

音楽知覚と運動主体感の生成過程との関連に関する一考察

園田 章文・宮田 裕光

2020年3月14日

JCSS-TR-83

<著者所属>

早稲田大学 文学学術院

<連絡先>

宮田 裕光

早稲田大学 文学学術院

〒162-8644 東京都新宿区戸山 1-24-1

miyata@waseda.jp

© Akifumi Sonoda & Hiromitsu Miyata, 2020

日本認知科学会

事務局

〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1

明治大学 理工学部 電気電子生命学科内

jcss@jcss.gr.jp

## 要 約

音楽がどのように理解されているのか、また音楽によってどのように情動が引き起こされるのかについては、いまだ十分な解明がなされていない。本論文では、ひとつのアプローチとして、身体を用いた運動と結びつけることによって音楽が理解されている、という仮説に着目する。この仮説と深い関連を持つのが、音声知覚の運動理論である。運動理論の神経科学的根拠と考えられているミラーニューロンと音楽知覚とのつながりを検討することによって、脳内で音楽と運動とが関連づけられて理解されている可能性が浮かび上がる。これを踏まえて、次に、音楽生成における主体の判断がどのように行われているかについて考察する。「自分が何らかの結果を引き起こした」という感覚である運動主体感を生じさせるプロセスとして、これまで視覚モダリティにおいては、順モデルによる予測と感覚フィードバックとの照合や事後的な推論、およびそれらを統合した2段階モデルが考えられてきた。運動主体感の指標とされる *intentional binding* が視覚刺激および聴覚刺激の両方で生じるといった知見を踏まえると、視覚モダリティにおける運動主体感の生成モデルは、音楽知覚を含む聴覚モダリティにも適用可能であることが考えられる。さらに、音楽によって運動主体感が引き起こされることが、情動や音楽体験にどのような影響を与えうるかについて考察する。運動主体感という概念を音楽に導入することによって、「音楽とのなんとなくの一体感」という感情や、意識的な主体判断を通して音楽情動が生成される過程を、新たに想定することができると考えられる。

**キーワード:** 運動主体感 (sense of agency), 音楽知覚 (music perception), 運動理論 (motor theory), ミラーニューロン (mirror neuron), 音楽情動 (musical emotion)

## 1. はじめに

わたしたちヒトは、音楽によって情動が引き起こされたり、もしくはそれに込められた感情を理解したりということを、特段に意識することなく行っている。しかしながら、その過程は実証的に十分には解明されていない。脳における聴覚刺激の処理の流れとして知られているのは、主に音が「何であるか」を判断する経路と、「どんな」音で「どこで」鳴っているかを認識する経路である (Lima et al., 2016)。それ以外の、どのように表現が理解され、それがどのように感情として意識に上るのかという過程についてはよく知られていない。本論文では、その問題に対するひとつの考え方である音楽知覚の運動理論をとりあげる。そして、そのアイデアを拡張し、音楽が運動として知覚され、その主体判断が行われているという仮説を提示する。その上で、その主体判断の過程が、音楽によって引き起こされる情動とどのような関わりを持つかを検討する。

## 2. 運動理論

本論文の主要な目的は、音楽と運動主体感という概念を関連づけることである。のちに詳述するが、運動主体感とは「自分がその現象を引き起こした」という感覚であり (Gallagher, 2000)、脳内には主体判断のプロセスが存在すると考えられている (Synofzik et al., 2008)。すなわち、わたしたちの脳では、知覚される刺激が、自他いずれかの主体によって生み出されたものだとは判定されているということである。とすれば、その判断の前提には、受容される情報が脳内で運動と結びつけられることが必要であるといえる。視覚情報を例にあげると、たとえば他人が物を掴むという動作を観察したときには、誰が物を掴んだかという判断のまえに、「物を掴む」という動作であると判断されていなければならないということである。例示したような、視覚での運動の知覚はなかば当然のことのように思われるが、聴覚情報の一種である音楽は、運動であると知覚されるのだろうか。本章では、まず、運動として聴覚情報が解釈されるとした運動理論について概説する。

運動理論は、一般には Liberman et al. (1967) が提唱した「音声知覚の運動理論 (motor theory of speech perception)」のことをさす。Liberman et al. は、音声情報としての言語が処理されるプロセスは聴覚系だけでは成り立たないと考え、音声生成のための運動指令が参照されているとした。言語音声の生成が行われる際に、音素から発声器官を動かすための運動指令が導き出されることに注目し、逆に音声信号から、調音運動 → 運動指令 → 音素と脳内で処理がなされていると想定したのである。この理論が発表されて以後、知覚実験による検証や、ミラーニューロンの発見に伴う注目、運動指令から調音ジェスチャーへの修正を含む理論の改訂 (Liberman & Mattingly, 1985) などがなされた (柏野, 2006)。しかしながら、現在では音声知覚の主役は聴覚系であり、調音ジェスチャーは、音声が不明瞭な場合など音響的情報が不足しているときに、副次的に参照されると考えられている (廣谷, 2017)。ここで注目したいのは、外界からの情報が、身体を用いた運動と結びつけられることによって、意味のあるものとして解釈されるという運動理論の根幹をなす発想である。音楽が運動主体感を引き起こすと論じるためには、この運動理論が拡張され、音楽知覚に適用できうるのかを検討する必要がある。したがって、次章では、運動理論と深い関わりを持つとされるミラーニューロンについて述べる。

## 3. ミラーニューロン

運動理論は、音声知覚が運動の表象を参照することによって可能になっているという仮説であった。これを実証することを目的として、カテゴリ知覚や二重知覚、McGurk 効果の研究など、知覚実験からのアプローチがなされた (柏野, 2006)。一方で、神経科学の分野で発見され、運動理論の根拠になりうる一躍注目を浴びたのが、ミラーニューロン (mirror neuron) である。di Pellegrino et al. (1992) は、ブタオザル (*Macaca nemestrina*) が手の運動をおこなう際に、腹側運動前野の F5 という領域が活動す

ることを確認した。そして、その運動時に活動するニューロンは、サルが実験者の手の運動を観察しているときにも活動することを発見した。すなわち、自他の区別なしに、「運動」という現象に関与する神経活動が行われていることがしめされたのである。このような神経細胞は、ミラーニューロンと名づけられた。その後の研究で、他の脳領域やヒトでも同様に、自己の運動と他者の運動の観察の両方において同様の脳活動が確認され、ミラーニューロンの性質も明らかになりつつある。村田 (2009) は、ミラーニューロンの特徴を次のようにまとめている (村田, 2009, p. 80-81)。

- (1) 他個体や実験者の手や口の動作を観察しているときに活動する。
- (2) 観察した運動と同じ運動をサルみずから実行した場合でも反応する。
- (3) 動作のゴールが明らかであれば、途中経過が見えなくても反応する。物体を対象とする動作でなければ反応しない。
- (4) 動作の視覚的な観察だけでなく、動作に伴う音を聞いているときにも反応するものがある。みずからがそれと同じ動作をおこなうときには、同じニューロンが反応する。
- (5) 他者の道具を使った動作を見ているときに反応するものも存在する。この場合、観察した動作と実行する動作が同じでなくても、動作のゴールが同じであれば活動する。
- (6) サルの口によるコミュニケーション動作に関連すると思われるものも存在する。
- (7) PFG 野 (下頭頂葉にある脳領域で、解剖学的には F5 との結合がみとめられている [Rozzi et al., 2005]) のミラーニューロンは、動作の実行者の意図によって反応の有無が変わる。これは、他者の意図の理解にかかわるニューロン活動と考えられる。

これらの特徴は主にサルの研究によって得られたため、ヒトと同様にミラーニューロンが存在するとすれば、その性質には違いもあると考えられる。例えば、(3) ではミラーニューロンの活動には対象物が必要だとされているが、ヒトにおいては対象物がなくても、限定的ではあるが脳の活動が起こる (Fadiga et al., 1995)。また、サルでは二次元の画像として動作を提示されてもミラーニューロンはほとんど活動しない (Ferrari et al., 2003)。しかしヒトでは、目の前にいる他者を見る場合よりも弱いものの、映像で見せられた動作に対しても、運動に関わる脳領域が活動する (Perani et al., 2001)。このような知見から、ヒトのミラーニューロンは、活動を直接は計測できないものの、サルのミラーニューロンに比べて、刺激に対して若干、柔軟な反応をしめす性質があると考えられる。

