

# ハーモニーの処理に関する ERP 研究の概観

橋本 翠・宮谷 真人

(2009年10月6日受理)

## A Brief Review of the Event-related Potential Studies on Harmony Processing

Midori Hashimoto and Makoto Miyatani

**Abstract:** Recently, electrophysiological measures, especially event-related potentials (ERP), have been increasingly used for investigating the brain mechanisms of music perception. This article aims to briefly review the ERP studies on harmony processing, one of important aspects of music experience, and to identify problems to solve in future research. It has been repeatedly reported that an ERP component termed the early right anterior negativity (ERAN) was elicited in response to chords harmonically inappropriate or incongruent with musical context. However, the nature of cognitive processes reflected in this negativity is still unclear. In addition, similarities and differences between ERAN and the other brain responses, e.g., MMN and N5, obscure the correspondence between these indices and different cognitive processes involved in music perception. The validity of research on harmony processing, and contributions of these studies to the musical therapy domain were also discussed.

Key words: harmony processing, musical context, ERAN, N5

キーワード：ハーモニーの処理, 音楽的文脈, ERAN, N5

## 1. ハーモニーに関する 心理生理学的研究

我々を取り巻く環境には、無数の音刺激や音楽が存在し、受動的にも能動的にも音や音楽に触れる機会が多い。このような状況下で、我々の脳は、音をどのように処理し、どのような過程を経て音楽として認識していくのだろうか。音刺激が音楽へと意味を内包しつつ構築されていく過程には、音楽的な文脈が大きな影響を与えていることが考えられる。Butler (1989) は、我々の多くは、調性音楽を聴くときに、知覚的にその調性の主音となる音高の回りに配列して聴く何らかの能力、例えば、ハ調長 (C-major) であれば、主音であるCを中心として調性を含む音楽的文脈を理解する能力、もしくは技術を多かれ少なかれ身に付けていると述べている。

音が音楽となり得る、つまり文脈を形成するために、どのようなプロセスが存在するのであろうか。音が音

楽を形成するためには、少なくとも2つ以上の関係性の近い音が聴こえる必要がある。これらが連続して聴こえれば旋律となり、同時に聴こえれば和音 (chord) となる。さらにその和音が連続することで和声 (harmony) として機能し、調性 (tonality) が確立される。音楽理論において、このような調性間の関係は、空間的に配置され、5度圏 (circle of fifth) として表現される。これは、音楽に限ったことではなく、心理学においても、音階と音階、和音と和音、調性と調性との関係を空間的に表現しようとする試みが、以前から行われてきた (Krumhansl, 1979; Krumhansl, Bharucha, & Kessler, 1982; Krumhansl & Kessler, 1982)。このような空間的配置は、視覚的に理解しやすいだけでなく、音楽的な専門的知識に長けていなくとも、それぞれの関係を距離感として物理的に捉えることを可能にする。

調性の変化は、異なる調に属する変化よりも近い調で起こりやすく、同じ調に属する音階や和音は、異な

る調に属する変化よりも同時に出現しやすい。また、1つの調において、それぞれの音や和音は、異なる機能を持つとされており、トニック（主和音）、ドミナント（属和音）、サブドミナント（下屬和音）などがその代表である。これらは主要三和音（primary triads）と呼ばれ、音楽理論において重要であるとされており、頻繁に出てくる和音は、その調の中でより安定であると認識されることが分かっている（Krumhansl, 1979）。音や和音は、1つ鳴らしただけでは、そこに和声や調性は存在しない。複数の和音を時間的な流れに沿ってある規則に基づいて並べることによって和声機能が働き、調性が決められる。このような流れを音楽的文脈（musical context）と呼び、特に、和音進行や和声に限定した場合は和声的文脈（harmonic context）と呼ぶ。和音進行や和声には、その調に広義に属する和音のみで構成されなければならないという音楽理論上の規則があり、このような音楽的文脈における規則は、言語における文法と類似していることから音楽的構文（musical syntax）と呼ばれる（Koelsch, Gunter, Schröger, Tervaniemi, Sammler, & Friederici, 2001）。

