

音楽認知における γ 活動の意義 —意識・認知との関連から—

浦上裕子¹⁾ 川村光毅^{2),3)} 鷺沢嘉一^{3),4)} 日吉和子^{3),5)}
アンジェイ チホツキ³⁾

要旨 音を聴覚的に認識し、ハーモニー、音韻、旋律など音楽を認知することで前頭前野が活動し行動が起こる。本研究は音楽大学学生5名、音楽専門家1名、非音楽大学生5名(21-25歳:男9女2)を対象とし60ch脳波を用いて安静閉眼時、「新世界より」「レクイエム」聴取時、イメージ時の脳活動を計測し、音楽認知の神経基盤を明らかにすることを目的とした。Morlet waveletによる時間周波数解析を行い、各周波数帯域の平均信号強度をroot mean squareとして求め成分比較を行った。音楽聴取時は無音安静閉眼時に比べ、 δ 、 α 、 β 、 γ 活動に有意な減少を認めた。 γ 活動の減少が最も大きく、全脳部位で有意に減少した。音楽家は音楽聴取時・イメージ時ともに前頭部 γ 活動が減少、非音楽家はイメージ時には前頭部 γ 活動が増加した。音楽家と非音楽家の γ 活動の差は、音楽という経験による意識や注意、情動の統合や潜在記憶の差を反映する可能性がある。

はじめに

音楽は聴く人に情動的な変化をひきおこし、同時に認知機能にもポジティブな変化を及ぼす。また、創造力、集中力も高まる一方、静かな想像力をともなうリラックス状態が生まれる。脳幹レベルからのリズム知覚に加えて、音の高さ(周波数)が一次聴覚野で最終的に分析され、頭頂連合野を介する背側路(音空間の流れと組合せとしてのストリーミング)と、側頭連合野を介する腹側路(音素の形態の流れとしてのメロディーと情動)を経由して、前頭葉に至り統合されて音楽として認識される(図1)¹⁾。

専門的な集中した音楽訓練により高度な技能や高い

認知能力が養われ、その結果、脳に形態的・機能的な変化がひきおこされる。音楽家の脳では、運動・聴覚・視覚・小脳の灰白質の容積が増大し、脳内の多くの部位が音楽活動に重要な役割をはたしている²⁾。音楽はホルモン系や自律神経系にポジティブな効果を及ぼすだけではなく、認知機能全般や情動・気分状態にも変化をきたす。音楽活動は、局在的な皮質領域の活動ではなく、聴覚的・視覚的認知、意識、注意、記憶、情動など、脳のすべての認知・精神活動が統合されたものと考えられる^{1,3)}。演奏、歌唱のときにはこれに運動機能が加わる。

音楽家と非音楽家との間に認められる差異は、音楽の経験がヒトの認知や情動などの脳機能にひきおこす変化、すなわち脳の可塑性を反映する。そこで本研究では脳波を用い、音楽家と非音楽家に音楽を聴いてもらい、その間に起こった脳内の聴覚的な情報処理過程から、音楽による経験が脳に与える影響を明らかにすることを目的とした。

1) 国立障害者リハビリテーションセンター病院第一診療部, 同研究所

2) 慶應義塾大学医学部

3) 理化学研究所脳科学総合研究センター脳信号処理研究チーム

4) 電気通信大学大学院情報理工学研究所

5) 京都大学大学院医学研究科

受付日: 2013年1月31日

採択日: 2013年6月11日

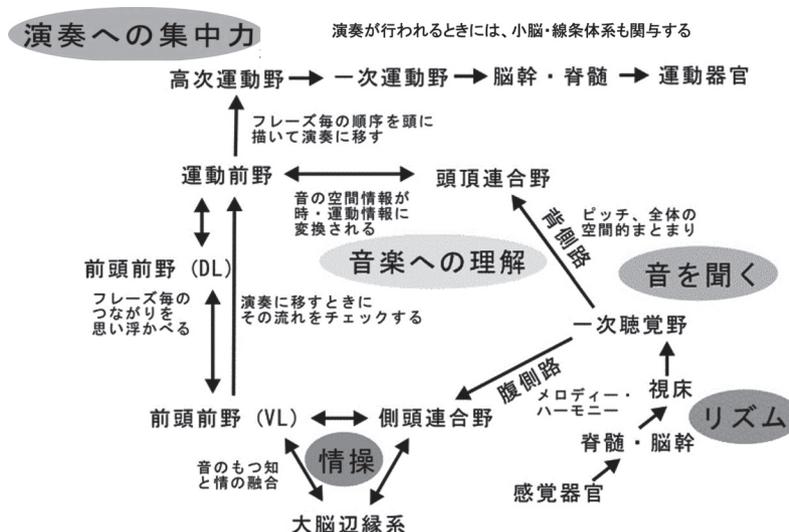


図1 音楽聴取時の脳内神経基盤
 Fig. 1 Neural processing in the brain during listening to the music.

対象と方法

21-25 歳学生 (男 8 名, 女 2 名, 全員右利き) 10 名とプロ声楽家 1 名を対象とした。音楽家 (Musicians) は、音楽的専門教育を 5 年以上受けた 4 年制音楽大学・大学院生 5 名: 男 4 名, 女 1 名: 22.8±1.3 歳 (平均±標準偏差), 音楽の専門領域: 声楽 2 名 (バリトン), 打楽器 3 名とプロ声楽家 1 名の計 6 名である。非音楽家 (Non-musicians) は、音楽的専門教育を受けたことのない非音楽大学・大学院生 5 名 (男 4 名, 女 1 名: 23.1±2.1 歳) である。聴覚的異常のないことは、平均聴力レベルが 25 dBHL 以下、ささやき声を聞き取ることができるかどうかによって確認した。