ミラーニューロンは以上のような性質をもつことが知られているが、それが脳や身体にとってどのような機能を果たしているかについては、統一した見解がない。代表的な仮説として挙げられるものには、模倣による学習、他者の意図の理解、言語の起源、共同注意などがあるが、ここではまず、運動理論への援用について述べていく。Rizzolatti and Craighero (2004) は、ミラーニューロンの機能について、模倣とならんで他者の行動の理解を挙げている。Rizzolatti and Craighero の説では、ミラーニューロンは運動の表象であり、他者の行動を観察することによってそれが活性化される。そして、運動表象はその運動に対応する意味や結果などの情報に変換される。このような、視覚情報から運動表象、運動表象から意味へという処理の流れは、入力される情報の違いはあるものの、音声知覚の運動理論の内容と類似している。そのうえ、先に挙げたミラーニューロンの性質にもあるように、聴覚の情報に反応するミラーニューロンも存在することがわかっている。例えば、ブタオザルを対象として行われた実験では、ピーナッツを砕いたり紙を裂いたりといった運動をしているときに活動するニューロンが、その行動を見るだけでなく、引き起こされる音を聞いただけでも活動することが確認された (Kohler et al., 2002)。ヒトの音声知覚に関する研究では、ある音節の調音に伴って活動する中心前回の一部が、その音節を聞いたときにも対応した部分で活動することが示された (Pulvermüller et al., 2006)。このような研究成果もあり、音声知覚に関する運動理論が再考されるようになったが、その後の研究で、非音声 (e.g., 歯や口で出したクリック音) にも運動野のミラーニューロンシステムが機能することがわかり (Agnew et al., 2011)、ヒトのミラーニューロンシステムは言語の音声知覚に特有の経路で

ない可能性も考えられた。また、機械学習によるパターン認識で音声認識が可能になりつつあることもあり、現在では運動表象を音声知覚の主な説明に用いる必然性は薄いとされている (廣谷, 2017)。

しかしながら、言語の知覚だけでなく、ヒトによって生成される音に幅広くミラーニューロンシステムが機能するという事実は、音楽知覚に運動理論が適用できることを支持しているとも考えられる。音楽は、歌声やクラップ、足踏みなど、身体を利用したさまざまな方法で生み出された音で構成することができる。仮に楽器が発展する以前の音楽の形態を想定すれば、音楽が身体運動と直結した表現であることが理解できるだろう。そのように考えると、情動を含めた情報伝達の手段としての音楽が、脳で身体、運動の表象と結びつけられて理解されている可能性も十分に考えられる。

#### 4. 音楽知覚とミラーニューロン

前章の末尾では、音楽が運動表象を介して理解される可能性をしめした。言い換えれば、音楽知覚に運動理論を適用することが可能であるかが、実証的に検証される必要があるということになる。その検証の第1段階として、音声知覚がミラーニューロンの存在をその根拠として考えたように、音楽の知覚に関連するミラーニューロンシステムの実証的研究を概観する。また、それらの研究成果と対をなす、音楽における運動理論ともいえる理論的な探求についても触れる。

音楽の構成要素のうち、運動との関連が知られ、研究されているのがリズムである。時間的規則であるリズムの知覚は、音楽だけでなく、物体の移動する軌跡の予測や言語の理解など、多くの活動に重要であり、その知覚の仕組みが興味の対象となってきた。その結果として、リズムの生成や知覚のプロセスに関わる脳の部位や機能が、脳機能イメージングなどを用いて明らかにされつつある。そのような実験で計測することができるのは、運動野における脳血液量の増加といった生理指標だが、一方で、顕在的な行動指標としての運動がリズム知覚に与える影響も研究されており、その成果を先に触れておく。Manning and Schutz (2013) によると、タッピングのように体を動かすことによって、何もしていない状況にくらべてリズム知覚の正確性が向上する。また、Phillips-Silver and Trainor (2007) は、参加者にアクセントが不明瞭なリズムを聞かせながらリズムに結びつく運動をさせることで、そのリズム知覚に影響をおよぼせることを報告している。このように、身体を動かすという介入がリズム知覚を変容させるというのは、実証的にも直感的にも理解しやすい。

では、生理指標として観察される、脳内での運動系での活動は、どのようにリズム知覚と関わりうるだろうか。リズム知覚についての研究は、当初、側頭葉の聴覚野や連合野に焦点が当てられたが、のちに小脳、大脳基底核、感覚連合野へと対象が広げられていった (Penhune et al., 1998)。現在ではこれらの領域に加えて、補足運動野と前補足運動野がリズム知覚の際に活動することがわかっているが (Bengtsson et al., 2009)、注目されるのは、これらがすべて運動の準備に関連する領域であることである。この脳活動を、脳内でリズム生成のシミュレーションが行われているとみることもできるが、音楽の構成要素としての複雑なリズムの場合、音声のように直接的なミラーリングが起きているというのは考えにくい。Ross et al. (2016) は、リズム知覚の研究結果から、脳内で行われているのは単なるシミュレーションではなく、運動野を巻き込んだ感覚刺激への予測と準備であるという仮説を提示している。いずれにせよ、リズムが知覚される際に脳内の運動表象が関係している可能性は高く、現在も研究が続けられている。

リズムは音楽の重要な要素ではあるが、それ自体で情動を引き起こすことは難しい。では、リズムという時間的な情報を伴って音楽の形態で知覚される音声は、ミラーニューロンのような活動を引き起こすのだろうか。よく知られた研究として、ヌマウタズズメ (*Melospiza georgiana*) が他個体の鳴き声を聞いているときに、鳴いているときと同様の脳活動がみられるというものがある (Prather et al., 2008)。また、3章で述べたように、言語の音声を知覚しているときには、その音素に対応した発話運動に関わる脳の領域が活動する (Pulvermüller et al., 2006)。それだけでなく、唇や歯を用いた非言語的音声にもミラーニューロンシステムの活動がみられている (Agnew et al., 2011)。これらの研究結果が

ら推察されるように、ヒトが音楽を知覚している際にも、運動に関わる脳活動がみられる。Callan et al. (2006) は、成人が歌を聞くとときと作り出すときの脳活動を、機能的核磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging; fMRI) を用いて計測した。ただし、参加者が歌ってしまうと自らが発する声が聴覚フィードバックとなってしまうため、声を出さず歌うよう教示がなされた。その結果、歌の知覚と歌の生成の両条件で、左脳の側頭平面から上側頭頂部にかけて、両側の運動前野、両側の小脳後部の第VI小葉、両側の側頭極平面 (planum polare)、両側の上側頭回前部を含む、広い脳領域において活動が確認された。これらの領域は他人の歌唱を聞いているときも、自らが歌っているときも活動すると解釈できるため、ミラーニューロンシステムだと考えることができる。

また、歌唱だけでなく、楽器の演奏という運動に関しても、ミラーニューロンシステムがはたらくと考えられている。Bangert et al. (2006) は、ピアノで弾いた曲を聴かせた際の脳活動を、fMRI を用いて計測し、プロのピアニストと楽器演奏の経験のないグループとを比較した。その結果、プロのピアニストでは一次運動野と補足運動野で、楽器演奏の経験のない参加者よりも大きな脳活動がみられた。バイオリニストとクラリネット奏者を対象とした研究でも、それぞれが専門とする楽器で弾いた曲を聴いたときに、前頭前野や補足運動野などで事象関連電位 (event-related potential; ERP) が観察され、ミラーニューロンシステムの存在が示唆された (Proverbio et al., 2014)。

