

原著
論文

和音進行による情動の知覚：fMRI および印象評価によるアプローチ

饗庭 絵里子¹, 田中 里弥¹, 藤澤 隆史², 赤塚 諭¹, 下斗米 貴之³, 長田 典子¹

概要：和音は、音楽聴取で知覚される情動に大きな影響力を持つ。先行研究の多くは単一の和音を対象としているが、音楽では和音進行が重要な役割を持っていると考えられる。本研究においては、和音進行聴取時の脳活動と心理的な印象について、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) およびSD (Semantic differential) 法を用いた検証を行った。その結果、長三和音を含む和音進行の聴取によって、Brodmann's Area 47 の賦活が確認された。また、進行後の和音の印象は不協和度・モダリティ・緊張度・単純性の四因子があり、全因子において和音進行によって和音の印象に有意な変化が生じることが明らかになった。長三和音が特に他の種類の和音と異なる印象を引き起こす和音であることも示され、脳活動との間にも整合性が見られた。

キーワード：音楽認知, 和音進行, fMRI, 印象評価

Emotion perception and chord progressions: An fMRI and impression evaluation study

Eriko AIBA¹, Satomi TANAKA¹, Takashi X. FUJISAWA²,
Satoshi AKATSUKA¹, Takayuki SHIMOTOMAI³, Noriko NAGATA¹

Abstract: Musical chords are known to elicit specific human emotions. Chord progressions play an important role, and are closely associated to the emotional value of a piece of music. While many previous studies have focused on single chords, we assessed brain activation and psychological impressions while participants listened to chord progressions. Using fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) and SD (Semantic differential) method, we found increased activation in Brodmann's Area 47 while participants listened to chord progressions that included major chords. Self-reported impressions of chord progressions were classified into four factors: dissonance level, modality, tension level, and simplicity. Specific chord progressions had a significant impact on chord impression across all the factors. Furthermore, major chords produced the largest change in chord impression compared with other chord types. We suggest that there is a correlation between brain activity and impression evaluations.

¹〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2 丁目 1 番地 関西学院大学; Kwansei Gakuin University, 2-1 Gakuen, Sanda, Hyogo 669-1337, Japan (aiba.eriko@aist.go.jp)

²〒 852-8102 長崎県長崎市坂本 1 丁目 12-4 長崎大学; Nagasaki University, 1-12-4 Sakamoto, Nagasaki 852-8102, Japan

³〒 194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1 玉川大学脳科学研究所; Tamagawa University Brain Science Institute, Tamagawa Gakuen 6-1-1, Machida, Tokyo 194-8610, Japan

2012 年 2 月 2 日受稿, 2012 年 12 月 27 日受理

はじめに

音楽を聴いて情動を感じるとするという経験は、ほとんどの人が持っている非常に一般的な経験である。そのため、音楽は映画やゲームなどの映像メディア作品にとっても欠かせない存在であり、情報の送り手が表現したい情動を伝達したり、観客やユーザなど受け手の情動を喚起したりするために巧みに利用されている。

こうした音楽と情動の関係については、古典的な先行研究において、行動実験結果と過去の音楽情動理論を融合させたモデルが数多く提案されてきた (Berlyne, 1971; Cooke, 1990; Huron, 2006)。Russell (1980) による情動の円環モデルや Lang, Bradley, and Cuthbert (1990) による Arousal (覚醒度) / Valence (感情価) の二次元感情モデルに基づいた研究も多くある (cf. Schubert, 2004; Khalfa, Guye, Peretz, Chapon, Girard, Chauvel, et al., 2008)。近年では、陽電子放射断層撮影法 (Positron Emission Tomography: PET) や機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) といった脳機能イメージング技術を用いて、その神経基盤を明らかにしようとする研究が盛んになっている (Koelsch, 2010)。

また、情動表出に関わる音楽の要素である、メロディ・リズム・和声・音の大きさ・調性・音域・テンポ・音色・音楽形式など、それぞれについて数多くの研究が行われてきている (Gabrielsson, 2001)。しかしながら、和声進行による情動表現の心理物理法則とその神経基盤については、未だ十分に知見が蓄積されているとは言えない。

そこで本研究の目的は、ある和音からもう一つの和音への変化が、情動プロセスとどのように関連するかについて脳機能計測を用いて特定し、さらに脳機能計測の結果から仮定されたモデルについて、心理実験を用いて検証することとした。その際、三和音を構成する二つの音程構造から規定される物理量と、そこから得られる複数の心理量によって決定される各和音に特徴的な印象を「和

音性」と定義し (藤澤, Cook, 長田, 片寄 (2006) においては不協和度, 緊張度, モダリティ), その上で、ある和音に対する和音性が、別の和音と組み合わせられることで変化するかどうかを検証することとした。これにより和音進行を形成することで初めて知覚される情動を観察する。

和声と情動の関係に関する先行研究

和声には「複数の音を同時に結合して和音を作ること」、また「和音を連続的に結合して和音進行を作ること」という二つの意味がある (Grove, Sadie, & Tyrrell, 2001)。

まず、前者の「単一の和音と情動との関係」については、主に和音を協和／不協和に大別した心理評価研究が多く行われている。その結果、協和音は嬉しい・陽気・リラックスなど、不協和音は悲しい・陰うつ・興奮させるなどといった情動との関係が示され、様々な心理モデルが提案されている (cf. Plomp & Levelt, 1965; Kameoka & Kuriyagawa, 1969a, b; Parncutt, 1989)。近年では、三和音がもつ特有の情動の印象 (= 和音性) を決定する心理物理量として不協和度, 緊張度, モダリティ (長調的／短調的) の三要素を定義し、和音性を定量的に評価する心理物理モデルが提案されている (Cook & Fujisawa, 2006; 藤澤ら, 2006)。このモデルは、三和音を構成する二つの音程構造 (根音 - 第三音, 第三音 - 第五音) に基づき、その周波数比を物理量における指標として、三和音に対する心理量、すなわち不協和度, 緊張度, モダリティといった和音性を評価するものである。従来の協和／不協和のみを指標としたモデルよりも、人間による和音性の評価結果との整合性が高いことが報告されている (Cook & Fujisawa, 2006)。

次に、後者の「和音進行と情動との関係」について述べる。音楽は、基本的に、時間に沿って和音に変化する和音進行によって構成されており、特に西洋クラシック音楽においては「機能和声」として古くから確立されている。例えば、特定のパターンで和音を連結し、進行させることによ

て終結した印象を持たせたり、緊張感を高めたりするなど、作曲手法として大いに活用されている。

Patel (2003) は、音楽にも言語と同じく統語 (syntax) が存在する可能性を示唆している。これには、言語処理に関わりのあるブローカ野対象領域である BA (Brodmann's Areas) 44/45 が音楽聴取においても賦活することが根拠の一つとして挙げられている。この音楽における文法は、まさに和音進行に対しても適応可能である。

また、和音進行そのものではないが、和音進行に関係する音楽情動モデルが Huron (2006) によって構築されている。Huron (2006) は、音楽によって引き起こされる情動に、期待のメカニズムが強く関わっていると主張している。この主張に従った場合、和音進行についても「和音進行前」に生じる次の和音に対する想像や緊張などの期待と、「和音進行後」に生じる事前の期待との比較やそれに対する評価といった一連の流れが、期待のメカニズムとしてモデル化可能であろう。

このような期待のメカニズムに関する fMRI を用いた先行研究には、音楽的文法に則った楽曲と、それを乱した場合の脳賦活部位を比較したものがあつた。Levitin and Menon (2005) は、既存のクラシックの楽曲と、その楽曲を短く区切りスクランブルして音楽的構造を乱したスクランブル楽曲とで、脳の賦活部位がどのように異なるのか fMRI を用いて検証を行っている。その結果、スクランブル楽曲が提示された場合には、左 BA 47 および隣接する前島が賦活することが報告されている。同様に、Koelsch, Fritz, Schulze, Alsup, and Schlaug (2005) は、5つの和音から成る和音進行に関して、最後の和音である5番目の和音が西洋音楽における音楽的文法に則っている場合と、乱された場合とで脳の賦活部位がどのように異なるのか fMRI を用いて検証を行っている。その結果、Levitin and Menon (2005) と同じく、音楽的文法が乱された場合には、左 BA 47 および前島が賦活することが示された。