では、我々は、このような音楽的文脈をどのように処理しているのだろうか。音楽聴取者に、2つの和音を呈示すると、先行する和音と後続の和音間の関係が近い場合、関係が遠い場合と比較して後続の和音に関する判断（長調か短調かなど）が促進される（Bharucha & Stoeckig, 1986, 1987）。つまり、1つの和音を聴取することによって、その和音と関係の近い和音の出現が期待される。このような期待を音楽的期待（musical expectancy）と呼び、この効果を local context effect と呼ぶ。また、Bigand & Pineau (1997) は、8つの和音で構成された和音進行の最初の6つをプライミング刺激とし、最後の2つの和音をターゲット刺激として聴取者に反応を求めるといった研究を行った。その結果、関係の遠い和音と比較して、関係の近い和音への反応が促進されることを観察し、この効果を global context effect と名付けた。さらに、local context effect よりも global context effect において、より大きな促進効果が得られることも報告されている（Tillman & Bigand, 2002）。

他の多くの研究でも、プライミング刺激と近い関係にあるターゲット刺激への反応の促進が確認されており（Tillman & Bharucha, 2002; Tillman, Janata, Birk, & Bharucha, 2003）、これらの結果を説明するモデルとして、Bharucha (1987) の活性化拡散モデル（spreading activation model）が支持されている。このモデルは、音楽の構造や音楽的構文に関する学習が

生じると、音階、和音、調性の3つの階層によってネットワーク内の結合が構築され、長期記憶に保持されたスキーマによって活性化拡散が生じることを想定している。この活性化は、和音を聴取するとネットワーク内で繰り返し反響し、関係の近い和音のユニットに対してより強く反応する。さらに和音進行を聴取すると、その進行とともにそれぞれの和音に対する活性化が積み重なり、さらに最新の情報に対して重なりを増していく。つまり、和音の進行とともに調性に関する情報が自動的に活性化していくことを示すものである。

このような認知理論やモデルが確立され、音楽を認知心理学的に捉えようとする重要な礎になっている一方、近年では、さまざまな手法を用いて、音楽認知に関する心理生理学的研究が増加しつつある。例えば、音楽的文脈に関するERP研究では、ミスマッチ陰性電位（MMN）というERP成分が指標としてよく用いられる。MMNは、高頻度で生じる標準刺激から逸脱した刺激によって生じるERP成分であり（Näätänen, 2001）、ピッチやメロディ、リズムにおける逸脱の指標として有用であるとされている（Koelsch et al., 2001）。また、ハーモニーの逸脱を反映する指標として、Koelsch, Gunter, Friederici, & Schröger (2000) が報告した early right anterior negativity (ERAN) および N5 が知られている。ERANは、音楽的予期からの逸脱あるいは音楽的構文の処理を反映しており、聴取者の脳内における調性システム（長調・短調）の表象に起因して発生するとされている。これは、右前頭部で優勢となる陰性電位であり、潜時約200 msで振幅が最大となる。一方、N5は、崩壊した調性の統合プロセスを反映する陰性電位であるとされ、前頭部で広く優勢となり、潜時約550 msで振幅が最大となる（Koelsch, Schröger, & Gunter, 2002）。

このように、認知神経科学の発展とともに、音楽認知に関連する神経系の反応も徐々に明らかになってきた。Figure 1は、音楽認知に関する神経認知モデルである（Koelsch & Siebel, 2005）。このモデルによると、音楽情報が入力されると、まず音高や音色、音の強さなどの情報が抽出される。それらは、聴覚的感覚記憶に保持されると同時に、メロディやリズムといったゲシュタルト的な情報としてのグルーピングが行われる。そして、これらの分析によって音楽的文脈が構築され、音楽の進行とともに再分析や調性の修復がなされる。その後、自律神経系や他の感覚連合野の活性化が促進され、その結果、身体反応や免疫システムが賦活する。また、これらの処理は、いずれの時点においても常に情動や意味処理に関する回路と密接な関係を持ち、情報のやりとりが行われている。