これらの活動がみられた脳領域の中で、Lima et al. (2016) は補足運動野に注目し、運動と知覚の両面に関わる性質を以下のようにまとめている。すなわち、大脳皮質前頭葉に存在する補足運動野は、機能的には運動の生成や制御に関わっており、発声器官を含めた身体がマッピングされていると考えられている。また、隣接する前補足運動野は、運動の順序形成や、行動の準備中に入力された感覚刺激への対応などの高次な運動に関わるとされ、補足運動野と同様に音楽知覚に関連すると考えられている。Lima et al. のメタ分析によれば、これらの脳領域は、感情的な発声表現や音楽表現、および音楽を思い浮かべるといった行為の両方、すなわち受動的な課題と能動的な課題の両方で活動する。そして、この性質をもっている補足運動野と前補足運動野は、ミラーニューロンシステムの一部かもしれないと Lima et al. は述べている。仮にこれらの脳領域がミラーニューロンであるとしても、その役割については議論が必要だが、補足運動野と前補足運動野が運動の準備という機能を持つと想定されていることから、これらの脳領域が後述する遠心性コピーに関わっていることも考えられる。

これまでみてきたように、音楽知覚やそれが内包するリズムの知覚において、脳神経レベルで運動との関わりが指摘されている。このように音楽と身体、運動とを結びつける発想自体は、新しいものではない。Todd and Lee (2015) は、古代から始まる音楽と運動との関連づけを概観しており、科学的には20世紀始めごろから研究テーマとなっていると述べている。それらの脳神経科学以外からのアプローチについて例を挙げると、西洋のクラシック音楽などで曲の終わりなどにあるリタルダンドでの

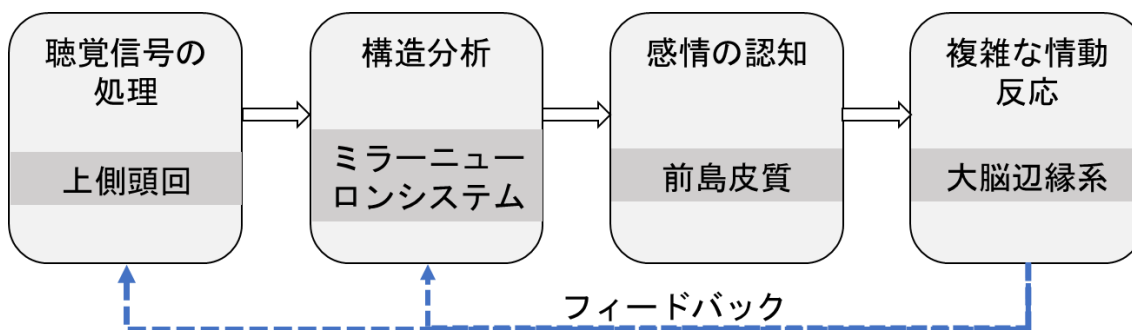


図 1: ミラーニューロンシステムが関わる音楽の意味理解と情動反応のモデル (Molnar-Szakacs & Overy, 2006 に基づき作成)。

テンポの減衰が、走者が停止する際の減速に由来することを示唆した研究が存在する (Friberg & Sundberg, 1999)。このような発想は興味深く、現象として音楽と運動が類似していることを確認できるが、その因果関係を実証することが難しいという課題がある。その点で、脳機能計測によるアプローチと補い合うべき立場であろう。実際、ミラーニューロンの発見によって、音楽が運動表象を介して理解されるとする理論も考案されている。1つの考え方では、上側頭回で聴覚情報として処理された音楽は、下前頭回後部 (ブロードマン44野) とそれに隣接する運動前野のミラーニューロンシステムで得られた運動情報と関連づけられる。この運動と結び付けられた情報は前島皮質で感情評価され、大脳辺縁系でさらに複雑な情動反応を引き起こす (Molnar-Szakacs & Overy, 2006; 図1)。

Matyja (2015) は、以上のようなメカニズムを基本としつつ、次は実際にミラーニューロンがどのように働くのかを検証する必要があるとしている。つまり、モデル化されたミラーニューロンでは、ブラックボックスとしてその入出力だけが考えられているが、現実にはミラーニューロンが音楽を「シミュレーション」しているのかを調べることが今後必要になるということである。しかし、本論文では神経科学的なミラーニューロンの解明ではなく、運動主体感という概念と音楽とを結びつけることが目的である。したがって、本章で概観した知見をもとに、「音楽が脳内で何らかのかたちで運動として解釈されている」ことを前提として、理論的な考察をすすめていく。

## 5. 運動主体感と音楽

### 5.1. 運動主体感とは

前章で述べたように、ミラーニューロンなどが機能することによって、音楽は脳内で運動と関連づけられていると考えられる。つまり、他者の歌声を聞いたときには、それが「歌う」という行為として自動的に解釈されていることになる。その場合、「誰が」歌っているのかという情報は、どのように得られるのだろうか。つまり、次に問題になるのは、音楽生成の主体の判断が行われる過程である。本章では、音楽とは離れた領域で研究されてきた運動主体感という概念と、その生成について考えられているモデルを、Synofzik et al. (2008) や佐藤 (2011) でレビューされている研究動向の流れを基本として概説する。

運動主体感は、自己という概念の探求に伴って明確化された。Gallagher (2000) は、歴史的に積み上げられてきた自己へのアプローチを2つのグループに分類している。1つは「最小自己 (minimal self)」であり、時間的には現在に限定された、最も基礎的、即時的で原始的な自己意識である。もう1つは「物語的な自己 (narrative self)」で、過去や未来に拡張された連続的な自己意識である。そして、最小自己はさらに「身体保持感 (sense of ownership)」と「運動主体感 (sense of agency)」に分類される (Gallagher, 2000)。身体保持感は、例えば自身の身体が自発的かそうでないかに関わらず「動いている」という感覚のように、なにかの経験を受けているのが自分であるという感覚をさす。一方の運動主体感は、「私がなにかを動かしている」とか「意識の上でなにか思考しているのは自分である」というように、何らかの作用を引き起こしているのが自分であるという感覚である。したがって、行動の主体に着目すると、身体保持感の場合は随意行動と不随意行動の両方に関わるが、運動主体感は随意行動にのみ関わることができる。

### 5.2. 運動主体感のモデル (1): 順モデル

運動主体感が生じる、すなわち「自分の行動がある結果を引き起こした」という感覚が生じるプロセスについては、主に2つの説が考えられてきた。1つは、「順モデル (forward model)」によって、予測された行動の結果と実際に生じた事象とを照合するという仮説である。このモデルの基礎は、脳がどのように目標の達成にむけて行動を監視し、修正しているかという過程を説明するために考案された。Blakemore et al. (2002) による運動制御の内部モデル (図2) では、まず運動指令の遠心性コピーが順モデルに送られる。順モデルではその遠心性コピーをもとに、運動によって引き起こされる感覚フ

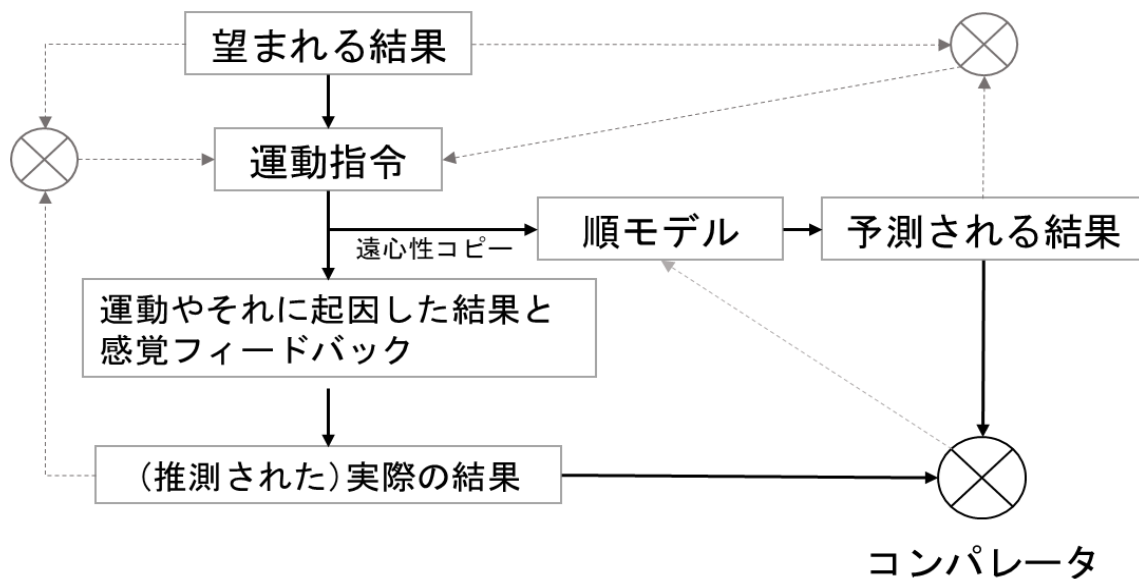


図2: 順モデルを介した運動主体感生成のモデル (Blakemore et al., 2002; Synofzik et al., 2008 に基づき作成)