左 BA 47 は、音楽のみならず映像などによって得られる情動の体験や知覚によっても賦活する

とされている部位である (Phillips, Drevets, Rauch, & Lane, 2003)。

いずれにせよ連続的な和音の連なりによって音楽的文法が生じ、それらが裏切られるために起こる現象であることから、和音進行の違いによって異なる情動が知覚されたり、異なる部位が賦活したりする可能性は容易に想像できる。

以上のことから、単一和音に対する反応のみならず、和音進行に対する反応を検証することで初めて得られる知見が多くあることは明らかである。そこで我々は、さまざまな和音進行に対する聴取者の反応を計測し、和音進行の違いが情動プロセスとどのように関連しているのか、脳機能計測を用いて特定することとした。さらに脳機能計測の結果から仮定されたモデルについて、心理実験を用いて検証することとした。

現在、一般的に聞かれている西洋クラシック音楽の流れを汲む音楽には、単一和音や和音進行の種類が非常に豊富に存在する。本研究においては、それらの中で最も基本的な和音であるとされる「三和音」、およびその最も単純な進行としてある和音種 (長三和音、短三和音など) から異なる和音種への進行を聴取刺激として用いることとした。和音進行に対する反応を計測する手法としては、fMRI による脳機能計測および SD (Semantic differential) 法による印象評価を用いた。

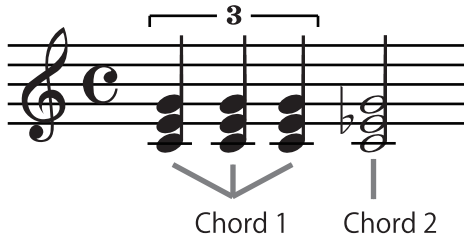
まず、非和音進行刺激と和音進行刺激を聴取中の脳活動を比較することで、和音進行に特有の脳活動が見られるか否かを検証した。さらに、和音進行を聴取した際の印象評価結果を脳機能計測結果と照合することによって、和音進行によって知覚された情動と賦活部位との関係を検証した。

実験 1：脳機能計測実験

実験参加者

大学生 11 名 (19-24 歳、内男性 9 名) が参加した。すべての参加者は、楽器経験が五年以内で現在は音楽に関わっていない者とした。特に和声法などを学んだ経験がなくとも、和音進行に対し共通して抱かれた印象を検証するために、できる

Stimuli of Chord Progression Mm (major → minor)



Stimuli of Single Chord MM (major → major)

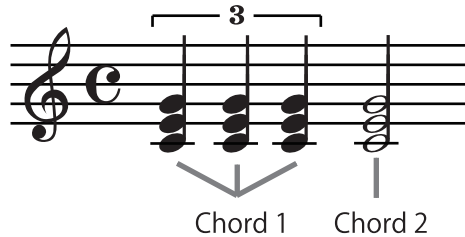


Figure 1. Examples of stimuli in experiment 1.

だけ音楽経験の少ない実験参加者に依頼した。また、楽器経験等が豊富である場合、特定の和音を好むなど、個人で大きく好みが分かれる可能性があることも考慮した。加えて、絶対音感を保持していない、右利き、正常な聴力を保持している、という条件を満たしていた。

実験刺激

実験刺激は、MIDIによって作成し、音源にはピアノ音を用いた。和音進行を形成する和音種は、長三和音 (Major: Maj.), 短三和音 (minor: min.), 増三和音 (augmented: aug.), 減三和音 (diminished: dim.) の四種類であった。根音は C, A, E♭, F♯ の四音とし、音の配置は基本形および二種類の転回形とした。よって、使用する和音は 4 (和音種) × 4 (根音) × 3 (転回形) の計 48 種類となった。

刺激は、タスク刺激として和音進行刺激を、コントロール刺激として非和音進行刺激を用意した (Fig. 1)。両刺激とも、chord 1 (四分音符の三連符) に chord 2 (二分音符) が続くものとし、和音進行刺激では、chord 1 と chord 2 の和音の種類を変化させた。chord 1 において同一和音を三回呈示するのは、より確実に変化前の和音を印象付け、chord 2 における和音変化を明確に認識させることができると考えたためである。また、カデンツを形成するような複数回におよぶ和音の進行ではなく、和音の進行を 1 回のみを設定することで、刺激組み合わせの増大を防ぎ、よりシンプルかつシステムティックに和音進行の有無という

基準で解析および解釈を行うことができるよう工夫した。刺激のテンポは、四分音符を一拍として 120 beat per minutes (bpm) とした。

実験 1 においては、aug. と dim. の二種類の和音をまとめて Tension (Ten.) として分類した。これら二種類の和音は、異なる種類の三和音ではあるが、共に構成音としてジャズ音楽で多用されるテンション・ノートを含むテンション・コードである。これら二つのテンション・コードは、緊張感のある響きをもつことから、聴いている者に解決や安定を期待させるような和音であるとされており、種類が異なっても和音進行中における役割は類似している。楽曲中においても、和音進行を阻害しないテンション・ノートを含むいずれかのテンション・コードが、適宜選択されるものであることから、本研究において定義する和音性も類似していると考えられる。藤澤らの和音認知モデル (Cook & Fujisawa, 2006; 藤澤ら, 2006) においても緊張度・不協和度・モダリティ (長調的/短調的) という和音性が類似していた。従って、いわゆるテンション・コードとして扱われる和音種に共通する印象を抽出するためにも、また、脳機能計測における実験参加者の負担を軽減するためにも、aug. および dim. は Ten. としてまとめて扱った。

以上により、本実験に使用する和音の分類は、Major (M), minor (m), Tension (T) の 3 つとなった。和音進行刺激における刺激パターンは、これらを全通り並べた 6 パターンである (Table

Table 1. List of stimuli and its abbreviated name.

chord 1		chord 2	
Chord progression			
Mm	major	→	minor
MT	major	→	tension
mM	minor	→	major
mT	minor	→	tension
TM	tension	→	major
Tm	tension	→	minor
Single chord			
MM	major	→	major
mm	minor	→	minor
TT	tension	→	tension

1, 上部)。各刺激パターンにおいて、48種類の和音の中から chord 1 を選択し、chord 2 には chord 1 と和音形および最低音が同一である和音を選択した。和音形を同一としたのは、和音形の違いによる印象の変化を防ぐためである。最低音を同一としたのは、刺激中のピッチ変化による影響を出来る限り抑えるためである。しかしながら、実験参加者らは長時間にわたり fMRI の中において仰臥位で音を聞く必要があり、眠気に襲われる可能性があったため、実験目的に影響を与えない範囲で変化を与える必要がある。そこで、最高音については統制を行わず、前述の通り調性を四種類用意した。また、非和音進行刺激の刺激パターンは、chord 1 と chord 2 で和音形も最低音も同じ 3 パターンであった (Table 1, 下部)。

実験手続き

1 セッションを 6 ブロックとするブロックデザインで行った。各ブロックは、和音進行刺激区間 24 sec. (second) の後、非和音進行刺激区間 24 sec. で構成されていた。両刺激区間内において同一の刺激パターンが四回繰り返された。一回の刺激パターンの呈示時間は 2 sec. であり、無音時間は 4 sec. であった。