## 2. ERAN および関連する ERP 成分を用いた研究

Koelsch, Schröger, & Tervaniemi (1999) は、音楽家（ヴァイオリン奏者）と非音楽家を対象に、MMN を指標として、3つの周波数の音刺激を用いて音楽認知の違いについて検討した。その結果、音楽家では、注意を向けない和音の乱れに対して MMN が出現するのに対し、非音楽家ではそれが出現しないという違いが示された。さらに、Koelsch et al. (2002) は、ハーモニーに関しても音楽経験者と未経験者の間に何らかの処理の違いが見つかるかどうかを調べた。彼らは、ハーモニーにおける音楽的文脈の逸脱と統合について、ERP 成分の ERAN と N5 を指標として検討をおこなった。音刺激は、4つの声部によって構成された5つの和音進行により、その3番目と5番目のいずれかに、逸脱刺激として“ナボリの六”の和音が配置された。彼らの実験で逸脱刺激として用いられたナボリの六の和音は、スカララッティなどのナポリ学派によって愛用されたことからこのように呼ばれるようになったといわれており、下属音上の短6度、すなわち半音低められた第2音を根音とする長3和音の第1転回形のことである。このナボリの六の和音は、先行する音楽的文脈との関係においてのみ逸脱を起こしうるとされている (Koelsch et al., 2000)。また、音楽理論上は、ハ長調の和音進行の中にナボリの六のコードが配置されることは通常ないが、配置される場所によっては、この和音自身が音楽的文脈を形成する役割を持ちうると考えられる。このことから、音楽的に専門知識

がある者とそうでない者とは、ナボリの六の和音に対する逸脱感に違いが生じると予想される。

しかし、音楽未経験者を対象とした実験の結果、音楽的な音の期待の侵害（逸脱）に対して出現するとされる ERAN は、3番目のポジションにナボリの六のコードを配置したときよりも、5番目のポジションに配置したときに、頭皮上 FT8 部位において大きな振幅を示した。また、N5 も同様に、3番目のポジションにナボリの六のコードを配置したときよりも、5番目のポジションに配置したときの方が、Fz 部位における振幅が大きかった。これらの結果から、専門的に音楽理論を学んでいない者でも、ナボリの六の和音に対して潜在的に“何かズレている”という認識が可能であることが明らかとなった。

Leino, Brattico, Tervaniemi, & Vuust (2007) は、ERAN がハーモニーに基づいた音の逸脱に対して惹起するという結果を受け、ERAN は和声的文脈の確立を反映するというよりも、ハーモニーの処理そのものを反映するのではないかという仮説を立てた。彼らは、この仮説を検証するために、音楽家ではない参加者を対象として実験をおこなった。刺激として、7つの和音配列の中に、和声的に不協和な和音条件としてナボリの六の和音を3番目、5番目、7番目に配した。また、和声的に不協和ではないがチューニングが合っていない条件として、和音配列の中の3番目、5番目、7番目のチューニングを逸脱させた刺激を用いた。記録された ERP を調べたところ、和声的な規則を逸脱した条件では、刺激後236 ms を頂点とする両側性の EAN が惹起された。また、EAN の振幅は、ハーモニー

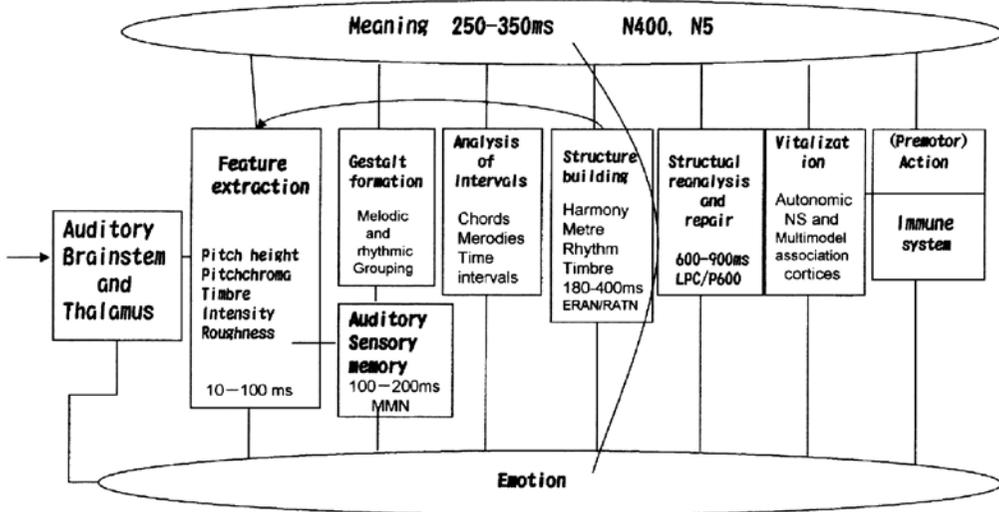


Figure 1. 音楽認知に関する神経認知モデル (Koelsch & Siebel, 2005)

