

Minimal Music 聴取時における脳機能計測

森 悠太[†] 風 井 浩 志[†] 片 寄 晴 弘[†]

聴取者が「浮遊感」を感じるという Minimal Music(以下, MM) に注目し, 音楽聴取時における脳機能計測を実施した. 他の音楽と比較し, MM 聴取時には右前頭前野における脳血流が増加する傾向が観測された.

Measurement of Brain Activity while listening to Minimal Music

YUTA MORI KOJI KAZAI and HARUHIRO KATAYOSE

We investigated humans' brain activity while listening to the Minimal Music, which is regarded to bring the flowing sensation to the listener's mind. The experimental results suggested that brain activity is more activated in the right DLPFC while listening to the Minimal Music, compared with the other music genres.

1. はじめに

音楽は一般の人にとって最も身近な芸術であり, 娯楽の対象としても成立している. また, 楽しむだけでなく音楽療法やリトミックなど教育用途として利用されている. このように, 音楽が人の身体・精神に働きかける作用については経験的に良く知られており, 幅広い利用例にもつながっているが, 科学的な解明は十分に進んでいるとは言えない. しかし, 近年, 脳機能計測技術の発展に伴い, 音楽聴取時における脳活動計測に関する研究が盛んに行われるようになってきた.

脳機能計測手法による音楽聴取の代表的な研究例としては Blood らによる PET を用いた研究があげられる. Blood らは不快な音楽を聴いた時に右前頭葉の脳血流が上昇すると報告している¹⁾. 最近では, fNIRS を用いた実験も積極的に実施されるようになってきている^{2)~5)}. 奥平らは, 表情テンプレートを利用した演奏インタフェースの評価研究において, 没入感に対応する形で前頭前野の脳活動が低下すると報告している²⁾. また, 須田らは自分の好きな音楽を聴いた時には前頭葉の脳血流が低下すると報告している³⁾.

音楽の構造や形式が人間の認知活動にどのような影響を及ぼすかを分析することはこれからの重要な研究課題である. 本研究では, ワンフレーズの繰り返しで構成され, 「浮遊感を感じる」「脳が溶けるような感じがする」というような言葉で評されることが多い

Minimal Music を題材として用い, その聴取にかかる認知活動を脳機能計測と質問紙法との併用によって分析することを課題とする. 以下, 第 2 章では Minimal Music について, 第 3 章では脳機能計測法について述べ, 続いて実験結果と考察について述べる.

2. Minimal Music

Minimal Music とは 1960 年代に流行した音楽ジャンルで, Minimal(最小限)のワンフレーズを反復する音楽である. 一見単純な音楽のように思えるが, 他の音楽と違い聴取者によって様々な解釈ができるため, 能動的な聴取行為が必要とされる⁶⁾. その中でも本研究では, 一般的に Minimal Music の代表作として有名である Steve Reihe の 'Piano Phase' を刺激とする. 'Piano Phase' は gradual phases shifting process を器楽曲に応用した最初のものである.

gradual phase shifting process とは, 2 人のピアニストがワンフレーズをユニゾンで演奏し, 一方が一定のテンポで繰り返し, 何回かの反復のあとに他方が少しずつテンポを速めるという手法である (図 1).

本研究では, この 'Piano Phase' 聴取時と他の音楽聴取時における脳機能を比較する.

3. 脳活動計測法

脳機能計測の目的は, 精神活動に伴う脳の電気活動や代謝活動の変化から人間の脳の仕組みを調べることにある. 20 世紀の終盤において, コンピュータ技術, 超伝導工学, システム工学, 光電子工学などさまざまな学問

[†] 関西学院大学大学院理工学研究科

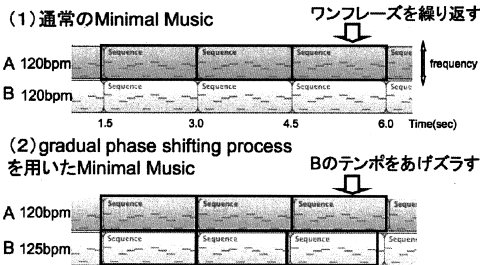


図1 Minimal Music と gradual phase shifting process

の成果を基にした非侵襲・非観血的計測手法が開発され、脳機能計測研究が飛躍的に進展した。このような脳機能計測法の主たるものとして、脳波 (electroencephalography, EEG), 脳磁場計測 (Magnetoencephalography, MEG), 陽電子断層法 (positron emission tomography, PET), 機能的核磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging, fMRI), 機能的近赤外線分光法 (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) などが挙げられる。EEG と MEG は脳の電気活動を記録するものであり、PET・fMRI・fNIRS は脳血流変化を記録するものである。