実験参加者はヘッドセットを装着して仰臥位で MRI 装置に入り、閉眼にて刺激を聴取した。また、刺激聴取への集中を促す目的と、和音進行の有無が検出できているかどうかの確認のため、

chord 2 の構成音全体のピッチが chord 1 から変化したかどうかを、各刺激パターン聴取後の無音時間中に右手に持ったボタンで解答してもらった。

実験装置

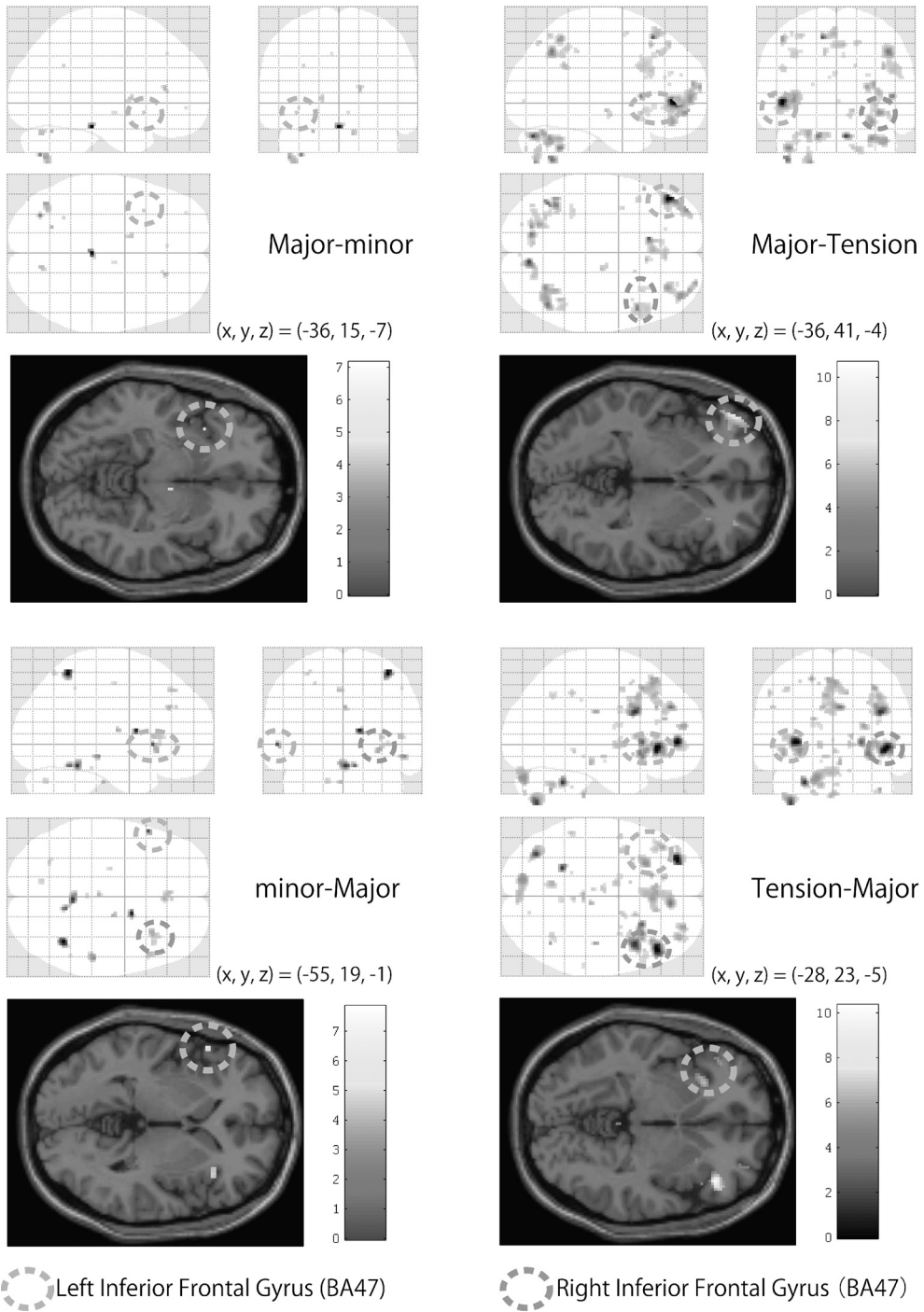
脳機能計測には、1.5 T の MRI 装置 (MAGNEX ECLIPSE, 島津-Marconi) を用いた。刺激は非磁性のヘッドセット (AS-3000H, 日立アドバンストシステムズ) を通し、刺激呈示ソフト (Presentation v9.7, Neurobehavioral Systems) を用いて呈示した。実験課題に対する反応を取るため、fMRI 用反応ボタン (LU400-PAIR, cedrus) を用いた。

fMRI 撮像条件

機能画像の撮像前に、高解像度 T2 構造画像を解剖学的 coregister 用として実験参加者ごとに取得した。T2 構造画像は脳全体にわたって voxel 解像度 0.75×0.75×3.00 mm で軸方向に 50 枚撮像した。T2* 機能画像の撮像は gradient-echo-planer-imaging (EPI) 法で行った。EPI 画像は脳全体にかけて voxel 解像度 3.0×3.0×3.0 mm の解像度で軸方向に 50 枚撮像した。撮像条件は、T2 構造画像および T2* 機能画像ともに TE (エコータイム): 55 ms, TR (繰り返し時間): 6000 ms, FA (フリップアングル): 90 度, FOV (有効視野): 192 mm, スライス厚: 3 mm, スライス枚数: 50 枚であった。

解析方法

データの解析には SPM8 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging) を用いた。まず、slice timing correction によって時間差を補正し、次に計測中の動きによるずれを realignment によって補正した。また、coregister によって機能画像と構造画像間の位置のずれを修正し、normalize によって参加者間で異なる脳の形態を統一する標準化を行った。データの normalize は、各参加者から実験の最後に取得した脳の 3D 画像を用いて標準脳テンプレートを作成し標準化した。最後に、データのノイズを除去するために smoothing を行った。参加者 11 名のデータを変量効果モデルによって集団解析し、刺激パターンごとの



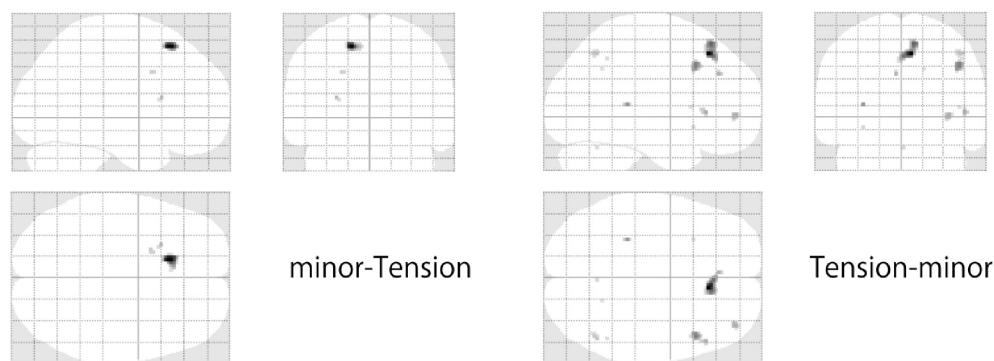


Figure 2. Brain activities on each chord progression. Circles with break line indicate activated areas in BA 47.

平均を求めた。有意水準は、 $p < .001$ (uncorrected) に設定した。各和音進行刺激による賦活は、和音進行刺激における chord 1 と同じ和音種によって構成された非和音進行刺激での賦活との差である。さらに、MNI (Montreal Neurological Institute) 座標系で得られた座標データを Talairach 座標系へと変換し、Talairach Daemon (Research Imaging Center of UTHSCSA) を用いて賦活部位の特定を行った。

結果

各和音進行刺激における脳活動を Figure 2 に示す。全和音進行刺激に共通して賦活する部位は見られなかった。しかしながら、和音進行刺激のうち Mm, MT, mM, TM の 4 パターンにおいて、左 BA 47 に共通して賦活が見られた。これら左 BA 47 に賦活が見られた 4 パターンの和音進行刺激に関して、Figure 2 に冠状断画像を示す。これら 4 パターンの和音進行刺激は、全て Maj. を含んでいる刺激である。また、MT, mM, および TM の 3 パターンに関しては、右 BA 47 にも共通して賦活が見られた。この他、mT 以外の全ての和音進行刺激において、内側前頭回 (Medial Frontal Gyrus) が賦活していた。また、Mm, MT, Tm および TM の和音進行刺激において中前頭回 (Middle Frontal Gyrus) が、MT, mT, Tm および TM において上前頭回 (Superior Frontal Gyrus) が賦活していた。賦活

部位の一覧を Table 2 に示す。

ボタン押しによる和音進行の有無を検出する課題の正答率は、全ての刺激パターンにおいて 98% 以上 (ボタンの押し忘れ等は除外) であった。

考察

Maj. を含む和音進行刺激において左 BA 47 が共通して賦活していた。前述の通り、左 BA 47 は、音楽的文法が乱された場合、つまり期待の裏切りによって賦活することが報告されている (Koelsch et al., 2005; Levitin & Menon, 2005)。また、不快な画像を見た場合や (Wright, He, Shapira, Goodman, & Liu, 2004)、強く情動を揺さぶられた記憶と関連している音楽を聴いた場合 (Janata, 2009)、喜びあるいは悲しみを喚起する音楽を聴いた場合 (Flores-Gutiérrez, Diaz, Barrios, Favila-Humara, Guevara, del Rio-Portilla, et al., 2007) といった情動の体験や知覚によっても、左 BA 47 が賦活するとされている (Phillips et al., 2003)。

本実験に使用された和音進行刺激は、Fig. 1 の左に示されているような非常にシンプルなものであり、先行研究 (Koelsch et al., 2005; Levitin & Menon, 2005) において用いられていた刺激ほど強い文脈が形成されていたわけではないと予想される。また、Tm および mT では賦活がみられず、全ての和音進行刺激において賦活していたわけではないことから、左 BA 47 の賦活は、和音

Table 2. Regions of brain activity for each chord progression in Exp. I.