の逸脱の大きさに依存して変化した。さらに非チューニング条件では、配列の中のポジションに関係なく、刺激後270 msを頂点とする両側性で前頭部優勢な陰性電位が惹起された。この陰性電位は、和声的な規則を逸脱した条件で惹起した前頭部の陰性電位よりも頂点潜時が長かった。刺激条件から考えると、この電位はMMNであると推測される。

和声的な規則の逸脱を扱ったKoelsch et al. (2000)では、右半球側でERANが出現した。それに対して、音楽の調性を確立する処理を検討したLeino et al. (2007)では、両側性の陰性電位(EAN)が記録された。これらの研究結果から明らかになったことは、和声的な規則の逸脱と西洋音楽における調性の規則の確立は、それぞれ異なる処理に支えられており、人間の脳内に何らかの異なる電気的活動を生じさせる可能性があることである。

音楽にも言語と同様の統語論的な規則が存在することから、統語論に基づいた音楽と言語との比較を行った研究もある。Jentschke, Koelsch, Sallat, & Friederici (2008)は、統語処理に困難を示す特異的言語発達障害(specific language impairment, 以下LSI)をもつ子どもの音楽的統語処理を調べるための研究を行った。刺激として、5つの和音からなる2つの和音配列を用いた。1つは、和声的に完全に規則正しいトニック、もう1つは、わずかに不規則なトニックを用いた和音配列であった。その結果、障害をもたず典型的な言語発達をしている子ども(4歳3ヶ月-5歳11ヶ月)では前頭領域優勢なERANが観察できたが、LSI児(4歳8ヶ月-5歳11ヶ月)ではERANは出現しなかった。さらに、一度崩壊した調性の統合を反映して(Koelsch et al. 2000)惹起するとされる、刺激後約500 ms-600 msをピークとするN5成分は、典型児では出現したのに対し、LSI児では観察されなかった。Jentschke et al. (2008)の研究で、LSIをもつ子どもでは、健常な子どもあるいは大人とは異なるERPが観察されたことは、言語的な統語処理に何らかの障害がある子どもは、音楽的統語処理を行うのが困難である可能性を示している。これは、言語的情報処理と音楽的情報処理の間で何らかの神経認知メカニズムが共有されていることを示した先行研究(Patel, 2003)と一致する。このような神経メカニズムを理解することは、言語に障害をもった子どもに対する効果的な音楽的訓練・治療法の考案や、その治療効果の評価方法の確立に役立つと考えられる。

ERANとよく似たERP成分として、MMNがある。既に述べたように、MMNに関して膨大な数の研究が行われているが、音楽的な要素を重視した、あるいは

は音楽認知に着目した研究で使用された例はそれほど多くない(Näätänen, Paavilainen, Rinne, & Alho, 2007)。その中の1つに、音楽刺激に対するイメージを扱ったKatahira, Abta, Masuda, & Okanoya (2008)の研究がある。この研究の目的は、脳が実際の音の出力と意図した音のイメージ間の違いを見つけるというerror monitoring processに基づく聴覚的フィードバック効果について、MMNを指標として検討することであった。対象は、ピアノ経験者とピアノ未経験者であった。実験1では、手続きは、楽譜を見ながらピアノを弾き、その間、聴覚的フィードバックとして、耳からそのピアノ音を聴くというものであった。その結果、両群とも、フィードバック音に対して側頭領域でN1成分が記録されたが、ピアノ経験者群ではピアノ未経験者群と比較すると、その振幅は自分の弾いた音と一致する音がフィードバックされる条件よりも、逸脱した音がフィードバックされる条件で大きかった。さらに、ピアノ経験者群ではN1に続いてFCz付近でN210成分が出現したが、未経験者群では、その成分は観察できなかった。

