

fNIRS を用いたリズム再生課題における脳活性化の測定

工藤寛子 愛知県中央児童・障害者相談センター
天岩静子 教育科学講座

キーワード：fNIRS, 酸素化ヘモグロビン (oxyHb), リズム, 小脳

1. 問題

近年、「脳トレ」に代表されるように、脳活動を画像として測定する脳機能イメージングに注目が集まっている。脳機能イメージングの主な手法には、脳波、PET、fMRI、fNIRS がある。脳波は、磁気を使って神経活動に伴う微弱な電気信号を計測する方法である。時間分解能に優れており、データを 1 ミリ秒ごとにとることができるという長所がある一方、活動部位の特定には限界がある。PET は放射性同位元素を投与し、放射性同位元素がどこに分布しているかを計測することによって、脳の血流量や糖代謝量を測定し、間接的に脳のどの部分に活動が見られるかを知ることができる方法である。血流の変化のみならず神経活動に伴う代謝を測定できるという長所があるものの、放射性同位元素による被曝の危険性や、時間に伴う活動の変化を測定することはできないという短所がある。fMRI は、電磁波によって脳内の血流の変化を測定するものである。通常 MRI によって解剖学的な構造も同時に画像化できるため、活動部位を正確に特定することができるという長所があり、脳機能イメージングでは、fMRI を使った研究が盛んに行われている (佐藤・牧, 2005)。

fNIRS (Functional Near-Infrared Spectroscopy) は、fMRI と同じように脳内の血流を測定できるものであるが、fMRI が電磁波を用いて血流を測定するのに対して、fNIRS では、頭皮上から照射した近赤外光を使って大脳表面付近の血行動態変化を測定する。動脈血のヘモグロビンと静脈血のヘモグロビンは光の吸収係数が異なる。そこで fNIRS では、送光ファイバから照射した光が受光ファイバでどれだけ検出されるかによって、送光ファイバから受光ファイバの間にある血液の oxyHb (酸素化ヘモグロビン) と deoxyHb (脱酸素化ヘモグロビン) の量を知ることができる。fNIRS は、空間分解能が低いので部位の特定が難しく、脳表だけの測定になるために深部の測定が不可能であるという短所はあるが、データを 100 ミリ秒ごとにとることが可能であり時間分解能に優れていること、頭に装着したフォルダにファイバを取り付けるのみで計測が可能であること、近赤外光を照射するだけなので安全であること、装置がコンパクトで移動可能であること、動きの制限が少ないため動きを伴う課題が可能であること、装置からの騒音がないため聴覚刺激を用いた課題を実施することが可能であることなどの長所がある (島津製作所, 2007a, 2007b)。

音楽の分野でも脳機能イメージングを用いた研究が進められている。その中では、絶対音感などの被験者の能力による活性化の違いを比較したものや、音楽の要素がどの部位で処理されているかを調べたものがある。絶対音感能力について研究したものとして、大西ら (2002) では、絶対音感をもつ人を被験者として絶対音感能力と脳活動の関係を調べた結果、絶対音感能力が高いほど、左側頭平面と左背外側前頭前野の活動が高いことを示した。左側頭平面は言語理解に関係する部位であり、背外側前頭前野は条件づけ学習に重要な役割を果たす領域であるとされている。そのことから、絶対音感は周波数依存の聴覚情報に対して言語ラベルを行う能力であり、その取得は「条件づけ学習」を通じて行われている可能性を示している。

音楽の三要素として、メロディー・ハーモニー・リズムがあげられるが、メロディーやハーモニーから

もリズムの要素を無くすことは難しく、リズムは音楽を形成する最も基礎的なものであると考えられる。リズムに関する脳機能イメージングの研究には、以下のようなものがある。Penhune ら (1998) では PET を用いてリズムの再生課題を行い、小脳や聴覚連合野、前頭葉の腹外側部で活性化が生じ、リズムが複雑なものである場合に活性化が顕著であった。さらに Bengtsson & Ullén (2006) では、fMRI を用いて、ピアニストがピアノを演奏する際にリズムが処理されている部位を調べた。その結果、ブローカ野や小脳が関わっていることを明らかにし、ピアニスト以外の被験者において活性化した部位は、ピアニストでは活性化しなかったことから、被験者の音楽的能力により、活性化の部位に違いがあることを示した。一方、荻阪 (2002) では、他の音楽課題が右半球優位であるのに対して、リズム課題では左半球優位がみられることを指摘した。