Chord Prog.	Lobe	Region	BA	Left			Number of Voxels	t-score	Right			Number of Voxels	t-score	
				Tarairach coordinate (x,y,z)					Tarairach coordinate (x,y,z)					
Mm	Frontal	Inferior Frontal Gyrus	47	-36	15	-7	1	4.42						
		Medial Frontal Gyrus	8	-6	37	37	1	4.17						
		Middle Frontal Gyrus	10	-34	50	-6	1	4.23						
	Posterior	Declive	—	-22	-61	-17	1	4.72	12	-69	-18	7	4.65	
		Inferior Semi-Lunar Lobule	—	-42	-68	-35	24	4.94						
		Pyramis	—	-32	-72	-33	5	5.33						
	Limbic Sub-lobar	Anterior Cingulate	32						18	33	9	5	4.67	
		Hypothalamus	—						8	-8	-6	2	4.25	
	—	Putamen	—	-14	6	3	6	4.55						
	—	—	—	0	-28	-15	11	7.13	-30	-49	32	1	4.31	
MT	Anterior	Culmen	—	-40	-54	-29	41	6.69						
	Frontal	Inferior Frontal Gyrus	—	-34	-58	-24	6	4.51						
			9						50	19	27	123	4.97	
			45						53	24	21		4.66	
		Middle Frontal Gyrus	9						44	27	35		4.33	
			47						44	15	-7	9	4.98	
		Inferior Frontal Gyrus	47						32	19	-6	17	4.63	
			45	-53	22	6	3	5.42	48	16	5	12	6.74	
			45						55	20	19	1	4.29	
		Inferior Frontal Gyrus	—	-46	41	0	251	10.66						
			10	-36	56	1		6.37						
			47	-36	41	-4		4.93						
		Medial Frontal Gyrus	9	-2	42	22	4	4.37						
			8	-10	31	39	12	4.95	6	26	45	8	5.29	
			6						6	29	37	2	4.2	
		Middle Frontal Gyrus	32	-20	39	13	1	4.25						
	9							40	13	29	1	4.36		
	6		-38	7	55	3	4.49							
	Sub-Gyral	46	-46	19	27	10	4.71							
		11						36	52	-9	41	6.3		
		—						32	45	-2		4.82		
	Middle Frontal Gyrus	11						30	40	-15	42	5.99		
		10						26	50	20	2	4.26		
		Superior Frontal Gyrus	6	-12	28	50	63	7.7						
	8	8	-2	32	54		5.5							
		8						2	41	44	23	5.08		
		10						26	65	10	46	5.92		
	Middle Frontal Gyrus	10						32	59	12		5.83		
		Superior Frontal Gyrus	10					36	56	-1		4.31		
		Lingual Gyrus	18					2	-81	6	1	4.15		
Occipital Parietal	Inferior Parietal Lobule	40	-46	-50	52	21	6.07	44	-56	43	67	7.09		
		40	-36	-48	41	14	4.81	46	-44	45	20	4.83		
		40	-36	-35	42	11	4.64							
Superior Parietal Lobule	7	-30	-57	56	9	4.86	18	-65	51	8	4.9			
	Supramarginal Gyrus	40					40	-47	32	9	5.24			
	Cerebellar Tonsil	—	-42	-60	-37	17	7.17							
Declive	—	-16	-73	-20	46	6.81								
	—	-8	-71	-18		5								
	—						8	-75	-20	38	8.41			
Tuber	—						30	-61	-22	114	6.38			
	—						42	-59	-24		6.02			
	—						32	-54	-23		5.54			
Anterior Posterior	Declive	—	-24	-65	-19	51	5.79							
		—	-34	-71	-18		4.7							
		—	-22	-74	-38	30	6.08							
Inferior Semi-Lunar Lobule	Pyramis	—						20	-71	-30	22	4.95		
	Tuber	—	-40	-73	-30	3	4.6							
	Tuber	—	-24	-81	-28	2	4.34							
MT	Posterior Limbic	Anterior Cingulate	32	-6	36	18	1	4.15						
		Cingulate Gyrus	24						16	15	29	1	4.52	
Midbrain	Subthalamic Nucleus	—							14	-14	-4	11	5.16	
		—							2	-43	-13	48	6.76	
mM	Anterior	Cerebellar Lingual	—						10	-49	-13		6	
		Culmen	—	-2	-32	-15	2	4.3						

	Frontal	Inferior Frontal Gyrus	47	-55	19	-1	7	6.38						
			47						30	23	-6	21	5.01	
			47						38	23	-1		4.5	
			45						48	20	6	14	4.72	
			45						32	25	4	7	4.61	
		Medial Frontal Gyrus	9						2	40	27	1	4.44	
			8	-4	39	40	10	4.76						
			6	-24	-9	48	2	4.35						
	Parietal	Inferior Parietal Lobule	40						38	-48	58	38	7.82	
			40						50	-42	46	1	4.18	
		Superior Parietal Lobule	7	-30	-59	58	3	4.53						
	Posterior	Uvula	—	-14	-69	-23	6	4.44						
	Limbic	Cingulate Gyrus	32						2	34	28	5	4.89	
	Sub-lobar	Caudate Body	—						14	6	11	14	7.14	
		Ventral Lateral Nucleus	—						16	-9	12	4	4.88	
	Temporal	Middle Temporal Gyrus	21						51	-26	-7	15	5.45	
			—	-2	-23	-26	3	4.83						
mT	Frontal	Superior Frontal Gyrus	6	-14	26	50	47	7.25						
	Limbic	Cingulate Gyrus	32	-22	11	33	3	4.42						
	Sub-lobar	Clastrum	—	-26	18	14	1	4.67						
			—	-24	16	12	1	4.23						
Tm	Anterior	Culmen	—						2	-57	-17	1	4.27	
	Frontal	Inferior Frontal Gyrus	45						50	27	2	6	4.87	
		Medial Frontal Gyrus	9	-4	38	29	3	4.77						
		Middle Frontal Gyrus	10						38	50	-1	11	4.85	
		Precentral Gyrus	9						46	21	36	25	5.5	
			44						46	16	7	1	4.17	
		Superior Frontal Gyrus	8						8	31	44	81	7.31	
			6						10	34	52		5.84	
		Medial Frontal Gyrus	8						0	37	41		4.98	
	Parietal	Inferior Parietal Lobule	40						48	-46	45	1	4.24	
			40						48	-54	49	6	4.57	
		Precuneus	7						18	-51	38	1	4.17	
	Sub-lobar	Caudate Tail	—	-30	-32	11	3	5.17						
		Extra-Nuclear	13	-30	17	-8	1	4.3						
TM	Anterior	Culmen	—						2	-37	-3	4	4.84	
		Dentate	—	-10	-56	-26	24	5.39						
			—	-20	-40	-28	1	4.28	4	-48	-26	4	4.52	
			—	-24	-48	-25	34	8.52						
	Frontal	Inferior Frontal Gyrus	47	-28	23	-5	60	6.28						
			47						46	31	-3	186	10.19	
			47						38	27	-1		5.97	
			47						46	21	-3	19	4.65	
			47						51	21	3		4.55	
		Medial Frontal Gyrus	13	-40	31	4	13	4.96						
			32	-12	12	47	1	4.6						
			9	-16	38	18	5	5.28						
		Superior Frontal Gyrus	9						6	44	27	341	6.9	
			8						2	30	46		5.91	
		Medial Frontal Gyrus	6	-6	31	37		5.6						
		Middle Frontal Gyrus	9						40	15	25	208	8.77	
			8						36	22	43		5.8	
TM	Frontal	Precentral Gyrus	9						40	17	36		5.57	
		Middle Frontal Gyrus	6	-38	4	44	7	4.87						
			6	-28	14	49	1	4.5						
			47	-42	36	-9	29	5.67						
			46						40	32	17	4	4.38	
			11						38	32	-13	6	4.58	
			10						34	50	-3	43	5.56	
		Superior Frontal Gyrus	10	-32	49	-1	114	10.31						
		Inferior Frontal Gyrus	10	-40	49	5		4.89						
		Precentral Gyrus	6	-51	3	29	3	4.73	32	1	26	2	4.41	
		Superior Frontal Gyrus	8	-18	30	50	9	5.81						
			10						26	55	12	24	5.83	
	Parietal	Inferior Parietal Lobule	40	-53	-37	42	7	4.94	34	-52	41	11	4.68	
	Posterior	Declive	—						14	-75	-15	1	4.39	
			—	-14	-81	-20	136	6.22						
			—	-2	-82	-16		5.23						
	Posterior	Inferior Semi-Lunar Lobule	—	-36	-70	-39	73	8.32						