実験2では、ピアノを弾かず、楽譜を目で追うだけの手続きに変更した。その結果、逸脱音フィードバック条件において、一致音フィードバック条件よりも大きなN1成分が記録された。さらに、逸脱音フィードバック条件では、刺激後約180 ms前後に、前頭中心領域の上側でYumoto, Matsuda, Itoh, Uno, Karino, Saitoh, Kaneko, Yatomi, & Kaga (2005)が報告した、イメージに関連したMMN(iMMN)とよく似た陰性電位が出現した。

Katahira et al. (2008)の研究では、ピアノ経験者群において、N1に続く陰性成分として、実験1ではN210が、実験2ではiMMNが観察された。このiMMNについては、想像した音と聴いた音との間のミスマッチの検出処理を反映し(Yumoto et al., 2005)、音のイメージが強くなると、iMMNもより大きくなると報告されている。Koelsch (2009)は、ERANとMMNについて次のように述べている。音楽的統語情報の処理を反映するとされるERANは、長期記憶のフォーマットに表象されている大まかな枠組みと複雑な規則性によって構築された聴覚的(音響的)情報に依存する。またERANは、半球機能局在、頭皮上分布、時間、そして先行する聴覚的事象の配列によるミスマッチや音楽的訓練に対する敏感性など、その性質の多くがMMNとよく似ている。そのため、ERANは、ずっと音楽的統語MMNとして扱われてきた。しかしながら、ERANとMMNとの違いもある。その違いの一つに各成分の頭皮上分布があり、ERAN

は、MMN と比較するとより前頭側頭部で顕著に出現する。

このように、現段階では ERAN や N5 が反映する認知的過程の性質については、かならずしも明らかになっていない。また、ERAN と MMN や N5 には類似点と相違点があり、それぞれの成分と音楽認知における処理段階との対応も曖昧である。しかし今後、音楽処理に関する ERP 研究が進展することにより、今まで実証的に捉えることの出来なかった音楽認知過程に関する知見が蓄積され、さらに深い神経学的レベルでの音楽の認知処理メカニズムの理解が可能となると思われる。それによって、後述するような応用研究への貢献も期待できる。

### 3. ハーモニー研究の妥当性

ハーモニーに関する研究は、最近では増加してきているものの、音楽における他の要素に関する研究と比較するとまだまだ少ない。その大きな理由の1つとして、音楽を1つの作品として捉えたときに、図となるメロディに対して、ハーモニーは地として認識されていることが考えられる。音楽の軸をなすのは、メロディであり、ハーモニーは装飾的であると捉えられがちなのである。しかし、音楽全体を支配しているのは、実はその音楽の調性、つまりハーモニーであるともいえるのではないだろうか。音楽認知処理研究の変遷には、さまざまな音楽要素に対する認識の変化が反映されている。

本稿で紹介したハーモニーに関する ERP 研究は、全てではないが、和声的文脈からの逸脱に対する ERP 成分について論じている。しかし、ERAN が、ハーモニーに特有の ERP 成分であるのかどうかについては言及されていない。ERAN が何らかのハーモニー処理に特有の成分であるかどうかについては、今後検討が必要であろう。さらに、Koelsch et al. (2000) の実験では、ERAN は、右半球側の記録部位でのみ出現していたが、Leino et al. (2007) では、両側に出現していた。ERAN のこのような頭皮上分布の違いについても、さらに詳細な検討が必要である。

また、従来の ERAN に関する研究では、刺激音としてナポリの六の和音を用いているが、前述したように、ナポリの六の和音そのものは不協和音ではない。したがって、音楽理論の専門家が従来の研究で用いられた刺激音を聞いたときに、音楽理論上からは、“音楽的文脈が崩壊する”のではなく、“理論に反している”にすぎないという捉え方も可能であろう。そもそも、音楽を構成する1つ1つの要素は、それを“音楽”か

ら取り出した段階で、“音楽”の要素としては意味をもたなくなってしまう可能性もある。ハーモニーの処理に関する研究を実施する際に、用いる刺激が妥当なものであるかどうかについて十分に留意しなければならない。実験で用いた刺激に対する反応が、音楽に対する反応として捉えられることを保証しなければ、音楽認知研究の発展には繋がらないと考えられる。