音楽によって起こる脳内変化には、個人の音楽の好み、専門とする楽器 (ピアノ・ヴァイオリン) の音、種類 (クラシック, ロック), ひきおこされる感情, なじみがあるか, 新規なものか, つまらないか, 感動的か, など個人の趣向の差が影響する⁴⁾。そのため本研究では、多くの人たちが知っている有名なクラシックであり懐かしい情緒を引き起こす可能性があるアントン・ドヴォルザークの交響曲第 9 番「新世界より」の第 2 楽章「家路から」の冒頭 2 分 30 秒 (音楽 1) と、宗教的インパクトの強い合唱曲モーツァルトの「レクイエム」D-minor (K626) “ディーセス・イーレ”「怒りの日」の冒頭 2 分 30 秒 (音楽 2) を選択した。

シールド・ルームで、安静閉眼時、イアホーンか

ら両耳で音楽を聴いている間 (80 dB), 聞いた音楽をイメージしている間 (1 分間) の 60 チャンネル脳波活動を、両耳朶連結を基準電極とし、通過周波数帯域 0.03~300 Hz, 標本周波数 1001 Hz, 電気抵抗を 10 kΩ 以下としてすべて閉眼状態で計測した。記録時には、2 名の脳波専門家がモニターの脳波波形を確認、筋電図や 150 μV 以上のアーチファクトが混入する部分は解析のときに除外した。本研究は国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を得て行った。被験者には研究の主旨を説明し書面で参加の同意を得た。

解析

得られた信号に 50 Hz のローパスフィルタを適用し、周波数 125 Hz で再標本化した後、Morlet wavelet (f0=1.909) を用いて時間周波数解析した⁵⁾。これは、5 Hz から 45 Hz まで 0.1 Hz ごとにウェーブレット係数を求め絶対値を表示したものである。

60 チャンネルの信号に、各周波数帯域 (Delta: 1-4 Hz, Theta: 4-8 Hz, Alpha: 8-13 Hz, Beta: 13-30 Hz, Gamma: 30-50 Hz) を抽出する Butterworth 型 band-pass filter を適応 (γ 帯域には 49-51 帯域阻止フィルタを用いた) 後の信号における安静閉眼時 (安静時脳活動; resting-state activity) 30 秒, 音楽聴取時 150 秒間, 音楽イメージ時 60 秒間の平均信号強度を RMS (root

表 1-a 対象 11 名における音楽聴取時とイメージ時の安静時との root mean square (RMS) 比

Table 1-a Rate of the RMS (root mean square) during listening to the music and imaging the music compared with resting state of eleven subjects

	音楽 1 聴取時		イメージ時		音楽 2 聴取時		イメージ時	
	RMS 比 (平均±標準偏差)	P-value						
Delta (1-4 Hz)	88.8±17.6	0.001*	93.8±54.8	0.002*	88.5±20.4	0.003*	121.0±92.3	0.2
Theta (4-8 Hz)	100.2±11.6	0.27	94.8±37.6	0.02*	94.6±12.5	0.21	103.9±36.6	0.48
Alpha (8-13 Hz)	95.00±16.1	0.04*	86.6±13.2	0.001*	88.4±16.6	0.005*	90.1±22.6	0.02*
Beta (13-30 Hz)	88.1±9.2	0.01*	90.1±21.6	0.01*	88.3±9.5	0.001*	96.4±22.7	0.04*
Gamma (30-50 Hz)	83.8±15.5	0.0006*	101.1±49.9	0.41	87.6±14.1	0.0001*	104.1±39.0	0.3

RMS 比: 100 以上は安静時と比べて増加, 100 以下は減少していることを示す。

P-value は, 安静時と音楽聴取時, 安静時とイメージ時の paired-t 検定の p 値を示す。* $p < 0.05$ 。

表 1-b 各部位における α 活動と γ 活動の RMS 比と p 値

Table 1-b Alterations of the rate of RMS of alpha activity and gamma activity of each area during listening to the music and imaging the music compared with resting state, and P-value of eleven subjects

 α 活動

	音楽 1 聴取時 RMS 比	P-value	イメージ時 RMS 比	P-value	音楽 2 聴取時 RMS 比	P-value	イメージ時 RMS 比	P-value
Frontal-L	93.6±14.7	0.02*	86.7±10.9	0.0001*	88.8±17.9	0.03*	91.3±23.6	0.15
Frontal-R	94.4±17.9	0.03*	88.2±16.3	0.002*	88.3±18.1	0.02*	91.7±33.0	0.07
Central-L	94.8±14.9	0.04*	85.4±10.3	0.0007*	90.7±16.4	0.03*	91.8±17.8	0.08
Central-R	95.6±16.2	0.1	86.7±10.2	0.004*	91.0±16.7	0.04*	89.7±15.6	0.05
Parieto-occipital-L	93.4±16.3	0.03*	83.1±11.1	0.0008*	85.0±16.3	0.003*	85.6±16.4	0.009*
Parieto-occipital-R	93.6±16.0	0.02*	84.4±10.2	0.0007*	85.7±15.5	0.003*	85.7±16.7	0.02*
Temporal-L	98.2±15.6	0.21	90.3±19.1	0.01*	90.8±14.6	0.17	93.5±20.3	0.13
Temporal-R	99.0±16.6	0.14	89.7±16.1	0.003*	89.4±17.0	0.007*	94.3±33.6	0.2
Midline	93.0±16.7	0.02*	85.4±11.7	0.0006*	86.1±16.9	0.01*	87.7±17.5	0.04*