	Pyramis	—	-16	-79	-30	4	4.72					
	Tuber	—						40	-58	-29	3	5.71
Temporal	Middle Temporal Gyrus	21						57	-29	-7	2	4.34
Limbic	Cingulate Gyrus	31	-2	-29	36	1	4.16					
		23	-6	-20	27	2	4.62					
Midbrain	Substantia Nigra	—	-6	-14	-8	5	4.87					
		—	-10	-12	-11	1	4.15					
	Red Nucleus	—						6	-24	-12	7	5.39
Sub-lobar	Caudate Body	—	-12	-1	17	15	4.41	16	14	7	6	5
	Caudate Head	—	0	0	4	1	4.15					
	Extra-Nuclear	13	-32	11	-7	1	4.84					
	Lateral Globus Pallidus	—						16	4	0	8	4.87
	Medial Globus Pallidus	—	-12	-2	0	14	4.92					
	Putamen	—						26	2	5	1	4.34
		—						24	19	1	75	7.42
	Extra-Nuclear	13						30	17	-8		6.73
—	—	—						0	-31	-34	9	5.33
—	—	—						36	53	-36	2	4.56
—	—	—						40	-18	27	3	5.71

Uncorrected $p < .001$, $t = 4.14$, $k = 0$

Coordinates refer to standard stereotaxic space (Talairach & Tournoux, 1988), t-scores are FDR-corrected, with a threshold set at $p = 0.001$, and voxel extent $k = 0$.

進行の有無に依存しているわけでもなさそうである。しかしながら、min. や Ten. とは異なる Maj. に特有の和音性から生じた賦活である可能性は考えられる。特に Maj. と Ten. が組み合わされた MT および TM の和音進行パターンにおいては、右 BA 47 にも賦活が見られ、他の和音進行パターンに比べて賦活部位が多い。従って、Maj. および min. の組み合わせと比較しても、和音性の違いが大きく、そのために知覚される情動の違いも大きかった可能性が考えられる。mM に関しても右 BA 47 に賦活が見られたが、Mm では左 BA 47 のみであったことと、chord 2 に注目するよう要求したことを考えると、やはり Maj. の聴取によって生じた賦活である可能性が高いように推察される。これらの考察については、次章の印象評価実験の結果を用いて、さらに詳細を検証することとする。

この他、多くの和音進行刺激において賦活が見られた内側前頭回、中前頭回、上前頭回に含まれる BA8/9 は、不快な画像を見た場合 (Wright et al., 2004)、あるいはポジティブおよびネガティブな印象を与える画像のどちらに対しても賦活する (Mak, Hu, Zhang, Xiao, & Lee, 2009) ことが示されている。また、BA6/8 は、葛藤、誤り、好ましくない結果といった認知反応の後に一貫して賦活することが示されている (Ridderinkhof,

Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004)。従って、これらの部位は、音楽的文法の乱れなどの期待の裏切りによって生じる何らかの情動と関係している可能性も考えられる。BA9/10/11 は、喜びあるいは悲しみを喚起する音楽の両方で賦活することが報告されている (Khalifa, Schon, Anton, Liegeois-Chauvel, 2005; Flores-Gutiérrez et al., 2007)。

実験 2: 印象評価実験

実験参加者

大学生 20 名 (20-24 歳, 内男性 16 名) が参加した。全ての参加者は、楽器経験が六年以内であった。また、現在は音楽に関わっていない者であった。実験 1 と同じく、特に和声法などを学んだ経験がなくても、和音進行に対し共通して抱かれた印象を検証するため、なるべく音楽経験の少ない実験参加者に依頼した。また、絶対音感を保持しておらず、正常な聴力を保持しているという条件も満たしていた。

実験刺激

実験刺激は、実験 1 と同様、MIDI によって作成し、音源にはピアノ音を用いた。心理実験は、脳機能計測実験に比べて負担が少なく、実験時間を十分に確保することが可能である。従って、和音進行を形成する和音種は、実験 1 で用いた四種

類の三和音 (Maj./ min./ aug./ dim.) に、四度掛留和音 (suspended 4, 以下 sus 4.) を加えた五種類とした。sus 4. を加えることにより、任意の根音をもつ三和音について、Maj. を基準とし、第三音を半音上行 (sus 4.) または下行 (min.), 第五音を上行 (aug.) または下行 (dim.) させた全ての和音を網羅することとなる。sus 4. もテンション・コードであり、aug. および dim. と同様の役割をもつ和音であることから、実験 1 と同じく、いわゆるテンション・コードとして扱われる和音種に共通する印象を抽出するため aug., dim., sus 4. の 3 種をまとめて Tension (Ten.) として分類した。また実験 2 においては、和音の最低音と最高音を刺激間で統一するため、最低音を C で固定し、最高音として 1 オクターブ上の C を加えた。この条件を満たすためには和音に C 音が含まれる必要がある。従って、使用和音は、C, Cm, Caug, Cdim, Csus 4 (以上、基本形), Ab, Am, Adim (以上、第一転回形), F, Fm, F#dim (以上、第二転回形), の 11 種類となった。

chord 1 と chord 2 の組み合わせは、11 種類の和音が他の 10 種類の和音へと進行する全ての組み合わせ (重複のない順列の総数) であることから、110 通りとなった。Figure 3 (b) に刺激例を 2 つ示す。実験 1 と同様に、chord 1 (四分音符の三連符) に chord 2 (二分音符) が続くものとした。実験 1 においては、chord 1 と chord 2 とで同一の和音種であれば和音そのものも同一であったが、実験 2 においては和音種が同一でも和音そのものは異なる場合がある (C から Ab など)。従って、実験 2 では非和音進行刺激を MM' (Maj. 1 → Maj. 2), mm' (min. 1 → min. 2), TT' (Ten. 1 → Ten. 2) と表す。刺激のテンポは、四分音符を一拍として 120 bpm とした。

実験手続き

実験の制御はパソコン (PCG-5D1N, SONY) 上で行った。刺激は、サウンドユニット (DAC およびヘッドフォンアンプ: DR.DAC2 DX, AUDIOTRAK) を経由したヘッドフォン

(ATH-A900, audio-technica) で両耳に呈示した。

また、実験 2 においては、異なる調性の和音を使用することから、直前の刺激によって生じた調性感や印象をリセットするため、各試行間に 1 秒の無調音列を挿入した (Fig. 3 (a))。この無調音列は、F3 (最低音) ~ F6 (最高音) の中からランダムで選ばれた 16 音をランダムに並べたものであり、実験刺激と同様にピアノ音の MIDI データで作成した。テンポは、和音進行刺激と同じく四分音符を一拍として 120 bpm であった。音列は試行毎に異なるものが挿入された。