楽器を演奏する場合には、腕、手、指の動きが伴う。しかし、これまでのリズムに関する研究は fMRI や PET を用いて行われているものが多く、fMRI や PET の筒の中に入り安静にした状態で計測するという状況では実際の演奏スタイルからは離れてしまうため、実際の演奏に近い状態でデータをとった研究は少ないといえる。また、fMRI は装置の騒音が大きく、音楽を聴くというような聴覚的な課題の場合に、適切なデータが取られているかについては疑問が残る。また、Penhune ら (1998) や Bengtsson & Ullén (2006) では、リズムを演奏する課題で小脳の活性化がみられているが、小脳は動作に関係して働く部位であることから、リズムが小脳の活性化に関係しているのではなく、演奏の「動作」によって生じるものではないかと考えられるが、著者らが検索した範囲では、リズムによるものか動作によるものかを調べた研究はこれまで行われていない。

そこで本研究では、fNIRS を用いて、リズムの再生に関して、被験者のリズム能力および課題の困難さの 2 つの要因が、脳の活性化の程度や部位にどのような違いをもたらすのかを調べるとともに、リズムを再生する時と手の動きのみを行った時では、脳の活性化部位や程度にどのような違いがあるか明らかにすることを目的とする。以下の仮説について検討していく。

- 仮説 1 リズムに関わり小脳、一次聴覚野 (BA41)、二次聴覚野 (BA42,22)、ブローカ野 (BA44)、背外側前頭前野が活性化するであろう (Penhune ら, 1998; 荻阪, 2002; Bengtsson & Ullén, 2006)。
- 仮説 2 能力と活性化については、リズム能力の低い人の方が、リズム能力の高い人よりもリズムを再生する際に高いレベルの活性化が生じるであろう (Bengtsson & Ullén, 2006)。
- 仮説 3 リズムの難易度については、難しいリズムを再生する条件では、簡単なリズムを再生する条件よりも高いレベルの活性化が生じるであろう (Penhune ら, 1998 ; 荻阪, 2002)。
- 仮説 4 小脳の活性化が動きに関するものかリズムに関するものかについては、手の動きのみを行った時よりも、リズムを実際に再生する課題やリズムを聞く課題の方が、小脳において高い活性化がみられるであろう。

2. リズム能力テストの実施

被験者をリズム能力高群・中群・低群に群わけするために、リズム能力テストを実施した。以下、テストの実施方法と手続きを述べる。

被験者 信州大学教育学部、工学部、教育学研究科の学生 29 名 (男性 12 名, 女性 17 名)。

課題 課題は、リトミックで行われているリズムトレーニングをもとに、リトミックの指導者に協力してもらい独自に作成した。

材料 童謡『かたつむり』が歌えるように『かたつむり』の歌詞を印刷した紙と、ビデオカメラを用意した。

手続き 個別に4つの課題を実施し、各課題に3点満点で点数をつけた。

① 『かたつむり』リズム課題

童謡『かたつむり』の歌詞を見ながら歌い、歌と同じリズムで手をたたいた。

② 『かたつむり』裏拍課題

童謡『かたつむり』の歌詞を見ながら歌い、裏拍で手をたたいた。

③ グーパー入れ替え課題

片手をグーにして机をたたき、もう片方の手はパーにして机をこすという動作を同時にリズムよく行ない、実験者の「はい」の合図で左右の動作を入れ替えた。

④ 2拍子3拍子課題

片方の手で2拍子の指揮をして、同時にもう片方の手で3拍子の指揮をした。

採点 それぞれの課題について1~3点で得点をつけた。
採点の結果、4つの課題の合計点は平均8.90点(6-12点)標準偏差1.58となり、分布は図1のようになった。そこで合計点で10点を高群(10人)、8.9点を中群(11人)、7点以下を低群(8人)とした。

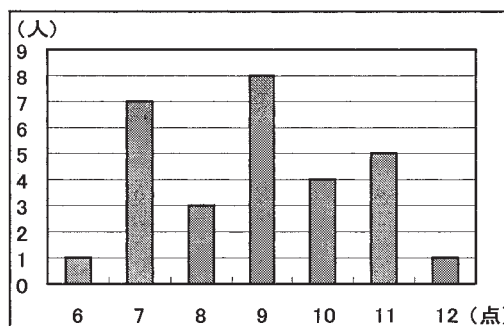


図1 リズム能力テストの合計点

3. 本実験

4種のリズム課題を与え、リズム課題による脳の活性化の程度を、fNIRSを用いて測定した。

被験者 リズム能力テストの結果、高群と低群に割り振られた人を対象とした。高群の1名は都合により実験に参加できなかったため、高群9名(男性3名、女性6名)、低群8名(男性6名、女性2名)が本実験の被験者となった。全員聴覚は正常で、右利きであった。