音楽以外の娯楽に対しても脳機能計測による研究が行われつつある。例えば、fNIRS を用いた研究⁷⁾では、ビデオゲーム中には前頭前野の活動が低下することが示されている。このように、脳機能計測法は様々な研究で利用されており、その有用性が示されている。上述の脳機能計測法のいずれを用いるかは、空間分解能、時間分解能、簡便性、非侵襲性などの特性に依存する。本研究では、これらの脳機能計測法のうち、fNIRS を利用した。fNIRS は PET や fMRI と比べ、ランコストが低い、装着が容易、被験者に対する身体的制約が少ないという利点がある。本研究では、音楽聴取時の脳機能計測を行うことから、被験者にリラックスできる環境が必要となるために身体的制約が少ない fNIRS が適している。

4. 実験

4.1 被験者

被験者は平均年齢 22.2 歳 (範囲 22~24) の男性 8 名であった。事前に計測装置の安全性や実験手順について十分な説明を行い、同意を得た上で実験を行った。

4.2 測定

fNIRS 装置は島津製作所社製の OMM2001 を用いた。計測部位は前頭葉をターゲットとし、前頭部に 24 チャンネルを配置した (図 2)。前頭葉は fNIRS によ

て測定可能な大脳皮質の領域であり、情動・認知に関与している部位であることが知られている。

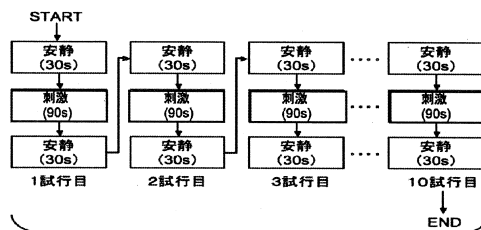


図2 fNIRS を用いた実験風景

4.3 実験手続き

今回の実験では、'Piano Phase' を刺激とした条件 (pMM 条件) に加えて、その比較として以下の 4 つの条件を設定した。すなわち、'Piano Phase' から gradual phase shifting process を除いた Minimal Music を聴く条件 (mm 条件)、連続ピップ音を聴く条件 (Pip 条件)、クラシック音楽 (ブラームス・クラリネット五重奏、3 楽章) を聴く条件 (CL 条件)、ノイズミュージック (Merzbow Octopus) を聴く条件 (NM 条件)、を設定した。

刺激提示前の安静時間 30 秒、刺激時間 90 秒、刺激提示後の安静時間 30 秒の計 150 秒を 1 試行とした。1 条件につき 2 試行の計 10 試行をランダムな順序で実施した (図 3)。刺激提示にはヘッドホンを用いた。全試行が終了した後に、各条件に対する内省報告を聴取した。



各条件を2試行ずつランダムに計10試行を行った

図3 実験シーケンス

4.4 解析

fNIRSによって測定された脳血流中の酸素化ヘモグロビン (oxyHb) の変化は rCBF (局所脳血流量) の変化を反映し, rCBF の増加は神経活動の増加を反映したものである⁸⁾. そこで, 本研究では酸素化ヘモグロビンの変化量を指標とした. 測定したデータに対してバンドパスフィルタ処理 (0.008~8Hz) を行った. フィルタ処理後のデータに対して, 刺激提示前後の安静時の酸素化ヘモグロビン量を基準として測定値の標準化 (z-score 化) を行った. 測定した 24 チャンネルを左前頭葉と右前頭葉とに 2 分割し, 各 12 チャンネルの平均を左右の前頭葉の活動量とした (図 4). 刺激提示時点を基準にベースライン補正を行った.

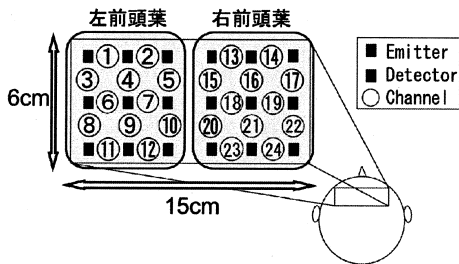


図 4 fNIRS のチャンネル配置と計測部位

5. 結果と考察

5.1 内省報告

図 5 に各被験者の内省報告の結果を示す. Minimal Music (pMM 条件・mm 条件) に対して実験前に予想されていた「浮遊感を感じる」「脳が溶けるような感じがする」といった内省報告は得られなかった. ただし, 被験者 B, E, F, G, H が pMM 条件に対して, 被験者 C が pMM 条件と mm 条件に対して, 快でも不快でもなく「言葉でうまく表せない」「変化が興味深かった」という独特の内省を報告したことは非 Minimal Music 条件 (Pip 条件・NM 条件・CL 条件) と異なる点である.

