) “Brain organization for music processing”, *Annu. Rev. Psychol*. 56, pp. 89-114.

Pfordresher, P.Q. (2003) “Auditory feedback in music performance: Evidence for a dissociation of sequencing and timing”, *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*. 29, pp. 949-964.

Repp, B.H. (2005) “Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature”, *Psychonomic Bulletin & Review*. 12, pp. 969-992.

Ruiz, M.H., Jabusch, H.C. & Altenmüller, E. (2009) “Detecting wrong notes in advance: neuronal correlates of error monitoring in pianists”, *Cereb Cortex*. 19, pp. 2625-2639.

Sihvonen, A.J., Sarkamo, T., Leo, V., Tervaniemi, M., Altenmüller, E. & Soinila, S. (2017) “Music-based interventions in neurological rehabilitation”, *Lancet Neurology*. 16, pp. 648-660.

Sutcliffe, R., Du, K. & Ruffman, T. (2020) “Music Making and Neuropsychological Aging: A Review”, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 113, pp. 479-491.

van der Steen, M.C., Molendijk, E.B., Altenmüller, E. & Furuya, S. (2014) “Expert pianists do not listen: the expertise-dependent influence of temporal perturbation on the production of sequential movements”, *Neuroscience*. 269, pp. 290-298.

Verrel, J., Pologe, S., Manselle, W., Lindenberger, U. & Woollacott, M. (2013) “Exploiting biomechanical degrees of freedom for fast and accurate changes in movement direction: coordination underlying quick bow reversals during continuous cello bowing”, *Frontiers in Human Neuroscience*. 7, p. 157.

〔受付日　2020. 8. 31〕