印象評価には SD 法を用いた。「明るい—暗い」、「複雑な—単純な」、「かたい—やわらかい」、「悲しい—嬉しい」、「ゆるんだ—緊張した」、「継続感がある—終結感がある」、「不安定な—安定した」、「違和感なし—違和感あり」、「自然な—不自然な」の 9 組の感性語について、それぞれ六段階で評価してもらった。これらのうち「明るい—暗い」、「複雑な—単純な」、「かたい—やわらかい」、「悲しい—嬉しい」、「ゆるんだ—緊張した」に関しては、Gabrielsson & Lindström (2001) によってまとめられた先行研究において和音および調性に関する印象評価に使用された感性語から抽出した。「継続感がある—終結感がある」、「不安定な—安定した」、「違和感なし—違和感あり」、「自然な—不自然な」は、和音進行に特有の感性語として、Stohr (1958) による和声法の専門書に用いられていた感性語から抽出した。

印象評価は、各刺激の聴取後すぐに行った。刺激は 110 種類であったことから、刺激聴取とその刺激に対する評価とを合わせて 1 試行としてカウントすると、全部で 110 試行であった。実験参加者の負担軽減のため、この 110 試行を五回にわけて実施した。実験刺激の提示順序は、実験参加者ごとにランダムであった。1 試行あたりの具体的な時間構成を Fig. 3 (c) に示す。

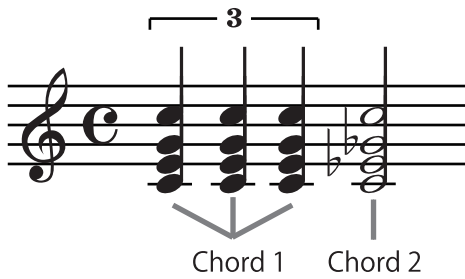
実験参加者には、chord 2 に対する印象を答えるよう求め、たとえ chord 2 が同じであっても、chord 1 が違えば chord 2 の印象に影響を及ぼすかどうかを観察した。また、実験 1 においても

(a)

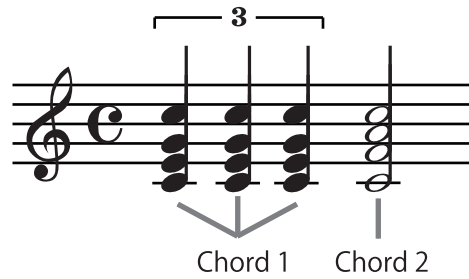


(b)

Stimuli of Chord Progression
MT (major → tension)



Stimuli of Single Chord
MM' (major 1 → major 2)



(c)

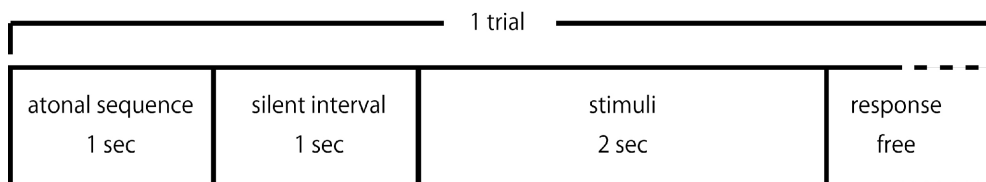


Figure 3. Examples of (a) an atonal sequence, (b) stimuli and (c) a time constitution of one trial in experiment 2.

Table 3. Factor loadings for each word.

Evaluative words	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communality
違和感なし — 違和感あり	1.03	-0.03	0.02	0.18	0.79
自然な — 不自然な	0.82	-0.02	0.02	-0.10	0.77
不安定な — 安定した	-0.45	-0.15	-0.13	0.36	0.60
明るい — 暗い	-0.01	0.95	0.05	0.00	0.83
悲しい — 嬉しい	0.00	-0.75	0.15	-0.02	0.72
ゆるんだ — 緊張した	-0.10	-0.03	-0.85	-0.07	0.66
かたい — やわらかい	-0.12	0.13	0.57	-0.07	0.48
継続感がある — 終結感がある	-0.20	0.13	0.21	0.14	0.15
複雑な — 単純な	-0.06	0.03	0.07	0.70	0.58
Eigenvalue	2.06	1.56	1.17	0.79	
Cumulative contribution ratio	0.23	0.40	0.53	0.62	

chord 2 の和音種を回答するよう求めていることから、脳機能計測においても印象評価実験においても、実験参加者らは chord 2 に特に注意を向けるよう促されている。

結果

SD 法によって得られた結果に対し、因子分析を行った。因子数は、累積寄与率が 6 割を越える第 4 因子までを採用した。これは平行分析および χ^2 乗検定による適合度検定の結果とも矛盾しない因子数であった。また、因子間に相関が見られた（相関係数：.37～.74）ことから、Promax 回転を用いた分析を行った。因子負荷量および共通性のデータを Table 3 に示す。

次に、各因子の解釈について述べる。第 1 因子は違和感・自然さ・安定感の項目が高い負荷量を示しており、和音の印象の中でも不協和度と密接に関わるものであることから「不協和度」因子とした。第 2 因子は明暗・悲嬉の項目が高いことから「モダリティ（長調的／短調的）」因子とした。第 3 因子は緊張感、かたさ、終結感の項目が高いことから「緊張度」因子とした。第 4 因子は単純さの項目が高いことから、「単純性」因子とした。

因子得点による分析

上記の因子分析結果に基づき、不協和度・モダリティ・緊張度・単純性について、Promax 回転後の因子得点を算出した。chord 2 に対する印象が、刺激パターンによって、どのように変化するかを示すため、各因子の刺激パターンごとの平

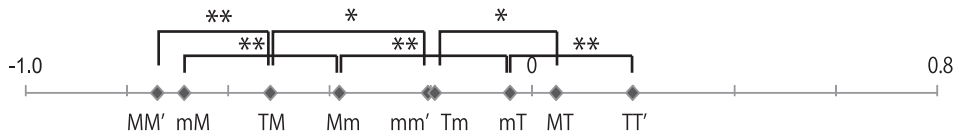
均因子得点を Figure 4 に示す。

得られた因子得点について、一元配置の分散分析を行った結果、4 つ全ての因子に刺激パターンの違いに関する主効果が認められた ($p < .01$)。そこで、Tukey-Kramer の HSD 検定により各因子における全てのペアの多重比較検定を行った。その結果、多くの刺激パターン間において有意差が示された (Fig. 4)。この結果について、ある和音種に対する印象が直前の和音種の影響を受けるか否かを検証するため、特に chord 1 の和音種が同じ刺激パターン間で有意差を示したペアおよび chord 2 の和音種が同じ刺激パターン間で有意差を示したペアを Table 3 に示す。

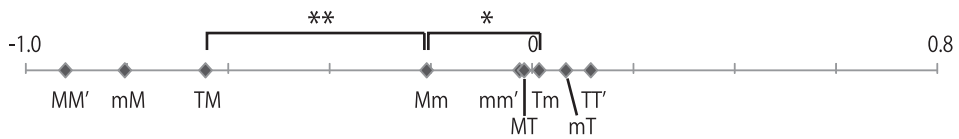
考察

因子分析の結果、不協和度・モダリティ・緊張度・単純性の 4 因子が抽出された。第 3 因子までは藤澤らの和音認知モデル (Cook & Fujisawa, 2006; 藤澤ら, 2006) において定義されている和音性と一致している。従って、本実験の実験参加者が和音性を判断する際にも、藤澤ら (2006) のモデルに採用されている和音性に関する 3 つの心理的量と同様の心理量を用いて判断していると推察できる。これらに加え、第 4 因子として単純性因子が抽出された。しかしながら、単純性因子は、不協和度因子の逆順であることが Figure. 4 から明らかである。従って、不協和度が低ければ単純であると判断されていると言え、和音性モデルを実現する上では、不協和度・モダリティ・緊張度

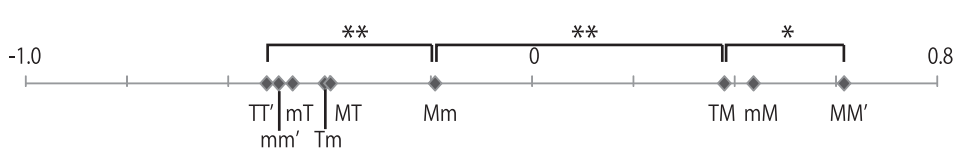
Factor 1: Dissonance Level



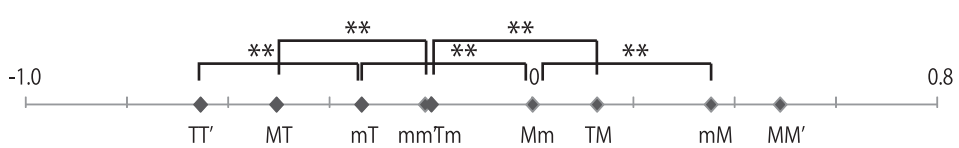
Factor 2: Modality (major or minor)



Factor 3: Tension Level



Factor 4: Simplicity



Mm: major → minor, MT: major → tension, MM' : major → major2

mM: minor → major, mT: minor → tension, mm' : minor → minor2

TM: tension → major, Tm: tension → minor, TT' : tension → tension2

Figure 4. Averaged factor scores for each factor for all chord progressions. The diamonds indicate factor scores of each chord progression. The arms above each axis indicate the closest pairs which shows significant differences (* $p < .05$, ** $p < .01$).