フィードバックを予測する。この予測と実際に得られた感覚フィードバックを比較し、予測が正しければその感覚結果を減衰、もしくはキャンセルする。このとき、行動結果の予測と実際の感覚フィードバックのずれを予測誤差とよび、予測誤差を検出し、差の有無という変数におさめるのがコンパレータ (comparator) である。自分の足をくすぐった場合に、他人からくすぐられた場合よりもくすぐったくないというような現象が知られているが (Weiskrantz et al., 1971)、感覚ゲーティングと呼ばれるこのような現象も、順モデルによる感覚フィードバックの予測によって起きていると考えられる。逆に、幻聴や他者に操られているというような感覚を持つ統合失調症の患者においては、自分の手を自らが刺激するときの感覚が、他人に刺激されたときと同様に、減衰されずに生じることが報告されている (Blakemore et al., 2000)。このことは、Blakemore et al. (2002) が説明を試みているように、順モデルの異常が感覚の照合に不具合を生じさせ、さらには主体の判断する際の異常につながっていることを示唆している。つまり、「自分が引き起こした行動である」という判断を正確にくだせないことが、感覚フィードバックの処理に影響しているということである。この感覚ゲーティングという現象は神経科学の観点からも仕組みが研究されており、ブタオザルとニホンザル (*Macaca fuscata*) を用いた研究では、手首の運動によって生じる皮膚神経の反応が、脊髄で中継される際には減衰していることが確認されている (Confais et al., 2017)。一方で Confais et al. (2017) では、筋神経への反応は抑制されるのではなく、逆に促進されていることも示され、予測を用いた感覚フィードバックに対する反応は減衰、キャンセルに限定されないことも示唆された。

### 5.3. 運動主体感のモデル (2): 事後的な推論

以上のような予測とその照合による順モデル仮説に対して、事後的な推論によって運動主体感が生まれるという説が存在する。極端にいえば、わたしたちの行動は、遂行された時点ではその主体はわからず、あとから情報をもとに推論することで「自分の行動である」と結論づけるということである。この論拠として挙げられるのが、ある行動を意図するまえに発生するとされる脳活動の準備電位である。Libet et al. (1983) は、参加者に2.56秒で針が1周する時計を見せながら、自由意志で動き出そうという「衝動に気づいた」最初の時間と、実際に身体を動かし始めた時間を報告させた。その結果、行動の意図に気づいたのは、平均して筋反応の296ミリ秒前で、動作への気づきは86ミリ秒前であっ



た。すなわち、実際に身体を動かす前には、自らの意志に気がついているということである。しかし、脳波計 (electroencephalogram; EEG) によって脳の電位変化を計測すると、運動皮質における持続的な負の電位、すなわち準備電位 (readiness potential) が確認されたのは、筋反応の少なくとも 700 ミリ秒前であった。Libet et al. (1983) は、この無意識的な準備電位によって、身体を動かそうという意識的なイベントが引き起こされたと推測している。このような、準備電位の意図の気づきに対する先行は、別の実験でも同様に確かめられている。たとえば Haggard and Eimer (1999) は、参加者に左右どちらの手を動かすかという選択の自由を与えたうえで、Libet et al. (1983) と同様に時間の報告をさせているが、この場合も行動の意図に気づく前に準備電位が発生している。さらに、ニューロンの発火をより詳細に記録した実験において、参加者が自らの意図に気づくおよそ 700 ミリ秒前に、80 % 以上の正確さでその意図を予測できるというデータも報告されている (Fried et al., 2011)。

これらの研究がしめすように、わたしたちヒトの脳は、行為者がその意図に気づく前にその行動を選択、決定しているようである。にもかかわらず、わたしたちはその行動を、疑いの余地なく自分がおこなったと認識している。この現象を説明するのが、事後的な推論をおこない、行為主体を判定しているという仮説である。Wegner et al. (2004) は、二人羽織のような状況をつくり、参加者に偽りの運動主体感を感じさせる実験をおこなっている。この実験では、参加者に音声による動作の指示を出したうえで、他者の手による動作を見せるという手続きを用いた。その結果、音声による指示があり、その指示と一致した行動が遂行された場合、指示がない場合や指示と行動が一致しない場合より、他者の腕を「自分の意志で動かしている」という感覚がより強いことが示された。つまり、参加者は音声指示という聴覚情報と、それに沿った動きという視覚情報とを統合し、自らの運動であると判断したと考えられる。それだけでなく、たとえ自分の行動でなくても、自身の行動であることを示唆する情報が得られれば、その主体が自分自身だと錯覚してしまうということも、この実験は示している。Wegner (2002) は、意識にのぼる行動の意図は、思考と行動との間の実際の因果関係とは全く関係なく経験されるものだとしている。そして、これを「見かけの心的因果 (apparent mental causation)」とよんで理論化している。たとえば、閾下でのプライミングを用いて、行動より前に結果が提示されることにより、その後生じた実際の結果に対してより強い主体感を感じる (Aarts et al., 2005)。このような現象は、順モデルによる予測に基づく仮説で解釈するのは難しく、見かけの心的因果が事後的な推論によって生まれている証拠だと考えられる。

#### 5.4. 運動主体感のモデル (3): 2 段階モデル

以上に述べた、運動主体感が生みだされる過程についての 2 つの仮説には、それぞれを支持する研究結果が得られている (e.g., Sato, 2009)。すなわち、運動主体感は、行動による感覚結果の予測によって生まれるが、それ以外の情報をもとにした事後的な推論によっても引き起こされるということになる。そして、現在では、この両者を併存させた仮説が提示されている。代表的なものが、Synofzik et al. (2008) によって提示された 2 段階モデルである。このモデルは 2 層に分かれており、第 1 層が非概念的で低次のフィーリングとしての「主体感 (feeling of agency)」である。この段階では、行動の主体が自己かそうでないかが判定され、外部に主体を帰属することは起こり得ない。これまでに述べた過程のうち、順モデルによる予測と感覚フィードバックの照合が、この第 1 層で行われる。第 2 層は、フィーリングの層で情報の不一致が発生した場合にだけ用いられる。この段階において行われるのは、自身の行動の意図や思考、社会的手がかり、文脈などの情報を統合した、概念的な事後的な推論であり、「主体の判断 (judgement of agency)」と呼ばれる。Synofzik et al. (2009) によるモデルの改訂や、コンパレータの予測誤差判定に対する批判 (矢野ら, 2017) などはあるが、運動主体感が生成される過程について、このような 2 段階モデルを仮定して考察が進められており、既存の 2 つの仮説が無理なく統合されていると考えられる。

### 5.5. ミラーニューロンと運動主体感

これまで述べてきた運動主体感とミラーニューロンは、ともに運動という現象の解釈に関わるという点で共通している。そして、この両者に関連を見出すことができれば、運動主体感と音楽とは、ミラーニューロンを介して接続することができる。村田 (2009) は、視覚を入力とするミラーニューロンを、運動主体感を生み出す内部プロセスに組み込んで説明することを試みている (図 3)。この説明では、ミラーニューロンはまず、視覚情報から行為 (運動) を認識する役割を担っている。そして、自らが運動を実行するときと同じように、順モデルにむけて遠心性コピーを出力する。その後は上述した仮説のとおり、順モデルで生成された感覚結果の予測と視覚フィードバックの比較がなされ、運動主体感の判定が行われる。村田 (2009) はミラーニューロンについて、他者の運動の表現ではなく、自他に関わらず運動そのものを視覚的に表現し、その表現が運動中には感覚フィードバックとしてはたらいっていると推測している。