 γ 活動

	音楽 1 聴取時 RMS 比	P-value	イメージ時 RMS 比	P-value	音楽 2 聴取時 RMS 比	P-value	イメージ時 RMS 比	P-value
Frontal-L	76.9±20.6	0.005*	107.6±70.2	0.3	82.4±15.0	0.02*	96.6±35.9	0.4
Frontal-R	77.0±20.4	0.01*	113.7±70.6	0.2	77.7±19.5	0.01*	98.1±43.2	0.3
Central-L	85.4±16.1	0.005*	106.4±65.4	0.3	88.8±10.9	0.02*	104.3±38.3	0.3
Central-R	84.3±14.3	0.001*	103.7±51.3	0.3	87.3±12.1	0.06	104.0±32.9	0.4
Parieto-occipital-L	88.1±7.9	0.008*	98.7±29.4	0.4	92.5±9.9	0.01*	111.8±43.0	0.3
Parieto-occipital-R	87.0±7.9	0.002*	94.8±24.3	0.2	93.4±8.3	0.007*	106.9±33.4	0.3
Temporal-L	86.0±17.3	0.003*	92.1±26.6	0.13	89.4±13.8	0.005*	103.1±40.2	0.4
Temporal-R	84.1±13.8	0.0005*	87.1±24.9	0.02*	85.5±16.3	0.002*	105.1±46.3	0.4
Midline	86.5±11.2	0.004*	102.9±43.4	0.4	91.8±10.3	0.01*	108.0±36.6	0.3

mean square: 平均二乗偏差) 値として求め, 成分比較, 有意差検定 (対応のある t 検定, 繰り返しのある二元配置の分散分析) を行い, $p < 0.05$ を有意差ありとした。筋電図やハムノイズは 70-80 Hz にピークがあるためその影響を排除するために, また EEG は MEG と比べて, 遅い γ 周波数帯域成分 (30-50 Hz) の検出にすぐれていること⁶⁾ から, 本研究では γ 周波数帯域を 30-50 Hz に設定した。

結果

1. 対象 11 例の特徴

時間周波数経過図を示す。音楽家の安静閉眼時, 「新世界より」聴取時, イメージしている間の Fpz の γ 活動の原波形と正規化した図である (図 2)。

対象 11 名全員の音楽聴取時, イメージ時の RMS 値は, 安静時と比べて増加するのか, 減少するのかを検証するために, 各周波数帯域ごとに安静時との比

表 2 各部位に対応する脳波 60 チャンネル
Table 2 60-channel EEG for each resion

前頭部	FP1 FP2 AF3 AF4 AF7 AF8 F3 F1 F2 F4 F5 F6 F7 F8
左前頭部 (Frontal-L)	FP1 AF3 AF7 F3 F5 F1 F7
右前頭部 (Frontal-R)	FP2 AF4 AF8 F2 F4 F6 F8
中心部	FC1 FC2 FC5 FC6 C1 C3 C2 C4 C5 C6 CP3 CP1 CP2 CP4
左中心部 (Central-L)	FC1 FC5 C1 C3 C5 CP1 CP3
右中心部 (Central-R)	FC6 FC2 C2 C4 C6 CP2 CP4
側頭部	FT9 FT7 T9 T7 TP9 TP7 P7 P5 FT8 FT10 T8 T10 TP8 TP10 P6 P8
左側頭部 (Temporal-L)	FT9 FT7 T9 T7 TP9 TP7 P7 P5
右側頭部 (Temporal-R)	FT8 FT10 T8 T10 TP8 TP10 P6 P8
側頭前方部	FT9 FT7 FT10 FT8
側頭中心部	T7 T8 T9 T10 C5 C6
側頭後方部	TP7 CP5 TP8 CP6
頭頂・後頭部	P3 P1 P2 P4 PO3 PO4 PO7 PO8 O1 O2
左頭頂・後頭部 (Parieto-occipital-L)	P1 P3 P5 P7 PO3 PO7 O1
右頭頂・後頭部 (Parieto-occipital-R)	P2 P4 P6 P8 PO4 PO8 O2
正中線部 (Midline)	FPz Fz Cz Pz Oz Iz

(100 以下は減少, 100 以上は増加) を算出した (表 1-a)。 p 値は安静時と音楽聴取時, 安静時とイメージ時の RMS 値の t 検定の値を示す。音楽 1, 2 ともに聴取時には δ , α , β , γ 活動に有意な減少を認め, RMS 比と p 値に最も有意な変化が起こったのは γ 活動であった。音楽 1, 2 ともにイメージしたときには α , β 活動が有意に減少, γ 活動は増加した。

60 チャンネルの各部位 (表 2) における α 活動と γ 活動の安静時と音楽聴取時, イメージ時の RMS 比と p 値を示す (表 1-b)。

α 活動は音楽聴取時には前頭・中心部・頭頂後頭部・正中線部有意に減少, 音楽 1 をイメージしたときには全脳部位で有意に減少した。

γ 活動は音楽 1 聴取時には, 全脳部位で, 音楽 2 聴取時も右の中心部以外, 全脳部位で有意に減少した (表 1-b)。音楽 1 をイメージ時には右側頭部で有意に減少したがそれ以外の部位では有意差はなかった。音楽 1, 2 聴取時には, 前頭部正中線部の γ 波の減少率は Fpz が Fz, Cz, に比べて有意に大きく, 側頭部の γ 波の減少率は前方部 (FT, FC) が中心部 (T7, T8, C5, C6), 後方部 (TP7, CP5, TP8, CP6) に比べて大きかった (図 3)。

2. 音楽家と非音楽家の γ 活動の差

音楽家と非音楽家の差を明らかにするために, 各部

位 (表 2) における γ 活動の①安静時と音楽聴取時, 安静時とイメージ時の RMS 値の t 検定, ②安静時, 音楽聴取時 (音楽 2), 音楽をイメージしている間の RMS 値を 3 群の固定因子として, 音楽家と非音楽家の 2 群を繰り返しのある二元配置の分散分析を行った。

①音楽 1 では音楽家は音楽を聴いている間イメージ時ともに, すべての領域で γ 活動の有意な減少を認めた。非音楽家では音楽聴取時に右側頭部で有意な減少を認めたが他の部位では有意差はなかった。音楽 2 では, 音楽家は音楽聴取時・イメージ時ともに, 左右前頭部, 側頭部, 右頭頂・後頭部, 正中線部で有意な減少を認めた。非音楽家は音楽聴取時には右側頭・頭頂・後頭部で有意な減少を認め, イメージ時には右頭頂・後頭部で有意に増加した (表 3)。