実験材料 被験者がリズムを再生するためのスネアドラムとバチ、課題を再生するためのパソコンとスピーカー、安静時に視線を安定させるための赤い表紙の本、そして実験の流れを説明する紙を用意した。

刺激 聴覚刺激は、フリーウェアソフト

Finale NotePad 2006を用いて、作成と再生を行った。課題は易条件1~5、難条件1~5で、

合計10種類あり、課題の難易度の差がはっきりするように、易条件では8分音符以

上に細かいリズムは作らず、音の数も1小節に

5つまでとした。難条件では16分音符や3連符、休符を多用し、より複雑なリズムを作った。図2は易条件と難条件の1例である。パソコンによる再生は易条件1、難条件1、易条件2、難条件2のように交互に難易度が変わるように行った。10種類のリズムはどれも1小節で1つのリズムとなっていたが、再生しやすくするために4回連続して流れるようにし、被験者による再生も、リズムを聞いた直後に同様に4回繰り返すように求めた。テンポはJ=120で再生された。リズムはソフト内のpercussionの音を選び、リズムの流れる部分と被験者に再生を求める部分では、percussionのバチの音をメトロノームの代わりとして4分音符で拍をきざむようにし、被験者が再生を始める部分では、合図として実験者がトライアングルを鳴らした。

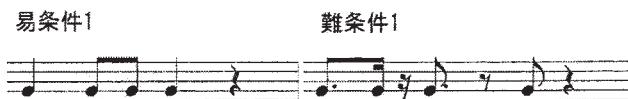


図2 聴覚刺激の例

実験機器 測定には島津製作所製の NIRStation OMM-3000 を用いた。前頭葉、側頭葉、小脳の活動を調べるために、全頭用ホルダーを使い、前頭葉に送光、受光のファイバ各 5 本、左右の側頭葉に送光、受光のファイバ各 4 本、小脳に送光、受光のファイバ各 3 本を配置した。送受光ファイバを交互に配置することでその間の光の反射を測定するため、前頭葉では 13 チャンネル、側頭葉では左右各 10 チャンネル、小脳では 7 チャンネルを測定することができた。チャンネルの配置は図 3 に示す通りであった。fNIRS は fMRI や PET とは違い脳の構造情報を可視化できないため、脳波の電極配置法である 10-20 法を用いてファイバを取り付けた。どの課題もひとつのタスクを 16 秒に設定したので、任意に前レストとタスクと後レストの時間や回数を指定できるタイミングプロトコルの順序指定で、16 秒のタスクが 15 秒のレストにはさまれるように設定した。前レストとタスクと後レストの流れは、単純聞き取り課題では 3 回、再生課題では 10 回が繰り返されるようにした。

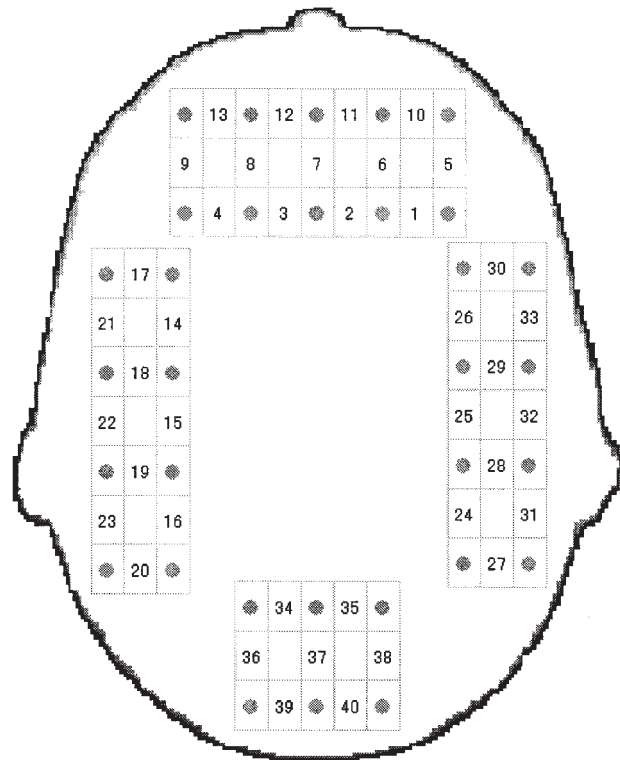


図 3 チャンネルの配置 (●はファイバ)