の3因子を定義することで十分であると考えられる。

刺激パターンごとに因子得点を比較したところ、chord 1 の和音種が同じで chord 2 の和音種が異なる刺激パターン間においては、ほとんどの場合に有意差が示された。実験2において、参加者らは chord 2 に対する印象を回答していることから、chord 2 の和音種によって印象に差が見られたことは妥当である。しかしながら、モダリティおよび緊張度因子に関しては、Mm-MT 間、Tm-TT' 間に有意差が示されなかった。また、全因子において mT-mm' 間の有意差が見られなかった。同じくモダリティおよび緊張度因子に関して、mm', TT', mT, Tm 間に有意差が示されなかったことから、chord 1 の和音種が何であれ、chord 2 で min. または Ten. の和音種に進行する場合、特にモダリティおよび緊張度因子に関して、両者がよく似た和音性をもつことが示唆された。

次に、chord 2 の和音種が同じで chord 1 の和音種が異なる刺激パターン間における因子得点の比較を行った。これにより、ある和音種に対する印象が直前の和音種の影響を受けるか否かを検証した (Table 4)。その結果、不協和度因子において、TM-MM' 間、TT'-mT 間の2パターンで有意差が示された。一般的にも本実験の結果においても Maj. の和音に対する不協和度は低いが、直前の和音が Ten. の場合は Maj. に対する不協和度が高まるという、和音進行による影響が明らかになった。同様に Ten. の和音に対する不協和度は高いが、直前の和音が min. であれば Ten. に対する不協和度が減少していることも明らかになった。モダリティ因子において有意差が示されたペアは Mm-Tm 間であった。Figure 4 に示されている通り、Mm は Tm に比べて MM に近い位置にあることから、min. のモダリティの印象は Maj. から min. に変化した場合より、Ten. から min. に変化的場合に「短調的」な印象が助長されると考えられる。緊張度因子においては TM-MM' 間でのみ有意差が示され、直前の和音が Ten. の場合は Maj. の和音で終わったとしても緊

Table 4. Combinations of chord progressions which showed significant difference.

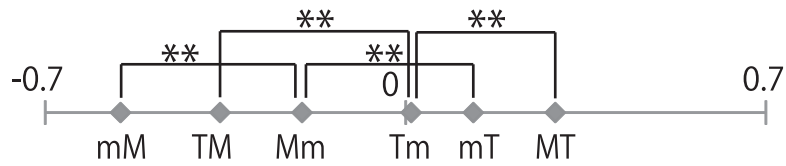
chord 1			
Dissonance	Modality	Tension	Simplicity
MM'-MT	MM'-MT	MM'-MT	MM'-MT
MM'-Mm	MM'-Mm	MM'-Mm	MM'-Mm
mM-mm'	mM-mm'	mM-mm'	mM-mm'
mM-mT	mM-mT	mM-mT	mM-mT
TM-TT'	TM-TT'	TM-TT'	TM-TT'
TM-Tm	TM-Tm	TM-Tm	TM-Tm
Tm-TT'			Tm-TT'
Mm-MT			Mm-MT
chord 2			
Dissonance	Modality	Tension	Simplicity
TT'-mT	Tm-Mm	TM-MM'	TT'-mT
TM-MM'			

張度がやや高い傾向にあることが明らかになった。単純性因子においては TT'-mT 間でのみ有意差が示され、不協和度と同様、Ten. で終わる場合に直前の和音が min. であれば、複雑な印象が減少していると考えられる。

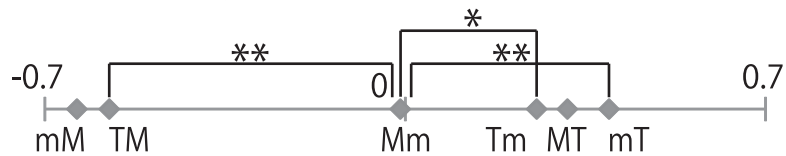
さらに、chord 1 の和音種が同じ刺激パターン間を比較した場合と同様に、特にモダリティおよび緊張度因子に関して、Tm-mm', TT'-mT, mM-TM 間の有意差が示されていない。従って、chord 2 の和音種が同じ刺激パターン間を比較した場合でも、min. および Ten. の和音性の類似が示唆されている。

以上のように、刺激パターンによって和音進行後の和音に対する印象が異なることが明らかになった。本実験においては、実験参加者に chord 2 に対する印象の回答を教示したこともあり、chord 2 の違いによる印象の差が多く見られた。しかしながら、たとえそのような場合であっても直前の和音種が異なることによって、同じ chord 2 の和音種が chord 1 の影響を受け、異なる印象を与えることが示された。また、Maj. に比べ min. および Ten. の和音性が類似しており、特にモダリティおよび緊張度因子に関して、その類似が示唆された。

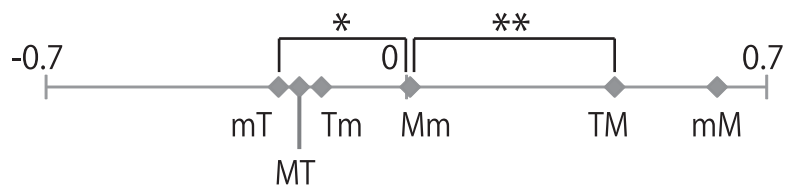
Factor 1: Dissonance Level



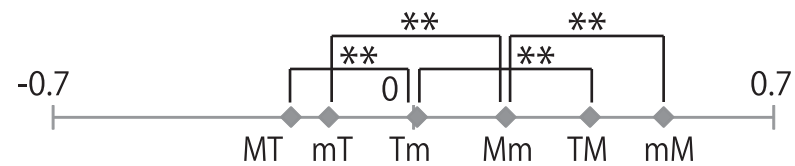
Factor 2: Modality (major or minor)



Factor 3: Tension Level



Factor 4: Simplicity



Mm: major → minor, MT: major → tension,
 mM: minor → major, mT: minor → tension,
 TM: tension → major, Tm: tension → minor

Figure 5. Averaged factor scores for each factor for selected chord progressions, without sus4 and single code conditions. The diamonds indicate factor scores of each chord progression. The arms above each axis indicate the closest pairs which shows significant differences (* $p < .05$, ** $p < .01$).