②二元配置の分散分析の結果では, 安静時, 音楽 1, 2 聴取時, 音楽をイメージしている間の γ 活動の RMS の平均値に, 音楽家と非音楽家の両者間に有意差が認められたのは左右前頭部であった。安静時と比べて, 音楽家は音楽聴取時とイメージ時では, 左右前頭部の γ 活動が有意に減少, 非音楽家は音楽聴取時には減少, イメージ時には増加した (図 4, 5, 6)。左右半球間に, 音楽家・非音楽家ともに有意差はなかった。

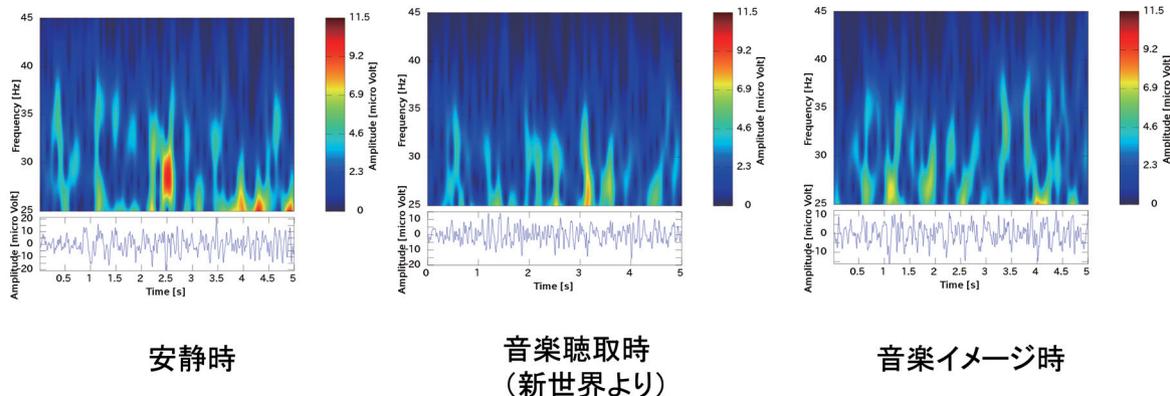


図2 音楽家の「新世界より」聴取時のFpzにおける γ 周波数帯域の時間周波数解析 (Morlet wavelet) 各周波数帯域ごとに正規化したものの γ 周波数帯域を示す。音楽聴取時・イメージ時は安静時と比べて減少している。
 Fig. 2 A musician's EEG of Fz and time-frequency analysis during listening to the From the new world.

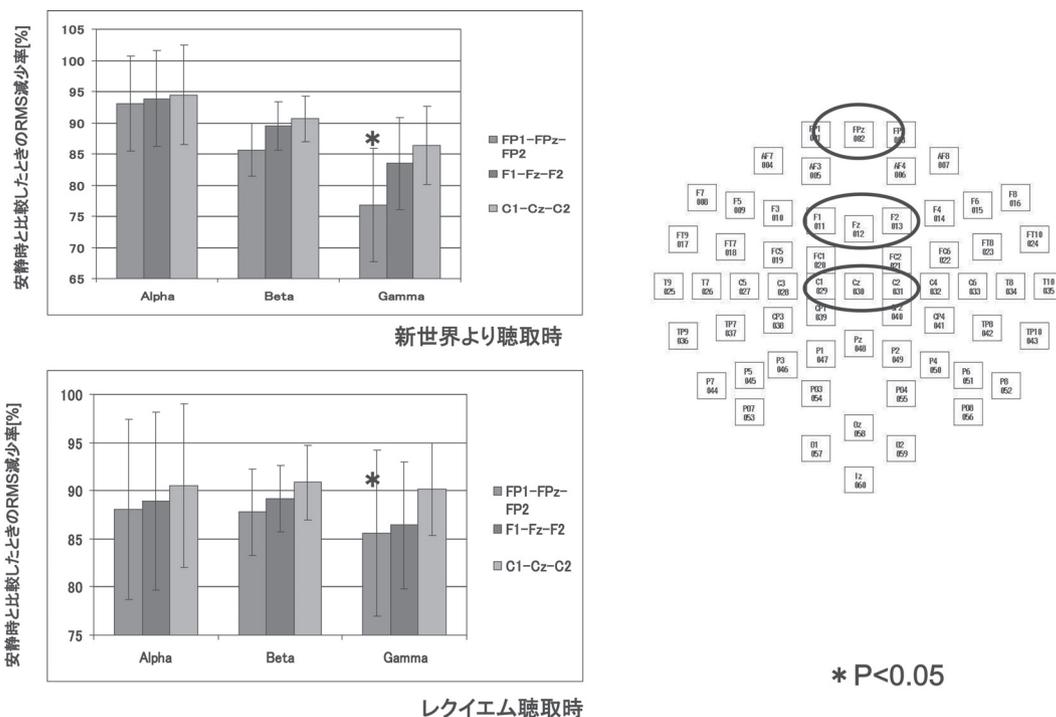


図3 対象11例の音楽聴取時の前頭正中線部 (前頭極 Fpz, Fp1, Fp2; 前頭 Fz, F1, F2, 中心部 Cz, C1, C2) 内の γ 活動の変化と、両側側頭部 (左側頭前部 FT9, FT7, 左側頭中心部 T9, T7, 左側頭後部 TP9, TP7; 右側頭前部 FT10, FT8, 右側頭中心部 T10, T8, 右側頭後部 TP10, TP8) 内の γ 活動の変化
 ①正中線前頭部の中でも、音楽を聴取時はFpzの γ 波の減少率が、Fz, Czと比べて有意に大きかった。② γ 波の減少率は、側頭部内では前方部の方が大きかった。この結果では左右半球間に有意差はなかった。
 Fig. 3 Alterations of the root mean square (RMS) of gamma activity in the Frontal-midline area (Frontal pole Fpz, Fp1, Fp2; Frontal Fz, F1, F2, Central Cz, C1, C2) and in the bilateral temporal area (left anterior-temporal FT9, FT7, left mid-temporal T9, T7, left posterior-temporal TP9, TP7; right anterior-temporal FT10, FT8, right mid-temporal T10, T8, right posterior-temporal TP10, TP8) during listening to the music of eleven subjects.