手順き ①単純聞き取り課題, ②再生課題, ③太鼓なし運動課題, ④太鼓運動課題の順に実施した。

① 単純聞き取り課題 (図 4)

被験者には、レスト時には約 1m 前に置いた本をボーッと見るように指示し、拍をカウントするバチの音のみ、易条件、難条件の順にそれぞれをよく聞いてもらった。易条件と難条件はどちらも 1 小節のリズムを 8 回繰り返し (16 秒間) 聞こえるようにした。

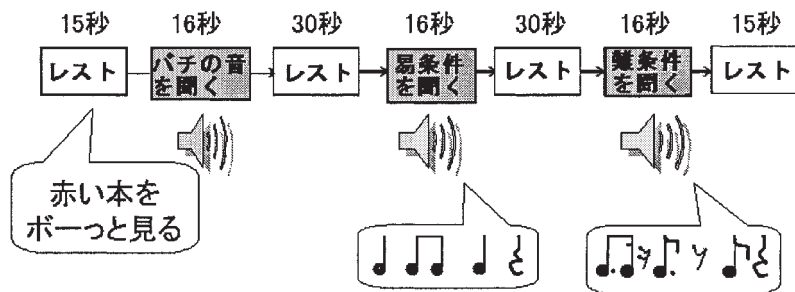


図 4 単純聞き取り課題の流れ

② 再生課題 (図 5)

被験者にスピーカーから流れるリズムを聞いてもらい、聞いた直後に被験者の手前にあるスネアドラムで、聞こえたようにリズムを再生してもらった。易条件も難条件も、1 小節のリズムを 4 回繰り返し (8 秒間) 聞き、その直後にバチのカウント音に合わせて、

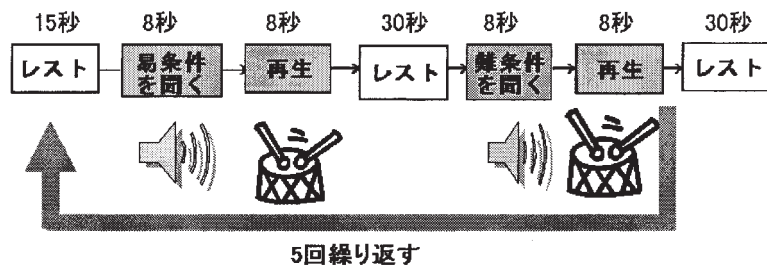


図 5 再生課題の流れ

1 小節のリズムを 4 回繰り返して再生（8 秒間）するように求めた。易条件と難条件は、交互に 5 種類ずつ計 10 種類流れるようにした。また、単純聞き取り課題と同様に各条件の前後に 30 秒間のレストをとった。レストの終わりがはっきりわかるように、易条件と難条件が聞こえる直前の 2 拍にバチのカウント音を入れた。また、被験者による再生の始まりがはっきりわかるように、再生の始まる 1 拍前に実験者がトライアングルを合図として鳴らした。教示のあと練習として、被験者に易条件と難条件それぞれ 1 種類を聞いて再生し、流れを確認してもらった。