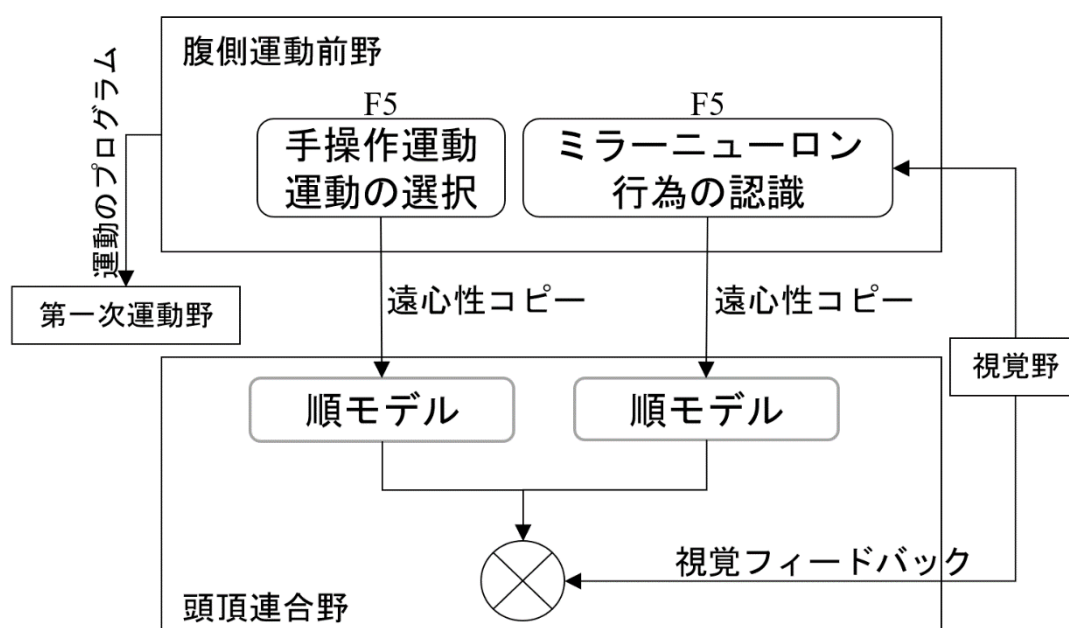


図 3: ミラーニューロンを介した運動主体感の生成モデル (村田, 2009 に基づき作成)

### 5.6. 聴覚モダリティと運動主体感

図 3 に示されているように、村田 (2009) によるミラーニューロンを介した運動主体感生成の仮説は、運動の認識に用いる情報や感覚フィードバックとして視覚情報を想定しているメカニズムである。このモデルを前提として音楽と運動主体感との関係を考えるためには、入力情報のモダリティについて確認する必要がある。すなわち、本論文のテーマである音楽は、脳でどのようなモダリティとして処理されるのか、そしてそのモダリティにおいて運動主体感が生じうるかを明らかにしなければならない。まず、脳で音楽がどのように処理されているかを概観する。空気の振動として耳に届いた音楽を含む音響信号は、蝸牛により電気信号へ変換される。脳幹で前処理された聴覚信号は、一次聴覚野でピッチや音階、音色などの分析にかけられ、次に二次聴覚野において、メロディなどのより高次の認識に用いられる (藤澤ら, 2009)。聴覚野で処理された信号は、その後、大きく分けて腹側経路と背側経路 2 つの経路で処理される。腹側経路は上側頭回や下前頭回を通り、その音が意味するもの、つまり「何」であるかを認識するのに重要であるとされる。一方の背側経路は、下頭頂皮質、感覚運動

野、運動野などを通るもので、「どのように」、「どこで」といった音の性質を統合する役割があるとされる (Lima et al., 2016)。具体的には、この背側経路は非言語や非音声の口で作出した音により強く反応することがわかっており (Agnew et al., 2011)、運動の識別も背側経路で行われていると考えられる。また、4 章で述べたような補足運動野でのミラーニューロンシステムの活動も考えれば、運動との関連づけという点では、言語やその他の音と同様に音楽が処理されている可能性が高い。

脳において音楽が、他の聴覚信号と同様に運動との関連づけの処理をされているとすれば、次に問題になるのは、聴覚刺激が運動主体感を引き起こしうるかという点になる。そもそも運動主体感の研究は、それが聴覚刺激を入力としても引き起こされることを前提として行われているといえる。運動主体感の実証的な研究においては、「運動がどの程度自らの行動によって引き起こされたと感じたか」を計測する必要がある。ひとつの方法として、参加者に当該の運動が自分が行った行動だとどの程度感じるかを回答させることで、顕在的な心理指標を得ることができる。しかしながら、運動主体感は引き起こされた結果がポジティブであるほど過大評価されるなど (Bandura, 1982)、バイアスの影響を受ける。また、明確に主体判断を迫られる場面でなくとも、私たちは運動主体感を感じている (Synofzik et al., 2008)。これらのことから、認知バイアスを避け、意識されずとも計測できる潜在的な指標が必要とされた (Haggard, 2017)。そして、その潜在的 (行動) 指標のひとつと考えられているのが、時間知覚のゆがみである *intentional binding* (IB) 効果である。この効果に着目して行われる実験では、参加者に、自発的な運動を実行した時間と、それによって引き起こされた事象が起きた時間とを、参加者自身の知覚に基づいて報告させる (Haggard, 2017)。Haggard et al. (2002) の実験では、自発的にキーを押させる群、経頭蓋磁気刺激法 (*transcranial magnetic stimulation*; TMS) を用いて非自発的にキーを押させる群に分け、キー押しを実行した時間と、それによって音が引き起こされた時間とを報告させた。その結果、自発的にキーを押させた条件では、キー押しの時点は実際より遅く、音の発生の時点は実際より早く知覚された。逆に非自発的にキーを押させた条件では、キー押しの時点は実際より早く、音の発生の時点は実際より遅く知覚された。すなわち、自らが行動を引き起こした場合は、当該の行動とその結果との間がより短く、自発的でない場合にはそれらの間がより長く感じられるということである。Haggard (2017) は、時間知覚には注意や因果関係など多くの因子が関わっているため、時間知覚の変化そのものは運動主体感を計測するものではないとしながらも、適切な条件下での IB の比較は運動主体感の潜在的な指標になりうるとしている。実際、Imaizumi and Tanno (2019) によれば、顕在的指標である主体感の自己評価と潜在的指標である IB とは、個人内で有意な正の相関を示すことが報告されており、それらが一致していることが示唆されている。

ここで注目したいのは、運動主体感の潜在指標としての IB 効果の研究において、行動の結果に音の刺激が用いられていることである。Imaizumi and Tanno (2019) においても、運動 (キー押し) の結果として聴覚刺激および視覚刺激が呈示される実験をそれぞれ行い、それぞれにおいて IB が生じていることが確認されている。つまり、運動主体感研究の基礎となる潜在指標を検討する研究が、聴覚刺激によって主体感が生じることを示唆していることになる。では、視覚と聴覚のように運動主体感を引き起こす刺激のモダリティが異なることは、運動主体感の質を変えるのだろうか。Ruess et al. (2018) は、計時のために見ている時計の色の变化という視覚刺激を用いて、聴覚刺激が引き起こされる条件と比較して IB がどのように異なるかを実験で検討している。その結果、視覚刺激においても IB が引き起こされ、行動から刺激提示までの遅延が小さいほど強い IB が起きるといふ、聴覚刺激と同様の性質が確認された。一方で、視覚刺激のほうが、聴覚刺激の場合より全体的に引き起こされる IB が弱いことも報告された。Imaizumi and Tanno (2019) はこの違いについて、行動 (たとえばキー押し) と結果のモダリティ (たとえば音) との関連の強さに依存していると推測している。すなわち、手指を動かすことが引き起こす結果として、視覚刺激よりも聴覚刺激が予測されていることが、より強い IB につながっているという考えである。