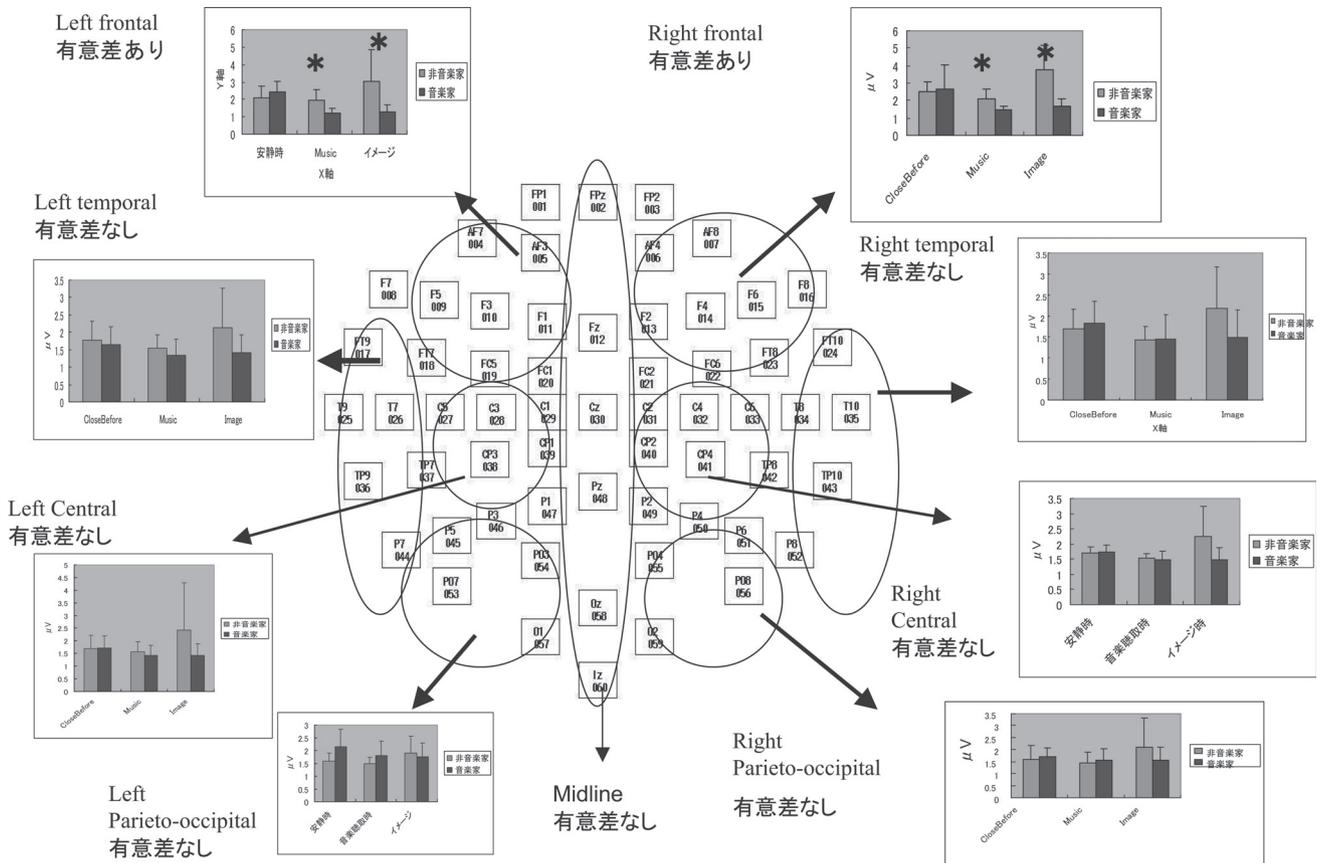


図5 音楽家と非音楽家の二元配置の分散分析を用いた安静時、レクイエム（音楽2）聴取時、イメージ時における γ 活動のRMS値の検定
 音楽家は音楽聴取時に前頭部 γ 活動が有意に減少した。非音楽家はイメージ時には、前頭部 γ 活動が増加、音楽家は減少した。

Fig. 5 ANOVA of the RMS of gamma activity between musicians and non-musicians during resting-state, listening to Requiem (Mozart), imaging Requiem.

考察

1. γ 活動と音楽

脳内では複数の領域の神経細胞群の相互作用により情報が処理される。 γ 活動同期（Gamma synchrony）とは複数の電極間で記録される神経細胞活動が γ 周波数帯域の成分で同期する現象であり、時間的・空間的な情報を複数の領域で統合して認知する高次認知機能との関連が推測されている⁷⁾。事象関連脱同期・事象関連同期（ERD, ERS）の中に存在する γ 周波数帯域40 Hz前後のinduced成分が高次脳機能処理と関連することがわかってきたが⁸⁾、induced成分は時間と位相が変動するため、検出および解析手法がまだ確立されていない。本研究も、音楽聴取時の各周波数帯域の信号強度（RMS）の解析であり、広範な皮質間の同期性や機能的脳結合（functional brain connectivity）

の直接的な解明までには至っていない。

音を聞いた直後19 msから出現する皮質の反応（N1c, N1m, N2m, P2, P2m）は、非音楽家と比べて音楽家で増強し⁹⁾音楽家のN19m-P30mの反応増強は、側頭平面のヘッセル回の灰白質や、神経細胞密度の増加と比例する^{10,11)}。音楽により誘発される γ 活動（evoked gamma activity）は、音刺激から30-100 msの間（80 msで最高）に正中線上Fzで最大振幅を示す。これは音楽家では非音楽家より強く出現し小児には認められない⁹⁾。これらの結果は、音楽教育や技能修得により獲得された脳の可塑性を示唆する⁹⁾。しかし音楽は、呈示する曲によっても脳活動に差異が生じるため、 γ 活動の機能的な意義は、いまだ不明な点が多い。