総合的な分析と考察

実験1における和音進行聴取中の脳機能活動の結果から、Maj.を含む和音進行刺激を聴取した場合に、情動との関連や音楽的文法の乱れとの関連が指摘されているBA 47に賦活が見られた。Maj.を含む和音進行刺激でのみ賦活が見られた要因として、Maj.の和音性がmin.およびTen.と特に異なることが原因であると推察される。Hektnerら (Hektner, Schmidt, & Csikszentmihalyi, 2007) や Juslinら (Juslin, Liljeström, Västfjäll, Barradas, & Silva, 2008) による先行研究においても、音楽情動においては負の情動よりも正の情動が優位であることが示されているが、これは本心理実験によって得られたMaj.に比べmin.およびTen.の和音性が類似しているという結果とも整合性がある。

逆に、mTおよびTmにおいてBA 47の賦活が見られなかった要因としては、min.およびTen.の和音性が類似していた可能性が考えられる。実験1において示された各刺激パターンの賦活は、コントロール刺激である非和音進行刺激との差である。つまり、mTの場合はmm, Tmの場合はTTとの差を示しているため、min.およびTen.の間の違いが少なかったため、賦活にも差が示されなかった可能性が考えられる。このことは実験2においても同様であり、chord 1の和音種が何であれ、chord 2でmin.またはTen.の和音種に進行する場合、両者がよく似た和音性をもつことが示唆されている。

ただし、実験2においては、Ten.としてsus 4も加えられていることから、実験1の脳活動計測データと同条件で比較することはできない。そこで、実験2における因子得点データのうち、実験1で用いた和音進行の刺激と同等のデータのみを抽出（同じ和音種別へ進行する刺激およびsus 4.を用いた刺激に対するデータを除外）し、一元配置の分散分析を行った。その結果、全ての因子において刺激パターンの主効果が認められたため、Tukey-KramerのHSD検定により全てのペアについて多重比較検定を行った。その結果この場合

も全ての因子においてTm-mT間には有意差が示されなかった (Fig. 5)。従って、脳機能計測の結果と同様に印象評価の結果も、min.およびTen.の和音性が類似していたことを示唆している。

同様に、mM-TM間およびmT-MT間についても全ての因子において有意差が示されなかった。これらの刺激パターンは、どちらもchord 2が同じである。これは、印象評価実験において、chord 2の印象評価を求めているためであると考えられる。しかしながら、chord 2が同じである場合でも、モダリティ因子に関しては、Tm-Mm間に有意差が示されている。Mmは、chord 2がMaj.であるmMおよびTMにより近いことから、Tmに比べてmin.に長調的な印象を促す和音進行であったと考えられる。脳機能計測の結果に関しては、Tmの場合、BA 47での賦活は見られないが、Mmの場合は左BA 47の賦活が観察されている。また、Tmに関しては、前述のとおりコントロール刺激であるTTとタスク刺激であるTmの賦活の差を観察している。従って、min.およびTen.の和音性が類似しているために目立った和音性の違いがなく、賦活を観察できなかったと考えられる。Mmに関しては、MMとMmの差であることから、Maj.とmin.の和音性の違いが何らかの情動的な変化をもたらした可能性が推察される。

以上の結果から、Maj.の印象がmin.およびTen.と特に異なっていること、また、min.およびTen.の印象が類似しているために、min.およびTen.の間に和音が進行する場合には印象の変化が起きにくいということが明らかになった。また、脳機能計測の結果も、これらの印象評価の結果と矛盾しておらず、min.およびTen.の間に和音が進行する場合には、情動に関わる部位の賦活に明確な差が見られなかった。

この他、賦活が見られた多くの部位が、情動との関連が指摘されている部位であった。BA 47のように、Maj.を含む和音進行全てにおいて賦活するといった一定の傾向は観察されなかったもの

の、和音進行によって知覚される情動の一端が賦活として表れている可能性は十分に考えられる。本実験に用いられた和音進行刺激は、非常にシンプルなものであり、激しい情動を引き起こすようなものではないものの、急激な和音性の変化や、音楽的文脈の乱れから知覚される何らかの情動の変化を反映している可能性も考えられる。

まとめ

和音進行が情動に及ぼす影響を検証するため、和音進行聴取中の脳機能計測および印象評価実験を行った。その結果、Maj.を含む和音進行において、BA 47での賦活が確認された。

また、印象評価の結果に対する因子分析によって、和音進行の印象には不協和度・モダリティ(長調的/短調的)、緊張度、単純性の四つの因子があることが示された。得られた因子得点に対し、さらに分析を行ったところ、和音進行によって進行前あるいは進行後の和音の印象が変化することが明らかになり、和音進行の結果として得られる印象が、単一の和音によって得られる印象とは異なることが分かった。

脳機能計測および印象評価の結果ともに、Maj.の和音性がmin. およびTen. と特に異なっていること、min. およびTen. の和音性が類似していることを示唆していた。このため、Maj. を含む和音進行においては、情動の変化が生じやすく、min. およびTen. の間で和音が進行する場合には情動の変化が起きにくいという可能性が明らかになった。

謝辞

本論文の執筆にあたり、関西学院大学の高瀬雅良氏には迅速なデータ解析にご協力いただいた。心から感謝の意を表する。なお本研究は科研費(No. 21300086)の助成を受けたものである。

文献

Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*.

New York: Appleton-Century-Crofts.

Cook, N. D., & Fujisawa, T. X. (2006). The Psychophysics of Harmony Perception: Harmony is a Three-Tone Phenomenon. *Empirical Musicology Review*, 1(2), 106-126.

Cooke, D. (1990). *The language of music*. Oxford; New York: Oxford University Press.

Flores-Gutiérrez, E. O., Díaz, J.-L., Barrios, F. A., Favila-Humara, R., Guevara, M. Á., del Río-Portilla, Y., et al. (2007). Metabolic and electric brain patterns during pleasant and unpleasant emotions induced by music masterpieces. *International Journal of Psychophysiology*, 65(1), 69-84.

藤澤隆史, Cook, N. D., 長田典子, & 片寄晴弘 (2006). 和音認知に関する心理物理モデル. 情報処理学会研究報告, 2006(90), 99-104.

Gabrielsson, A. (2001). Emotion in strong experiences with music. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.), *Music and emotion: theory and research* (pp. 431-449). Oxford: Oxford University Press.

Gabrielsson, A., & Lindström, E. (2001). The Influence of musical structure on emotional expression. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.), *Music and emotion: theory and research* (pp. 223-248). Oxford: Oxford University Press.

Grove, G., Sadie, S., & Tyrrell, J. (2001). *The new Grove dictionary of music and musicians* (2nd ed.). Oxford: Grove.

Hektner, J. M., Schmidt, J. A., & Csikszentmihalyi, M. (2007). *Experience sampling method: measuring the quality of everyday life*. Thousand Oaks, Calif.; London: Sage.

Huron, D. B. (2006). *Sweet anticipation: music and the psychology of expectation*. Cambridge, Mass.; London: MIT.

Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2579-2594.

Juslin, P. N., Liljeström, S., Västfjäll, D., Barradas, G., & Silva, A. (2008). An experience sampling study of emotional reactions to music: listener, music, and situation. *Emotion*, 8(5), 668-683.

Kameoka, A., & Kuriyagawa, M. (1969a). Consonance theory part I: consonance of dyads. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 45(6), 1451-1459.

Kameoka, A., & Kuriyagawa, M. (1969b). Consonance

- theory part II: consonance of complex tones and its calculation method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 45(6), 1460-1469.
- Khalifa, S., Guye, M., Peretz, I., Chapon, F., Girard, N., Chauvel, P., et al. (2008). Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing. *Neuropsychologia*, 46(10), 2485-2493.
- Khalifa, S., Schon, D., Anton, J. L., & Liegeois-Chauvel, C. (2005). Brain regions involved in the recognition of happiness and sadness in music. *Neuroreport*, 16(18), 1981-1984.
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131-137.
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D., & Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: an fMRI study. *Neuroimage*, 25(4), 1068-1076.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychological Review*, 97(3), 377-395.
- Levitin, D. J., & Menon, V. (2005). The Neural Locus of Temporal Structure and Expectancies in Music: Evidence From Functional Neuroimaging At 3 Tesla. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 22(3), 563-575.
- Mak, A. K. Y., Hu, Z.-g., Zhang, J. X., Xiao, Z.-w., & Lee, T. M. C. (2009). Neural correlates of regulation of positive and negative emotions: An fMRI study. *Neuroscience letters*, 457(2), 101-106.
- Parncutt, R. (1989). *Harmony: a psychoacoustical approach*. Berlin; London: Springer Verlag.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674-681.
- Phillips, M. L., Drevets, W. C., Rauch, S. L., & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception I: the neural basis of normal emotion perception. *Biological Psychiatry*, 54(5), 504-514.
- Plomp, R., & Levelt, W. J. (1965). Tonal consonance and critical bandwidth. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 38(4), 548-560.
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443-447.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178.
- Schubert, E. (2004). Modeling perceived emotion with continuous musical features. *Music Perception*, 21(4), 561-585.
- Stohr, R. (1958). 和声法 (尾高尚忠翻訳): 全音楽譜出版社.
- Wright, P., He, G., Shapira, N. A., Goodman, W. K., & Liu, Y. (2004). Disgust and the insula: fMRI responses to pictures of mutilation and contamination. *Neuroreport*, 15(15), 2347-2351.