## 5.7. 考察1: 音楽による運動主体感

前節で述べた Imaizumi and Tanno (2019) による仮説や、視覚と聴覚で同様の IB の性質が観察されていること (Ruess et al., 2018) を踏まえると、少なくともこの両モダリティから刺激の入力がなされる場合、個々の運動と結果の関係性はモダリティによって異なるが、運動主体感の性質はモダリティに依存しないと考えられる。そして、音楽を含む聴覚刺激が入力される場合であっても、**図3**と同様の内部モデルが運動主体感を引き起こしているとは仮定することは自然であると思われる。このように仮定した場合、2つのモダリティの対応を考えると、モデル上で入力刺激を最初に処理する聴覚野は、**図3**における視覚野に対応すると考えられる。次に、その入力が腹側経路と背側経路でそれぞれ、物体(アフォーダンス)と動作に関連づけられる。重要な点は、視覚においてはF5として想定されているミラーニューロンシステムが、聴覚では脳におけるどこに対応するかということである。断定はできないが、Lima et al. (2016) によって音楽行動や発声に関わるミラーニューロンシステムの可能性が提示されている補足運動野と前補足運動野が、F5に対応する領域である可能性が考えられる。補足運動野は、**5.2**で述べた感覚ゲーティングを発生させるための、遠心性コピーを生み出す領域であるとする知見(Haggard & Whitford, 2004)も、この考えと矛盾しない。また、音楽そのものを扱った研究ではないが、音楽的な聴覚刺激を用いて運動主体感の性質を検討した研究もある。Barlas and Obhi (2014) は、キー押しによって引き起こされる聴覚刺激として、ピアノで弾かれた協和音と不協和音を参加者に聞かせ、主観的な主体感と、運動の時間と和音が聞こえた時間とを報告させた。その結果、参加者は好ましいと感じた協和音について、より強い主観的な運動主体感を感じていた。これは、好ましい結果のほうが主体感を強く感じやすいという運動主体感の性質(Bandura, 1982)と一致する。

これらの証拠や議論は、音楽という聴覚刺激について運動主体感の内部モデルが存在することを直接的に示すものではないが、運動主体感の内部モデルの適用を否定するものではない。そこで、ここでもう一度、村田(2009)による順モデルを内包した運動主体感のモデル(**図3**)と、Synofzik et al. (2008)による2段階モデルへの、音楽(聴覚刺激)の適用についてまとめる。聴覚野に入力された刺激は、腹側経路と背側経路という2つに大別される回路で処理され、その音が意味するもの(e.g., 歌声、楽器の音)についての認知がなされる。そして、発声や演奏など、自らがその音を生成する際にも活動する補足運動野において、運動として認識される。補足運動野からは運動指令が他の運動野へ送られるとともに、順モデルに遠心性コピーも送られる。順モデルで予測された運動の結果が、コンパレータにおいて聴覚と他のモダリティが統合されたフィードバックと照合され、その予測誤差がなければ運動主体感として感じられる。予測誤差があった場合、2段階モデルに基づいて、意図や文脈などを動員し、その主体が自己であるか否かが意識されるかたちで判定される。

音楽という聴覚刺激に対して、このような内部モデルによって運動主体感の判定がなされているという仮定からは、いくつか言えることがある。1つは、当然のことではあるが、自らが歌ったりリズムを生成したりすることに付随して、聴覚フィードバックを活用した運動主体の判断が常に行われているということである。これはたつきによって、私たちは自分が歌っていたり演奏していたりといった事実を認識できる。しかし、それだけでなく、モデルの仮定によって自分以外の主体によって生成された音楽に対しても、主体判断のプロセスがはたらいているといえる。つまり、自らが歌っているという主体感だけでなく、聞こえる歌の主体が自分でない(もしくは自分である)という判断が、ミラーニューロンシステムの活動や順モデルなどによって可能になっていることになる。例えば、スピーカーから聞こえてくる歌声を、身体を動かさず受動的に知覚しているときには、その音程やメロディが認知されるとともに、運動としても分析、認知される。正しく発声運動として認識されれば、その運動指令の遠心性コピーが順モデルに送られ、その運動によってどのような音や体性感覚、唇の触覚などが知覚されるかが予測される。実際に得られる感覚フィードバックは、予測とは空間的に異なる聴覚刺激であり、体性感覚や触覚も予測どおりに入力されないため、コンパレータでは運動主体感が生じない。2段階モデルの反省的な層では、自分自身が他者によって作られた音楽を聞いているという文脈などから主体の判断が行われ、それが最終的な判断となる。

以上に想定したような音楽体験では、主体判断は自他ともに正確に行われている。しかし、その判断が揺らぐ場面も考えることができる。5.2.で述べたように、フィーリングとしての運動主体感、遠心性コピーから導かれた予測される感覚フィードバックと実際の感覚フィードバックを比較し、予測誤差がなければ生じるとされる。しかし、現実には微小な予測誤差は無視されることから、予測誤差がゼロでなくても運動主体感が生じるとする主張もある (Wolpe & Rowe, 2014)。そこで、この予測誤差が小さくなりうる場面を考えてみたい。たとえば、集団で空間および時間を共有しながら同じ音楽を生成している場面 (e.g., 合唱、合奏) においては、自分が生成する音と同時に、他者による同様の運動を経て生み出された音も知覚される。その場合、自ら実行している発声と、聴覚刺激から認知される他者の発声という運動から、感覚フィードバックが予測される。実際に得られるフィードバックは、自身も運動を行っているため、聴覚だけでなく、体性感覚や触覚といったモダリティにおいても予測と一致することになる。結果として、聞こえる音楽の主体が他者の生成したものを含んでいるにもかかわらず、その主体が自分であると判断される可能性が生まれる。その後、概念的・反省的な主体感が生じるかは個人の意図や思考に依ることになるが、経験的な観点からは、このような自他の境界が曖昧になる現象は起こりうると思われる。合唱や合奏だけでなく、ダンスのように音楽に合わせて身体を動かすことも、音楽の主体判断を揺らがせる効果があることも考えられる。後述するように、一体感という音楽によって得られる情動も、そのような主体判断の結果として生まれる反応である可能性がある。

## 6. 音楽情動と運動主体感

### 6.1. 音楽によって引き起こされる情動

前章では、まず運動主体感とそれを引き起こすと考えられている2段階モデルを概説した。そのうえで、末尾では、知覚される音楽について運動主体感がどのように生じうるかを論じた。本章では、運動主体感を想定することによって、音楽に対するわたしたちヒトの情動反応に新たな解釈を与えることを試みる。はじめに、音楽によって引き起こされる情動がどのようなものであるかを、簡潔に述べる。そもそも、音楽が情動を引き起こすという前提に、疑問を呈する主張がある (Hunter & Schellenberg, 2010)。Meyer (1956) は、音楽に対する反応は、真の感情ではなく、緊張と緩和によって体験されるものだとして述べているが、そのような立場は、近年では心理学や脳神経科学の実証的知見によって説得力が低下している (Hunter & Schellenberg, 2010)。では、音楽によって感情が経験されるとすれば、それはどのような性質を持ち、日常生活で経験する他の感情・情動反応と異なるのだろうか。音楽体験と関連する感情には、大きく分けて2種類が存在すると考えられている。Gabrielsson (2001) は、音楽によって引き起こされる情動には、知覚されるもの (emotion perceived) と、情動反応として引き起こされるもの (emotion induced) とがあるとしている。前者はたとえば、聞いた音楽を楽しみ音楽であるか、悲しい音楽であるなどと評価するときに意識される。一方、引き起こされる情動は、文字通り自身が楽しい、悲しいと感じることと関連している。Gabrielsson (2001) は、これら2つの区別は現実には曖昧で、たいていは連続的に経験されるとしている。しかし、それでも、参加者がある音楽を「恐ろしい」と知覚 (perceived) しながら、その音楽に心地よさを感じた (felt) という研究もあり (Kallinen & Ravaja, 2006)、この音楽情動の分類は有効だと考えられている。