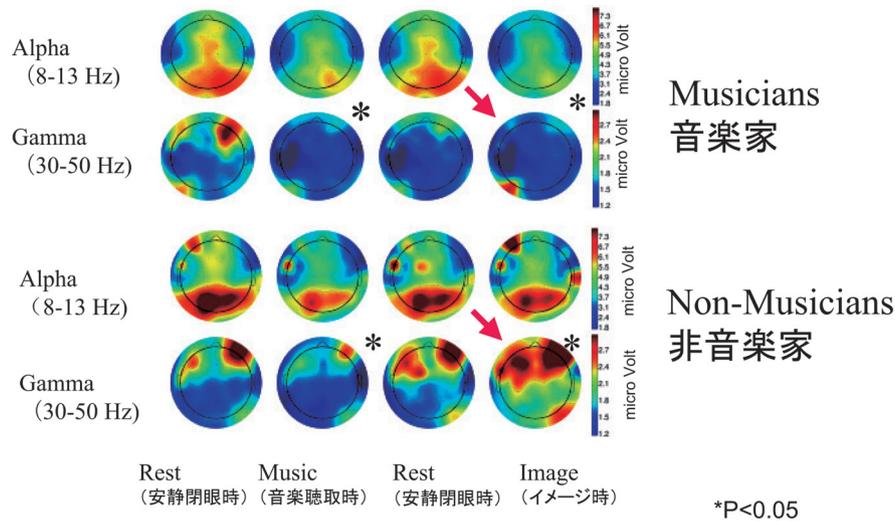


図6 レクイエム聴取時の音楽家と非音楽家の α 活動と γ 活動のトポグラフによる比較

音楽家は音楽聴取時に前頭部を含む全脳部位で γ 活動が有意に減少した。非音楽家はイメージ時には、前頭部 γ 活動が増加、音楽家は減少した。

Fig. 6 Topograph of gamma activity and alpha activity during resting-state, listening to Requiem, imaging Requiem of musicians and non-musicians.

2. 音楽とfMRIを用いた実験

近年、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) を用いて BOLD (blood-oxygenation level-dependent) 信号から安静時機能的脳結合を解明しようとする研究が増えている¹²⁾。音楽家は安静時でも聴覚野における入力と出力の程度が増加し、効率よく出力できるような脳の結合パターンを呈し¹³⁾、聴覚野だけではなく運動野と感覚野の機能的脳結合も増加する¹⁴⁾。不快と感じる音楽では扁桃体、海馬、傍海馬回、側頭極が賦活され、快と感じる音楽では下前頭回 (BA44, 45, 46) 側頭葉前方部、前島皮質域 (anterior insular cortex, AIC)、腹側線条体が賦活されるという¹⁵⁾。これらの領域が時間的な推移で活動することは、脳全体広範囲に情動がひきおこされることを示唆する。

受動的感覚刺激を用いた認知課題を遂行すると、直接関連する脳皮質領域が賦活する一方で、頭頂葉内側部¹⁶⁾ (precuneus)、前頭葉内側部、下側頭回・側頭極、側頭頭頂接合部といった領域が「脱」賦活 (deactivate) される。Raichle らは、PET で測定した酸素代謝率と脳血流量 (酸素供給量) の比である酸素摂取率が閉眼安静時には全脳で均一であることから、これを脳の機能的定常状態とし、脱賦活とは、定常状態より脳活動が低い (酸素摂取率が増加した) 状態と定義した (default mode network: 以下 DMN)¹⁷⁾。安静時脳活動

には「遂行機能のコントロール」を含む背外側前頭皮質や頭頂葉、および「情動回路」にかかわる両側前交連部、前帯状回、扁桃体、視床下部が関連する。左前交連部や前帯状回の近傍、前頭前野内側部は DMN を構成し、認知機能に対する感情的な意識 (emotional awareness) を反映する¹⁸⁾。音楽を聴いている間は、安静時脳活動より DMN に近い状態、内省的になる傾向が報告されている¹³⁾。

本結果では、音楽聴取時には安静時と比べて前頭・頭頂・側頭・後頭部を含む全脳部位で γ 活動が減少、特に前頭前部 (Fpz, Fp1, Fp2) 側頭前部 (FT7, FT8, FT9, FT10) で有意な減少を認めた。これは脳全体が音楽を情報処理する過程にかかわり、特に前頭前野・側頭葉前方部 (おそらく AIC) の関与が大きいことを示す。AIC は、ヒトの意識 (awareness) の基盤であり、前帯状皮質 (anterior cingulate cortex: ACC) と同時に活動する¹⁹⁾ ことで、辺縁系の感覚と運動皮質の相互的な作用を示す可能性がある。

3. 音楽家と非音楽家の γ 活動の差

Bhattachaya らは、5 年以上音楽訓練を受けた学生 10 名 (音楽家) と音楽訓練のない学生 10 名 (非音楽家) に 19 チャンネル脳波を用い、音楽 (JS バッハ: フランス組曲第 5 番) 聴取時 5 分間と、朗読聴取時 (Weigel H. の短編小説) 2 分間聴取時の γ 活動 (30-50 Hz) を