## 4. ハーモニー研究の音楽療法領域への展開

ハーモニー研究も含め、音楽認知に関する基礎的研究が生かされる場として現在最も注目されているのが、音楽療法の領域である。従来、音楽療法に関しては、質的研究に重点が置かれてきた。というよりも、量的な研究を行うのは非常に難しいとされてきた。その理由はいくつか考えられるが、最大の理由は、音楽というものはそもそも主観的なものであるという認識が強かったことであろう。例えば、ある音楽を聴いたとして、100人聴けば100通りの感じ方があるというのが、従来の共通の理解であった。しかし、音楽療法が保健医療領域で盛んに実施されるようになった今、その科学的根拠の解明に焦点が当てられ始めている。

科学的根拠の解明に一役を担っているのが、音楽認知に関する心理生理学的研究である。音楽認知に関する量的研究が行われ始めた初期には、特定の音楽を聴いたときの脳活動を、脳波の周波数の変化として捉えようとする研究(川上, 2000; 佐治・佐治, 1999)が中心であった。その後、さまざまなイメージング技法が取り入れられるようになり、より複雑な脳活動を記録することが可能になった。さらに本稿で概観した ERP の研究においては、音楽認知に関わる心的活動を時間軸上に展開して詳細に捉えることもできるようになった。

日本国内においては、音楽療法における科学的根拠を口にするセラピストや保健医療従事者はまだ少ないが、欧米諸国では、“神経科学的音楽療法”という音楽療法が注目を浴びている。Thaut (2005) は、認知神経科学と人間の脳研究に関する新しい科学技術が発展してきたことにより、“生の”音楽が、非常に複雑で、また時間的秩序のある法則を備えた感覚的伝達手段として、瞬く間に現代人の興味を捉えて放さない研究テーマとなったと述べている。さらに、新しい科学技術やパラダイムが、音楽の機能や役割、またどのように我々の心を魅了するのかというメカニズムの解明という目標に、我々を導いているとも述べている。さらに、音楽の科学的な研究を通じて、音楽認知に関わる

脳機能の生理学的、または神経科学的研究をすることにより、音楽以外の一般的な脳機能についても多くの情報を得ることが可能であるということがわかってきた (Koelsch & Siebel, 2005)。その例として、Thaut (2005) は、聴覚における複雑な音刺激の知覚、時間とリズムの影響、別々の聴覚コミュニケーションシステムとしての言語と音楽との相互作用、芸術の先天的才能と後天的才能に関わる学習の生物学的仕組み、さらには時間の経過と情報に関連したより高度な認知機能のプロセスなどを挙げている。

音楽研究は、人間の認知に関する脳研究において、非常に有益なモデルを提供しうる。脳は、音楽のために特別に設けられた神経回路を備えている。つまり、音楽は特殊で複雑な脳の構造に深く関与している。その関与している要素の1つがハーモニーであると考えられる。神経学的音楽療法のマニュアル (Thaut, 2005) の中で、和声の役割として、例えば、開離位置または密集位置、音程の広い範囲あるいは狭い範囲で演奏される一連の音のまとまりあるいは和音は、運動の空間的次元または運動の大きさを示すことができるとしている。さらにクラスタまたは密集和音は小さな運動を表し、開離音程はより広がりのある運動を示すことができる。多声的パターン、つまり異なる音空間で同時にメロディおよびリズムを使用することで、空間における異なる動作の強調を表現することが可能であるとされる。他にも、楽節を通した和声進行で見出される音楽の緊張感および解決パターンによって、一連の筋収縮および弛緩を表すことが可能であるとされている。しかし、これらは全て臨床場面で得られた経験的なデータであり、残念ながらこれらについての科学的な根拠を示す結果は示されていない。ERPを用いた生理心理学的検討の成果が、音楽がもつ治療効果の科学的根拠を解明するための一助となることが期待される。

## 5. 今後の課題と展望

今後の研究課題として、ハーモニーに関するERP成分であるとされているERANについてのより詳細な検討が必要である。上述したように、我々の音楽認知に及ぼすハーモニーの影響が、音楽の他の要素とは異なる特有のものかどうかなどについて、その科学的根拠を示すことが必要である。それによって、音楽認知に関する基礎的研究が、音楽療法など応用研究の発展へと繋がっていくことが期待される。