次に、音楽によって引き起こされる情動に注目し、その質的な側面を検証した研究を紹介する。Zentner et al. (2008) は、音楽によって引き起こされる感情を分析し、音楽に特有の感情を体系化することを試みている。その過程で明らかになったことは、音楽による情動反応として引き起こされる感情には、怒りや恐怖といったネガティブなものがほとんど存在しないことである。その上で、Zentner et al. は音楽による感情を、力強さや郷愁、優しさ、悲しみなどの9つに分類している。しかし、音楽に関連して分類される感情が通常感情の分類と異なることは、音楽に関連する情動が領域固有のものであることをすなわち意味するわけではない。感情の分類を試みた Zentner et al. (2008) は、音楽情動は

おそらく領域固有の情動ではなく、日常生活でさまざまな物事や体験に関連して美的に評価される、より広範な感情の一例にすぎないだろうと論じている。

## 6.2. 考察2: 音楽による運動主体感と感情

以上のような音楽に関わる感情の性質を踏まえ、ここでは運動主体感が生じる、もしくは生じないことが、音楽によって生起する感情とどのように関係しうるかを考察する。5章で述べたように、運動主体の判断は2段階モデルによって行われていると考えられている。その内部プロセスに則り、まずは順モデルによる予測と感覚フィードバックとの照合で運動主体感が生じた際の音楽情動を考えたい。Synofzik et al. (2008)によれば、この段階での運動主体感は、非概念的なフィーリングとして感じられるものである。この主体感が音楽情動に何らかの形で関わっているとすれば、それは引き起こされる (induced) 性質をより強く持つだろう。したがって、顕在的に測定することは難しいが、第1の可能性として、「音楽とのなんとなくの一体感」という感情が関連していると考えられないだろうか。音楽との一体感という観点では、教育の場において集団で音楽演奏を行うことで帰属意識が高まるという研究 (Crawford, 2017) があるように、個人どうしの相互のつながりが注目されている。しかしながら、個人とその個人が受容している音楽との一体感については、まだ詳細な研究がなされていないと思われる。それでも、以下に挙げる2つの研究は、フィーリングとしての音楽との一体感という文脈で解釈できる。まず、顕在指標として一体感を回答させた研究では、聴いている音楽のリズムに呼吸を同期させることによって、一体感が高まることが報告されている (佐藤ら, 2011)。これは、呼吸による体性感覚の変化などが感覚フィードバックとなることで、リズム生成運動によって起きると予測される感覚入力との予測誤差が減少し、主体感が生まれたと解釈できる。また、ギターで構成された曲を、身体に接触したアコースティックギターの振動とともに聴取させた実験では、参加者は「自分が演奏している感じがする」という評価をすることが示された (永野ら, 2004)。この現象も、触覚フィードバックによって予測誤差の減少、および運動主体感の増大が起き、音楽との一体感につながったと解釈することができる。

第2に考えたいのは、2段階モデルの概念的な層、すなわち主体の判断と音楽知覚との関連である。先に述べたフィーリング層で、自分が引き起こした音楽であると判断されなかった場合は、さまざまな情報を統合するこの過程がトリガーされる (Synofzik et al., 2008)。2段階モデルの主体判断の層で得られるのは、より意識的な主体感であるため、Gabrielsson (2001) の分類に従えば、ここで関連するのは音楽によって表現され、自らの情動に関わらず理解される知覚される (perceived) 感情である。しかし、重要なのは運動主体感が生じるかということよりもむしろ、運動主体の判断のために多様な情報が統合される点だと思われる。つまり、フィーリングとしての主体感を引き起こさなかった、予測と誤差が大きいとされた音楽については、さらなる主体の判定を目的として、その意図や文脈、社会的な手がかりといった情報が意識の上で活性化する。これによって起きうると想定されるのは、音楽を誰が引き起こしたかという判定に先立って、その音楽が表現する感情や意図の理解が促進されるという過程である。

これと関連すると思われる研究として、ポピュラー音楽の複雑さとその選好を扱ったものがある (North & Hargreaves, 1995)。この研究で明らかになったのは、主観的な音楽の複雑さを横軸とし、選好の度合いを縦軸とすると、逆U字の関係性にあるということである。つまり、ある程度の複雑さの音楽が最も好まれ、単純すぎても複雑すぎても好ましくないということになる。この関係性の遠因として、予測と感覚フィードバックとの一致のしやすさや、それに伴う運動主体の判断の必要性が挙げられるかもしれない。つまり、適度な頻度、回数で行われる概念的な層での運動主体の判断は、その音楽の理解をより促進する。意識的な主体判断が少ない場合、音楽への注意や理解はそれほど高まらない。逆にそれが過度に必要になると、それだけ判断にリソースを要することになり、その過度な消耗を避けようとして理解できない音楽となる。このように、フィーリングの層で自分が主体でないとされることによって、知覚された音楽が意味する感情に対する理解が深まることが考えられるのである。

また、運動主体感を判定する過程を俯瞰して重要だと思われる点が、それが音楽を積極的に理解しようという意識的な動機を必要としないことである。つまり、一連のプロセスは、あくまで運動主体感の判定という自動的なメカニズムによって支えられているため、音楽を聞こうという注意を向ける必要はあっても、それ以上の積極的な姿勢を要さない。このことは、わたしたちが音楽を聞きながら、意識化せずとも「悲しみを表している」「喜びを表している」などと、その感情を体験するかどうかに関わらず理解できることを説明できる。

## 7. おわりに

以上で述べたのは、音楽が運動主体感の判断を引き起こすと仮定することによって、音楽を聴いているときの情動のある部分が説明できるということである。当然のことながら、音楽という表現方法は、聴覚刺激としてそれ自体が重層的であるうえに、社会や歴史、経験といった文脈上に存在するため、情動のすべての側面が一度に説明されることはありえない。しかしながら、運動主体感という身体と精神(脳)にまたがった概念から考察することによって、音楽のより原初的、基礎的な機能というものが考えられるのではないだろうか。

本論文でのアプローチは、音楽が運動を介して理解されるという考え方に含まれるといえる。本論文でも前提として議論している、ミラーニューロンに関する研究によって、このような考え方によりやく実証の可能性が拓かれたのは、音楽研究にとって重要な一里塚であった。Matyja (2015) が指摘するように、ミラーニューロンの実際の働きについてまだ不明であるという課題があるにせよ、今後、より脳機能の実態に沿ったモデルが考えられることで、音楽と運動とのつながりはさらに明確になっていくと思われる。一方で、そのような情動発生や理解の過程が明らかになってもなお、音楽の魅力は落ちることはないであろうし、むしろ新たな表現の創出へつながることも考えられる。そうした新たな音楽表現は、科学にとっても、芸術にとっても大きな貢献となるであろう、音楽と身体、運動をテーマとした研究は、今後も注視していく必要があるだろう。

## 8. 文献

- Aarts, H., Custers, R., & Wegner, D. M. (2005). On the inference of personal authorship: Enhancing experienced agency by priming effect information. *Consciousness and Cognition*, **14**(3), 439-458.
- Agnew, Z. K., McGettigan, C., & Scott, S. K. (2011). Discriminating between auditory and motor cortical responses to speech and nonspeech mouth sounds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **23**(12), 4038-4047.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, **37**(2), 122-147.
- Bangert, M., Peschel, T., Schlaug, G., Rotte, M., Drescher, D., Hinrichs, H., et al. (2006). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage*, **30**(3), 917-926.
- Barlas, Z., & Obhi, S. S. (2014). Cultural background influences implicit but not explicit sense of agency for the production of musical tones. *Consciousness and Cognition*, **28**, 94-103.
- Bengtsson, S., Ullen, F., Ehrsson, H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., et al. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, **45**(1), 62-71.
- Blakemore, S., Smith, J., Steel, R., Johnstone, E., & Frith, C. (2000). The perception of self-produced sensory stimuli in patients with auditory hallucinations and passivity experiences: Evidence for a breakdown in self-monitoring. *Psychological Medicine*, **30**(5), 1131-1139.
- Blakemore, S., Wolpert, D., & Frith, C. (2002). Abnormalities in the awareness of action. *Trends in Cognitive Sciences*, **6**(6), 237-242.
- Callan, D. E., Tsytarev, V., Hanakawa, T., Callan, A. M., Katsuhara, M., Fukuyama, H., et al. (2006). Song and