比較した^{20,21)}。 γ 活動のパワー値は、非音楽家のほうが音楽家より高く、特に音楽を聴いている間は非音楽家でF4, F8, Cz, P3, T3の部位で、朗読を聞いている間は側頭部以外の全部位で有意に増加した。19チャンネルからの信号を、線形法を用いて空間的な同期性を解析したところ、音楽家の γ 活動は、非音楽家と比べて安静時には有意差はないが、音楽聴取時には有意に脳全体で同期した^{20,21)}。これは、聴覚的な長期記憶と作動記憶の2つの過程が関与し⁴⁾、広い音楽レパートリーの中に内在する長期記憶の中から、過去の記憶をとりだして予測し、現在聴いている音楽を作動記憶の中で感知する情報処理過程が、非音楽家より大きなスケールで統合されることを反映するものであろう。長期記憶とは意識の外で保持される潜在的な記憶であり²²⁾、意識的にアクセス可能な自発的に思い出すことができる顕在記憶と、無意識の思考や行動に影響を与える潜在記憶に分類される。想起内容を意識的、すなわち感覚的、言語的にイメージ・説明できるものが宣言的記憶 (declarative memory) であり、意味記憶やエピソード記憶などである。非宣言的記憶 (non-declarative memory) とは記憶再生中も意識できないことが特徴であり、手続き記憶 (技能習得) やプライミング²³⁾ (単語・音など先行する事柄が後続する事柄に影響を与える状況) などが含まれる。音楽家の絶対音感、音を聴く訓練を重ねるうちに前意識的に音階が聴覚皮質野に記憶され、潜在記憶の中に取り込まれるため、思い出そうと意識しなくても正確に想起できる¹⁴⁾。音、リズム、ピッチ、メロディーに対しても、顕在記憶だけではなく潜在記憶が大きく関与し²⁴⁾、音楽を聴くという刺激の結果、先行する音の刺激が与えられただけで、次に続く音やメロディーを「前意識的」にすばやく正確にとりだすことができるようになる。

音やリズムは感覚情報として脳幹部から視床を経て一次聴覚野へ伝達され、ハーモニー/メロディーの認識は聴覚皮質連合野で起こる。そして、情動の発現には大脳辺縁系 (海馬や扁桃体) から皮質への入力に関係する。意識や注意が音楽という外的刺激を受け入れて、一次聴覚野さらに後連合野から、一方は頭頂連合野を介して (背側経路) 音の空間情報が運動前野/前頭前野で時・運動情報に変換され、他方は側頭連合野を介して (腹側経路) 大脳辺縁系からの入力 (音のも

つ情動系) も加わって、統合された情報が前頭葉内で処理される。ここで状況に即して判断され、処理された結果が、高次運動野を経て随意運動系の発現として進行する (図1)¹⁾。本結果のように、音楽家が音楽を聴いた時と同様の γ 活動パターンで音楽をイメージしていることは、聴いた音楽を思い出そうとする顕在記憶から潜在記憶の中に「加工して」とりこみ、それを「前意識的」に再生している過程を反映し、これに対して非音楽家は、顕在記憶にたくわえられた音楽を「意識的」にとりだそうとする結果、前頭部の γ 活動が増強すると解釈することもできる。

ところで、 γ 活動は瞑想時にも変化する。瞑想家は熟練の程度にもよるが、瞑想時に後頭部有意に γ 活動のパワー値が増加するという報告²⁵⁾や、右側の側頭部や頭頂・後頭部の γ 活動のパワー値が安静時や瞑想の訓練を受けていない健常者と比べて大きいという報告がある²⁶⁾。瞑想家は瞑想時には安静時と比べて、右前頭部優位に γ 活動のパワー値が減少し、これは自己意識 (narrative self-reference) や DMN^{17,27)} との関連が推量されている。

音楽を聴いている間は、安静時より γ 活動が減少し、特に音楽家では前頭部の γ 活動が非音楽家と比べて有意に減少するという本結果は、熟練した瞑想家の瞑想中の右前頭部の γ 活動の減少にも似ている。音楽を聴いている間にみられる γ 活動に関しては、長期記憶、作動記憶、潜在記憶や、意識が自己内面にむかう自己意識や注意などより高次な脳内神経活動や DMN 活動状態の一面をとらえている可能性がある。

音楽を聴くことにより人間の認知・行動機能が全般的に複雑かつ動的な反応を示す。アルツハイマー病の患者、頭部外傷患者では短期記憶は障害されても、潜在記憶である意味記憶や手続き記憶は保たれることが多い^{28,29)}。音楽を聴くことで潜在記憶が再生され、情動、自己意識、注意にポジティブな変化をもたらす可能性がある。音楽認知に記憶がはたす役割や、音楽が脳に及ぼす促進的な役割が明らかになれば、音楽はニューロリハビリテーションの分野にも貢献することが期待される。

本研究では、 γ 活動が音楽聴取時に重要な役割を果たし、意識・注意・記憶と関連が深いことを示した。本研究結果では、 γ 活動以外に α 活動や β 活動にも有

意差が認められたが、その意義については今後さらに検討を重ねる予定である。意識を含む広い概念の中で機能的脳結合に焦点をあてるのが、音楽が脳機能に及ぼす促進的な効果の一部の解明につながる重要な視点と考える。

謝辞

音楽に対する啓蒙をいただいた荒井香織氏、技術協力いただいた古川昌和氏、前野正登氏、渡司雅代氏に深く御礼申し上げます。

本稿は第42回日本臨床神経生理学会一般演題で発表し、座長により「推薦論文」として投稿するものである。本研究は文部科学省科学研究費助成事業「脳損傷後の意識、睡眠、認知の神経基盤と回復に関する研究」(課題番号 23500473)として実施した。