5.2 脳機能計測

図 6 に被験者 A の脳活動の結果例を示し, 図 7 に各条件の刺激提示時における oxyHb 変化量の平均値を示す. Minimal Music (pMM 条件・mm 条件) の効果について, mm 条件では他の条件と比べ著しい結果は見られなかったが, pMM 条件では全被験者に対して, 右前頭葉で他の条件と比べ oxyHb 変化量の平均値が上位三位に入るなど上昇する結果が得られた.

	pMM	mm	Pip	CL	NM
sub.j. A	不快	心地よい	何も感じない	心地よい	不快
sub.j. B	言葉でうまく表せない	単語でつまらない	不快	心地よい	不快
sub.j. C	言葉でうまく表せない	言葉でうまく表せない	何も感じない	心地よい	不快
sub.j. D	不快	不快	不快	心地よい	不快
sub.j. E	言葉でうまく表せない	単語でつまらない	何も感じない	心地よい	不快
sub.j. F	変化が興味深かった	特に何も感じない	何も感じない	心地よい	不快
sub.j. G	言葉でうまく表せない	単語	心地よい	心地よい	不快
sub.j. H	変化が興味深かった	単語	何も感じない	心地よい	不快

図 5 各被験者の各条件における内省報告

先行研究で得られた知見として, 不快な音楽に対して右前頭葉の血流の増加が知られている¹⁾. 被験者 A, D は pMM 条件の内省報告で「不快」と述べていたのでこの先行研究の結果と一致する. これに対して, 内省報告で被験者 B, C, E, G は「言葉でうまく表せない」、被験者 F, H は「変化が興味深かった」と報告した. このような齟齬の理由として, Minimal Music 聴取時には「他の音楽と違い聴取者によって様々な解釈ができるため能動的な行為が必要とされる」ということから, 被験者 (B, C, E, F, G, H) は分析的に聴取したためと推察される. 音楽を分析的に聴取したときには前頭葉の活動が上昇するとの報告もされている⁹⁾.

また, 被験者 A, B, E, F, G, H に対して pMM 条件は mm 条件と比べ oxyHb が上昇する結果が得られた. 内省報告でも mm 条件は pMM 条件と比べ特異な点は見いだせなかった. このことから, 一般的に言われる「浮遊感を感じる」「脳が溶ける感じがする」といった主観的経験には gradual phase sifting process の影響が大きいということが示唆される.

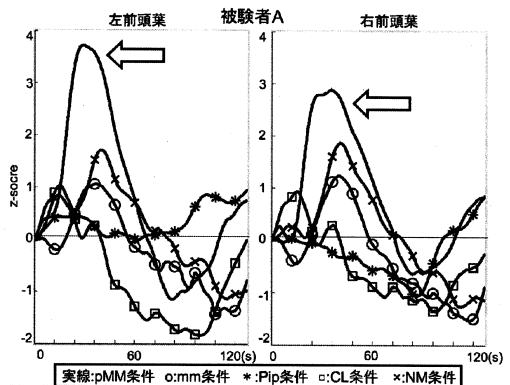


図 6 被験者 A の音楽聴取時における左右前頭葉の脳活動. 横軸は時間経過, 縦軸は酸素化ヘモグロビン (oxyHb) の相対的变化 (上方が増加, 下方が減少) を示す.