## 【引用文献】

- Bharucha, J. J. (1987). *MUSACT: A connectionist model of musical harmony*. Lawrence Erlbaum.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1986). Reaction time and musical expectancy: Priming of chords. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*, 403-410.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). Priming chords: Spreading activation or overlapping frequency spectra? *Perception & Psychophysics*, *41*, 519-524.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1997). Global context effects on musical expectancy. *Perception & Psychophysics*, *59*, 1098-1107.
- Butler, D. (1989). Describing the perception of tonality in music: A critique of tonal hierarchy theory and a proposal for a theory of intervallic rivalry. *Music Perception*, *6*, 219-242.
- Jentschke, S., Koelsch, S., Sallat, S., & Friederici, A. D. (2008). Children with specific language impairment also show impairment of music-syntactic processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*, 1940-1951.
- Katahira, K., Ablat, D., Masuda, S., & Okanoya, K. (2008). Feedback-based error monitoring processes during musical performance: An ERP study. *Neuroscience Research*, *61*, 120-128.
- 川上 央 (2000). 音楽聴取時の脳波  $\alpha$  帯域パワの変化 日本大学芸術学部紀要, *31*, 63-68.
- Koelsch, S. (2009). Music-syntactic processing and auditory memory: Similarities and differences between ERAN and MMN. *Psychophysiology*, *46*, 179-190.
- Koelsch, S., Gunter, T., Friederici, A. D., & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: "Non-musicians" are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 520-541.
- Koelsch, S., Gunter, T., Schröger, E., Tervaniemi, M., Sammler, D., & Friederici, A. D. (2001). Differentiating ERAN and MMN: An ERP study. *NeuroReport*, *12*, 1385-1389.
- Koelsch, S., Schröger, E., & Gunter, T. (2002). Music matters: Preattentive musicality of the human brain. *Psychophysiology*, *39*, 38-48.
- Koelsch, S., Schröger, E., & Tervaniemi, M. (1999). Superior pre-attentive auditory processing in musicians. *NeuroReport*, *10*, 1309-1313.
- Koelsch, S., & Siebel, W. A. (2005). Towards a neural

- basis of music perception. *Trends in Cognitive Sciences*, **9**, 578-584.
- Krumhansl, C. L. (1979). The psychological representation of musical pitch in tonal context. *Cognitive Psychology*, **11**, 346-374.
- Krumhansl, C. L., Bharucha, J. J., & Kessler, E. J. (1982). Perceived harmonic structure of chords in three related musical keys. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **8**, 24-36.
- Krumhansl, C. L., & Kessler, E. J. (1982). Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in a spatial representation of musical keys. *Psychological Review*, **89**, 334-368.
- Leino, S., Brattico, E., Tervaniemi, M., & Vuust, P. (2007). Representaion of harmony rules in the human brain: Futher evidence from event-related potentials. *Brain Research*, **1142**, 169-177.
- Nääätänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent MMNm. *Psychophysiology*, **38**, 1-21.
- Nääätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, **118**, 2544-2590.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, **6**, 674-681.
- 佐治順子・佐治量哉 (1999). 音楽聴取時の脳波と音楽嗜好との関係 (I) 日本バイオミュージック学会誌, **17**, 226-232.
- Thaut, M. H. (2005). *Rhythm, music, and the brain: Scientific foundation and clinical applications*. Routledge.
- Tillmann, B., & Bharucha, J. J. (2002). Effect of harmonic relatedness on the detection of temporal asynchronies. *Perception & Psychophysics*, **64**, 640-649.
- Tillman, B., & Bigand, E. (2002). A comparative review of priming effects in language and music. In P. McKeivitt, S. ÓNualláin, & C. Mulvihill (Eds.), *Language, vision and music*. John Benjamins Publishing Company. pp.231-240.
- Tillman, B., Janata, P., Birk, J., & Bharucha, J. J. (2003). The costs and benefits of tonal centers for chord processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **29**, 470-482.
- Yumoto, M., Matsuda, M., Itoh, K., Uno, A., Karino, S., Saitoh, O., Kaneko, Y., Yatomi, Y., & Kaga, K. (2005). Auditory imagery mismatch negativity elicited in musicians. *NeuroReport*, **16**, 1175-1178.