文献

- 1) 川村光毅: 視・聴覚機能と芸術. 芸術する脳 特別号 2012: 1-54, 2012. 東京芸術大学, <http://www.geidai.ac.jp/art-brain/>
- 2) Gaser C, Schlaug G: Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci* 23: 9240-9245, 2003.
- 3) Koelsch S: Toward a neural basis of music perception—a review and updated model. *Front Psychol* 2: Article 110, 1-20, 2011.
- 4) Adalarasu K, Jagannath M, Naidu Keerthiga Ramesh BS, et al: A review on influence of music on brain activity using signal processing and imaging system. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)* 3: 3276-3282, 2011.
- 5) Goupillaud P, Grossmann A, Morlet J: Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration* 23: 85-102, 1984.
- 6) Kaiser J, Lutzenberger W: Human gamma-band activity: A window to cognitive processing. *Neuroreport* 16(3): 207-211, 2005.
- 7) Jia X, Kohn A: Gamma rhythms in the brain. *PLoS Biol* 9: e1001045, 2011.
- 8) Bertrand O, Tallon-Baudry C: Oscillatory gamma activity in humans: a possible role for object representation. *Int J Psychophysiol* 38: 211-223, 2000.
- 9) Shahin AJ, Roberts LE, Chau W, et al: Music training leads to the development of timbre-specific gamma band activity. *Neuroimage* 41: 113-122, 2008.
- 10) Schneider P, Sluming V, Roberts N, et al: Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nat Neurosci* 8: 1241-1247, 2005.
- 11) Weinberger NM: The nucleus basalis and memory codes: auditory cortical plasticity and the induction of specific, associative behavioral memory. *Neurobiol Learn Mem* 80: 268-284, 2003.
- 12) Fox MD, Raichle ME: Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nat Rev Neurosci* 8: 700-711, 2007.
- 13) Kai BP, Meng X, Difrancesco MW, et al: Moderating effects of music on resting state networks. *Brain Res* 4: 53-64, 2012.
- 14) Luo C, Guo ZW, Lai YX, et al: Musical training induces functional plasticity in perceptual and motor networks: Insights from resting-state fMRI. *Plos One* 7: e36568, 2012.
- 15) Koelsch S, Fritz TV, Cramon DY, et al: Investigating emotion with music: an fMRI study. *Hum Brain Mapp* 27: 239-250, 2006.
- 16) Cavanna AE, Trimble MR: The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain* 129: 564-583, 2006.
- 17) Raichle ME, MacLeod AM, Snyder AZ, et al: A default mode of brain function. *Proc Natl Acad Sci USA* 98: 676-682, 2001.
- 18) Greicius MD, Krasnow B, Reiss AL, et al: Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *Proc Natl Acad Sci USA* 100: 253-258, 2003.
- 19) Craig AD: How do you feel—now? The anterior insula and human awareness. *Nat Rev Neurosci* 10: 59-70, 2009.
- 20) Bhattacharya J, Petsche H, Pereda E: Long-range synchrony in the γ band: Role in music perception. *J Neurosci* 21: 6329-6337, 2001.
- 21) Bhattacharya J, Petsche H: Musicians and the gamma band: a secret affair? *Neuroreport* 12: 371-374, 2001.
- 22) Squire LR: *Memory and Brain*. Oxford University Press, New York, 1987.
- 23) Tekman HG, Bharucha JJ: Time course of chord priming. *Percept Psychophys* 51: 33-39, 1992.
- 24) Ettliger M, Margulis EH, Wong PCM: Implicit memory in music and language. *Front Psychol* 2: Article 211, 2011.
- 25) Cahn BR, Delorma A, Polich J: Occipital gamma activation during Vipassana meditation. *Cogn Proc* 11: 39-56, 2010.
- 26) Berkovich-Ohana A, Glicksohn J, Goldstein A: Mindfulness-induced changes in gamma band activity—Implications for the default mode network, self-reference and attention. *Clin Neurophysiol* 123: 700-710, 2012.
- 27) Buckner RL, Andrews-Hanna JR, Schacter DL: The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. In Kingstone A, Miller MB (eds). *The year in cognitive neuroscience*. *Ann NY Acad Sci* 1124: 1-38, 2008.
- 28) Simmons-Stern NR, Budson AE, Ally BA: Music as a memory enhancer in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia* 48: 3164-3167, 2010.
- 29) Bradt J, Magee WL, Dileo C, et al: Music therapy for acquires brain injury. *Cochrane Database Syst Rev* 7(7): CD006787, 2010.

Gamma-band activity; role of music perception in the brain in relation to consciousness and cognition

YUKO URAKAMI¹⁾, KOKI KAWAMURA^{2),3)}, YOSHIKAZU WASHIZAWA^{3),4)},
KAZUKO HIYOSHI^{3),5)}, ANDRZEJ CICHOCKI³⁾

- 1) *Hospital and Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities*
- 2) *Department of Anatomy, Medical School, Keio University*
- 3) *RIKEN Brain Science Institute, Laboratory for Advanced Brain Signal Processing*
- 4) *Department of Communication Engineering and Informatics, The University of Electro-Communications*
- 5) *Department of Functional Brain Imaging, Human Brain Research Center, Graduate School of Medicine, Kyoto University*

Music perception involves acoustic tone activity and scene (melody, harmony) analysis, as well as its processing of musical syntax and semantics, that lead to the activation of the prefrontal cortex (and active motor) actions. The present study aimed to clarify the underlying neural networks during music perception in musicians and non-musicians. We examined spontaneous brain activities in six musicians (five musically trained students and one singer), and five non-musically trained students while listening to Dvorak's "From the new world" and Mozart's "Requiem" for 150 seconds for each piece, imaging the music for 60 seconds thereafter, using 60-ch electroencephalography (EEG). The data were analyzed and compared with those of the resting state. We adopted Morlet wavelet time-frequency analysis, and root mean square (RMS) was calculated in each frequency-band (Delta: 1-4 Hz, Theta: 4-8 Hz, Alpha: 8-13 Hz, Beta: 13-30 Hz, Gamma 30-50 Hz). During listening to the music, gamma activity was significantly decreased in all of the regions. While imaging the music, the musicians' gamma activity was significantly decreased in the entire cortical areas, whereas the non-musicians' gamma activity increased in the frontal area. A gamma activity decreased during perception of the music, especially in the prefrontal cortex in musicians; it is strongly related to the integration of recognition and emotion which reflects the processing of music in a highly integrated consciousness level. The frontal gamma activity shown here may indicate that musicians image the music in the same or similar condition as they are listening to the music that is, they do image and replay the music in the implicit memory compiled from the explicit acoustic memory while listening to the music. The differences as evidently shown in music perception between well-trained and non-trained students may reflect the differences of their education in musical experiences and expert skills obtained in their music carrier.

Key Words : music, electroencephalography, gamma activity, music perception, consciousness