subj. A		subj. B		subj. C		subj. D		
	Rank z-score		Rank z-score		Rank z-score		Rank z-score	
右	pMM 4	1.58	pMM 2	-0.07	mm 4	-0.43	CL 1	0.52
	Pip 3	0.70	mm 3	-0.52	NM 2	-1.84	mm 3	-0.79
	NM 5	0.41	NM 5	-0.61	pMM 1	-1.92	pMM 2	-1.49
	mm 2	-0.49	Pip 4	-0.70	CL 3	-2.61	NM 4	-1.84
	CL 1	-1.36	CL 1	-1.83	Pip 5	-2.67	Pip 5	-3.83
左	pMM 4	1.17	NM 5	0.08	NM 2	-1.68	CL 1	0.50
	NM 5	0.22	pMM 2	-0.10	CL 3	-1.77	mm 3	0.48
	Pip 3	-0.47	Pip 4	-0.27	mm 4	-2.06	pMM 2	-0.64
	mm 2	-0.67	CL 1	-1.05	pMM 1	-2.82	NM 4	-1.55
	CL 1	-0.98	mm 3	-1.06	Pip 5	-3.52	Pip 5	-3.82
subj. E		subj. F		subj. G		subj. H		
	Rank z-score		Rank z-score		Rank z-score		Rank z-score	
右	Pip 4	-0.76	pMM 1	0.43	Pip 2	2.71	mm 3	0.40
	pMM 1	-0.97	CL 2	-0.44	pMM 3	-0.43	NM 5	0.08
	mm 3	-1.47	mm 4	-1.30	CL 1	-1.51	pMM 2	-0.05
	CL 2	-2.21	NM 3	-1.47	NM 5	-2.35	CL 1	-0.06
	NM 5	-2.44	Pip 5	-1.87	mm 4	-2.52	Pip 4	-2.86
左	pMM 1	-0.67	pMM 1	0.34	NM 3	-1.24	NM 5	1.05
	Pip 4	-0.88	NM 3	-0.60	CL 1	-1.52	pMM 2	0.02
	mm 3	-1.67	CL 2	-1.02	mm 4	-2.16	mm 3	0.02
	NM 5	-1.94	mm 4	-1.10	NM 5	-2.41	CL 1	-0.81
	CL 2	-2.61	Pip 5	-1.90	Pip 2	-2.83	Pip 4	-0.86

図7 各被験者の音楽刺激の好きな順番と聴取時における前頭葉の活動量の平均値

6. おわりに

本研究ではfNIRSを用いてMinimal Music聴取時の脳機能計測を行った。その結果、gradual phase shifting processを用いたMinimal Music聴取時には、右前頭葉においてoxyHbが増加することが示された。今回の結果では、mm条件よりもpMM条件でoxyHbが増加した人数が多いことから、Minimal Musicの特徴としてワンフレーズを繰り返すという手法よりもgradual phase shifting processが脳活動に大きく影響することが示唆される。

また、近年「脳を鍛える大人のDS」、「大人の塗り絵」など前頭葉の活動の上昇を目的としたコンテンツが流行している。gradual phase shifting processを用いたMinimal Music聴取時には前頭葉が活性化したことから、本研究で発見した知見はコンテンツ制作に応用できると思われる。

今後は、第1に、gradual phase shifting process効果を検証するために、フレーズの位相のズレる速度を変数とした実験を行う必要がある。第2に、内省報告においてMinimal Musicに対する快とも不快ともいえない意見が述べられていたが、Minimal Music聴取によって喚起される情動について詳細な心理評定を実施する必要がある。第3に、好き・嫌いという情動の喚起は被験者自身に選択させた曲が最も信頼性が高いという報告から¹⁰⁾、刺激は被験者自身に選択させることによって条件間の差異を明確にできる可能性がある。第4に、今回の実験の刺激時間は90秒間と短時

間だったが長時間提示してみるなど提示時間を変えて内省報告と脳活動の変化を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Blood, A. J. et al. : Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2, 382-387. (1999).
- 2) 奥平啓太, 橋田光代, 片寄晴弘 : 音楽における没入感に関する検討—技能の拡張と身体性の視点から—, エンタテインメントコンピューティング, pp. 39-44. (2004).
- 3) 須田一哉ら : f-NIRSによる音楽聴取時の没入感に関する検討, 情報処理学会研究報告音楽情報科学学会 No.2006-MUS-064, pp. 41-46. (2006).
- 4) 青山美由夏ら : SD法による心理計測およびNIRSによる生理計測にもとづく打楽器音楽の感性評価 第7回日本感性工学会予稿集 2005, pp204. (2005).
- 5) 岩坂正和ら : 赤外分光法による脳血流計測を用いた能動・受動的な音楽聴取時の脳活動観察, 情報処理学会研究報告音楽情報科学学会 No. 2007-Mus-069, pp. 1-6. (2007).
- 6) 小沼 純 : ミニマル・ミュージック -その展開と思考-, 青土社 (1997).
- 7) Hiraki Kazuo and Matuda Goh: Sustained decrease in oxygenated hemoglobin during video games in the dorsal prefrontal cortex: ANIRS study of children. *Neuroimage*, 29, 706-711. (2006).
- 8) Hoshi, Y., Kobayashi, N., Tamura, M: Interpretation of near-infrared spectroscopy signals : a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1657- 1662. (2001).
- 9) 岩田 誠: 脳と音楽 メディカルレビュー社 (2001).
- 10) Blood, A, J. et al.: Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, pp. 11818-11823. (2001).