③ 太鼓なし運動課題（図 6）

被験者に、15 秒間のレストのあと、実験者の鳴らすトライアングルを開始の合図に、再生課題と同じ程度の速さと強さで、バチを 16 秒間振ってもらった。

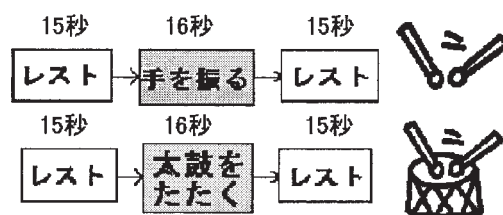


図 6 太鼓なし運動課題・太鼓運動課題の流れ

④ 太鼓運動課題（図 6）

被験者に、太鼓なし運動課題の場合と同様に、再生課題と同じ程度の速さと強さで、太鼓を 16 秒間たたいてもらった。

3. 結果

リズム能力テストの妥当性の検証

リズム能力テストでは、個人のリズム能力を測るために、全体的なリズム感を測る課題を実施した。しかし、リズム能力テストの結果が本実験での再生課題の結果と大きく異なっていたら、妥当性は低いといわざるを得ない。そこで、各被験者の本実験のリズム再生課題結果を得点化し、群ごとに易条件、難条件、全体それぞれの再生課題の得点を t 検定を用いて比較した。リズム能力高群、低群それぞれの易課題平均（25 点満点）、難課題平均（25 点満点）、全体平均（50 点満点）、標準偏差は表 1 のようになった。

表 1 群ごとの再生課題得点の統計量

群	N	易課題平均	標準偏差	難課題平均	標準偏差	全体平均	標準偏差
高群	9	25.00	0.00	15.78	7.55	40.78	7.55
低群	8	22.00	6.23	4.13	6.13	26.13	10.09

t 検定の結果、全体平均については、リズム能力高群と低群では、1%水準で有意に高群の方が本実験のリズム再生課題の得点が高かった ($t(15) = 3.42, p = .004$)。また、課題の難易度ごとに得点をみると、易課題においては高群と低群で有意差はなく ($t(7) = 1.36, p > .10$)、難課題においては全体得点と同様に高群の方が有意に再生課題の得点が高かった ($t(15) = 3.47, p = .003$)。易課題については高群の被験者全員が 25 点（満点）であり、低群についても平均が 22.00 点と高得点であったため有意差はなく、天井効果が生じていると考えられる。難課題と全体得点については高群と低群において 1%水準で有意な差があり、高群の方が低群よりもリズム再生能力が高かったといえるため、リズム能力テストによる群わけは妥当であったと考えられる。そこで、このリズム能力による群わけを用いて本実験の分析を進めた。

データの整理

本実験で得られたデータは、fNIRS のデータ測定開始を示すゼロリセットボタンを押した時の値を 0 とした 0.85 秒ごとの oxyHb 値、deoxyHb 値、totalHb 値であった。しかし、星 (2004) では、oxyHb は血流の増加を反映して増加するが、deoxyHb や totalHb は増加する場合と減少する場合があり解釈が難しいと指摘されていたため、今回の分析では oxyHb 値のみを分析の対象とした。それぞれの被験者で、ノイズ

が入り安定したデータが取れなかったチャンネルは分析の対象外とした。各課題および前レストの加算平均をとり、各課題の平均値から前のレストの平均値を引いたものを、その課題における活性化量として分析に用いた。

分析 1 部位ごとの活性化についての分析

リズムに関わって活性化する部位を調べるため、再生課題の難条件における各部位の活性化を分析した。部位分けは、前頭葉を右前頭葉 (ch1,5,6,10) と前頭極 (ch2,3,7,11,12) と左前頭葉 (ch4,8,9,13), 左側頭葉を左側頭葉前 (ch14,17,18,21) と左一次聴覚野 (ch15,19,22) と左二次聴覚野 (ch16,20,23), 右側頭葉を右側頭葉前 (ch26,29,30,33) と右一次聴覚野 (ch25,28,32) と右二次聴覚野 (ch24,27,31), 小脳 (ch34-40) に分け、それぞれの被験者で各部位に該当するチャンネルの活性化の平均を求め

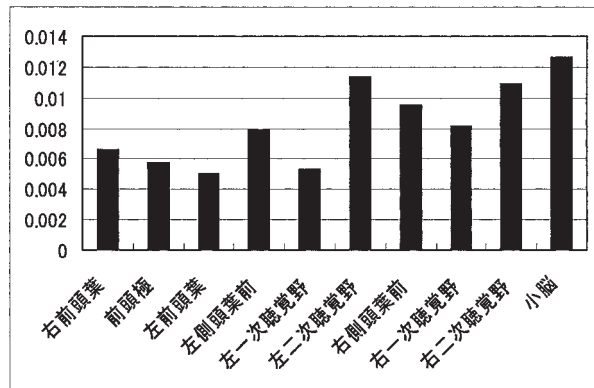


図7 部位ごとの活性化

た。図7は、上記の各部位の活性化の平均値を表したものである。数値は、課題中の値と前レストの値の差になっているので、どの部位も0より高い値を示していることから、活性化したことが認められる。さらに、部位間で平均値の差異があるかどうかを調べるため、分散分析を行なった。その結果、部位の効果は有意ではなく ($F(9, 160) = 1.344, p = .218$), 部位によって活性化に差のないことが示された。