- speech: Brain regions involved with perception and covert production. *NeuroImage*, **31(3)**, 1327-1342.
- Confais, J., Kim, G., Tomatsu, S., Takei, T., & Seki, K. (2017). Nerve-specific input modulation to spinal neurons during a motor task in the monkey. *The Journal of Neuroscience*, **37(10)**, 2612-2626.
- Crawford, R. (2017). Creating unity through celebrating diversity: A case study that explores the impact of music education on refugee background students. *International Journal of Music Education*, **35(3)**, 343-356.
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, **91(1)**, 176-180.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, **73(6)**, 2608-2611.
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, **17(8)**, 1703-1714.
- Friberg, A., & Sundberg, J. (1999). Does music performance allude to locomotion? A model of final ritardandi derived from measurements of stopping runners. *Journal of the Acoustical Society of America*, **105(3)**, 1469-1484.
- Fried, I., Mukamel, R., & Kreiman, G. (2011). Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition. *Neuron*, **69(3)**, 548-562.
- 藤澤隆・松井淑・風井浩志・古屋晋・片寄晴 (2009). 音楽情報処理技術の最前線: 9. 音楽を鑑賞する脳. 情報処理, **50(8)**, 764-770.
- Gabrielsson, A. (2001). Emotion perceived and emotion felt: Same or different? *Musicae Scientiae*, **5(1)**, 123-147.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, **4(1)**, 14-21.
- Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, **18(4)**, 196-207.
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, **5(4)**, 382-385.
- Haggard, P., & Eimer, M. (1999). On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements. *Experimental Brain Research*, **126(1)**, 128-133.
- Haggard, P., & Whitford, B. (2004). Supplementary motor area provides an efferent signal for sensory suppression. *Cognitive Brain Research*, **19(1)**, 52-58.
- Hunter, P. G., & Schellenberg, E. G. (2010). Music and emotion. In: M. R. Jones, R. R. Fay & A. N. Popper (Eds.), *Music perception*. New York, NY, USA: Springer. Pp. 129-164.
- Imaizumi, S., & Tanno, Y. (2019). Intentional binding coincides with explicit sense of agency. *Consciousness and Cognition*, **67**, 1-15.
- 廣谷定 (2017). 「聞くと話す」の脳科学. 日本音響学会誌, **73(8)**, 509-516.
- Kallinen, K., & Ravaja, N. (2006). Emotion perceived and emotion felt: Same and different. *Musicae Scientiae*, **10(2)**, 191-213.
- 柏野牧夫 (2006). 音声知覚の運動理論をめぐって(人間の音声情報処理機構の解明に向けて). 日本音響学会誌, **62(5)**, 391-396.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science*, **297(5582)**, 846-848.
- Lieberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, **74(6)**, 431-461.
- Lieberman, A., & Mattingly, I. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, **21(1)**, 1-36.
- Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, **106(3)**,



623-642.

- Lima, C., Krishnan, S., & Scott, S. (2016). Roles of supplementary motor areas in auditory processing and auditory imagery. *Trends in Neurosciences*, **39**(8), 527-542.
- Manning, F., & Schutz, M. (2013). "Moving to the beat" improves timing perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, **20**(6), 1133-1139.
- Matyja, J. R. (2015). The next step: Mirror neurons, music, and mechanistic explanation. *Frontiers in Psychology*, **6**, 409.
- Molnar-Szakacs, I., & Overy, K. (2006). Music and mirror neurons: From motion to emotion. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, **1**(3), 235-241.
- 村田哲 (2009). 脳の中にある身体. In: 開一夫・長谷川寿一 (編), ソーシャルブレインズ: 自己と他者を認知する脳. 東京大学出版会. Pp. 79-108.
- 永野秀和・井手口健・畑地洋彦 (2004). アコースティックギターを用いた音楽の体感聴取方法の検討. 電子情報通信学会論文誌 A, 基礎・境界, **87**(11), 1460-1465.
- North, A. C., & Hargreaves, D. J. (1995). Subjective complexity, familiarity, and liking for popular music. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, **14**(1-2), 77-93.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., & Evans, A. C. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: A PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **10**(6), 752-765.
- Perani, D., Fazio, F., Borghese, N. A., Tettamanti, M., Ferrari, S., Decety, J., et al. (2001). Different brain correlates for watching real and virtual hand actions. *NeuroImage*, **14**(3), 749-758.
- Phillips-Silver, J., & Trainor, L. (2007). Hearing what the body feels: Auditory encoding of rhythmic movement. *Cognition*, **105**(3), 533-546.
- Prather, J. F., Peters, S., Nowicki, S., & Mooney, R. (2008). Precise auditory-vocal mirroring in neurons for learned vocal communication. *Nature*, **451**(7176), 305-310.
- Proverbio, A. M., Calbi, M., Manfredi, M., & Zani, A. (2014). Audio-visuomotor processing in the musician's brain: An ERP study on professional violinists and clarinetists. *Scientific Reports*, **4**(1), 5866.
- Pulvermüller, F., Huss, M., Kherif, F., Moscoso del Prado Martin, F., Hauk, O., & Shtyrov, Y. (2006). Motor cortex maps articulatory features of speech sounds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**(20), 7865-7870.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, **27**, 169-192.
- Ross, J. M., Iversen, J. R., & Balasubramaniam, R. (2016). Motor simulation theories of musical beat perception. *Neurocase*, **22**(6), 558-565.
- Rozzi, S., Calzavara, R., Belmalih, A., Borra, E., Gregoriou, G. G., Matelli, M., et al. (2005). Cortical connections of the inferior parietal cortical convexity of the macaque monkey. *Cerebral Cortex*, **16**(10), 1389-1417.
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2018). Intentional binding of visual effects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, **80**(3), 713-722.
- Sato, A. (2009). Both motor prediction and conceptual congruency between preview and action-effect contribute to explicit judgment of agency. *Cognition*, **110**(1), 74-83.
- 佐藤徳 (2011). 何が自己を自己たらしめるか? 運動主体感の研究から. 認知科学, **18**(1), 29-40.
- 佐藤尚・大須賀美恵子・守谷健弘 (2011). 呼吸とリズムを合わせる音楽呈示の可能性—呼吸とフレーズの位相関係の違いの効果—. 情報処理学会研究報告, **2011-MUS-92**(2), 1-4.
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Lindner, A. (2009). Me or not me: An optimal integration of agency cues? *Consciousness and Cognition*, **18**(4), 1065-1068.
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and Cognition*, **17**(1), 219-239.
- Todd, N. P. M., & Lee, C. S. (2015). The sensory-motor theory of rhythm and beat induction 20 years on: A new

- synthesis and future perspectives. *Frontiers in Human Neuroscience*, **9**(AUGUST), 1-25.
- Wegner, D. M. (2002). *The illusion of conscious will*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Wegner, D. M., Sparrow, B., & Winerman, L. (2004). Vicarious agency: Experiencing control over the movements of others. *Journal of Personality and Social Psychology*, **86**(6), 838-848.
- Weiskrantz, L., Elliott, J., & Darlington, C. (1971). Preliminary observations on tickling oneself. *Nature*, **230**(5296), 598-599.
- Wolpe, N., & Rowe, J. B. (2014). Beyond the “urge to move”: Objective measures for the study of agency in the post-libet era. *Frontiers in Human Neuroscience*, **8**, 450.
- Wolpert, D., Ghahramani, Z., & Jordan, M. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, **269**(5232), 1880-1882.
- 矢野史・近藤敏・前田貴 (2017). 運動主体感に着目したリハビリへのモデルベースドアプローチ. 日本ロボット学会誌, **35**(7), 512-517.
- Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. (2008). Emotions evoked by the sound of music: Characterization, classification, and measurement. *Emotion*, **8**(4), 494-521.

## 付記

本論文は、早稲田大学文化構想学部現代人間論系「心身を生きる人間」論ゼミ (心身論) 2019 年度論文集 (2020 年 3 月発行; 非公開) に所収された園田章文のゼミ論文に加筆修正を加えたものである。