分析 2 リズム能力とリズムの難易度による各チャンネルの活性化の違いについての分析

リズム能力やリズムの難易度がそれぞれのチャンネルの活性化にどのように影響するのかを調べるため、リズム能力 (高群・低群) とリズムの難易度 (易条件・難条件) の二要因分散分析を行なった。

その結果、前頭葉の左側の ch12 ($F(1, 30) = 3.252, p = .081$) と ch13 ($F(1, 28) = 3.289, p = .080$) で交互作用が有意傾向であった。ch12において各要因の単純主効果を分析した結果、高群における難易度の主効果は有意であり、難条件の方が易条件より活性化したが ($F(1, 30) = 5.501, p = .026$), 低群における難易度の主効果は有意ではなかった ($F(1, 30) = 0.042, p = .839$)。また、易条件における群の主効果は有意ではなく ($F(1, 30) = 1.102, p = .302$), 難条件における群の主効果も有意ではなかった ($F(1, 30) = 2.251, p = .144$)。ch13において各要因の単純主効果を分析した結果、高群における難易度の主効果は有意であり、難条件の方が易条件より活性化したが ($F(1, 28) = 6.219, p = .018$), 低群における難易度の主効果は有意ではなかった ($F(1, 28) = 0.047, p = .829$)。易条件における群の主効果は有意ではなく ($F(1, 28) = 1.246, p = .273$), 難条件における群の主効果も有意ではなかった ($F(1, 28) = 2.545, p = .121$)。

交互作用が有意でなかったチャンネルについて主効果を分析した結果、前頭葉においては ch1 ($F(1,30) = 9.262, p = .005$), ch5 ($F(1,30) = 9.827, p = .004$), ch6 ($F(1,28) = 8.473, p = .007$), ch10 ($F(1,30) = 10.199, p = .003$), ch11 ($F(1,28) = 7.444, p = .011$) で難易度の主効果が有意に、ch4 ($F(1,30) = 3.605, p = .067$), ch9 ($F(1,28) = 3.267, p = .081$), で難易度の主効果が有意傾向となり、どのチャンネルでも難条件の方が易条件より活性化した。

左側頭葉においては、ch14 ($F(1,30) = 15.025, p = .001$), ch15 ($F(1,30) = 17.477, p = .000$), ch16 ($F(1,30) = 12.600, p = .001$), ch17 ($F(1,30) = 15.824, p = .000$), ch18 ($F(1,28) = 15.732, p = .000$), ch19 ($F(1,30) = 14.451, p = .001$), ch20 ($F(1,30) = 11.547, p = .002$), ch21 ($F(1,28) = 18.596, p = .000$), ch22 ($F(1,28)$

= 11.014, $p = .003$), ch23 ($F(1,30) = 7.236, p = .012$) で難易度の主効果が有意になり、どのチャンネルでも難条件の方が易条件より活性化した。

右側頭葉では、ch25 ($F(1,22) = 8.997, p = .007$), ch26 ($F(1,24) = 13.217, p = .001$), ch27 ($F(1,20) = 9.171, p = .007$), ch28 ($F(1,18) = 6.276, p = .022$), ch29 ($F(1,30) = 13.188, p = .001$), ch30 ($F(1,30) = 5.563, p = .025$), ch31 ($F(1,28) = 17.084, p = .000$), ch32 ($F(1,30) = 11.859, p = .002$) で難易度の主効果が有意に、ch33 ($F(1,30) = 3.534, p = .070$) で難易度の主効果が有意傾向となり、どのチャンネルでも難条件の方が易条件より活性化した。また、群の主効果についてはch30 ($F(1,30) = 5.701, p = .023$) で有意差が、ch31 ($F(1,28) = 2.837, p = .103$) で有意傾向がみられたが、ch30では低群がより活性化し、ch31では高群がより活性化するという逆の結果となった。

小脳は他の部位に比べ有意差のあったチャンネルが少なく、ch35 で難易度の主効果が有意になり、難条件の方が易条件より活性化し ($F(1,30) = 11.289, p = .002$), ch36 で群の主効果が有意になり、高群の方が低群に比べ活性化した ($F(1,30) = 4.266, p = .048$)。

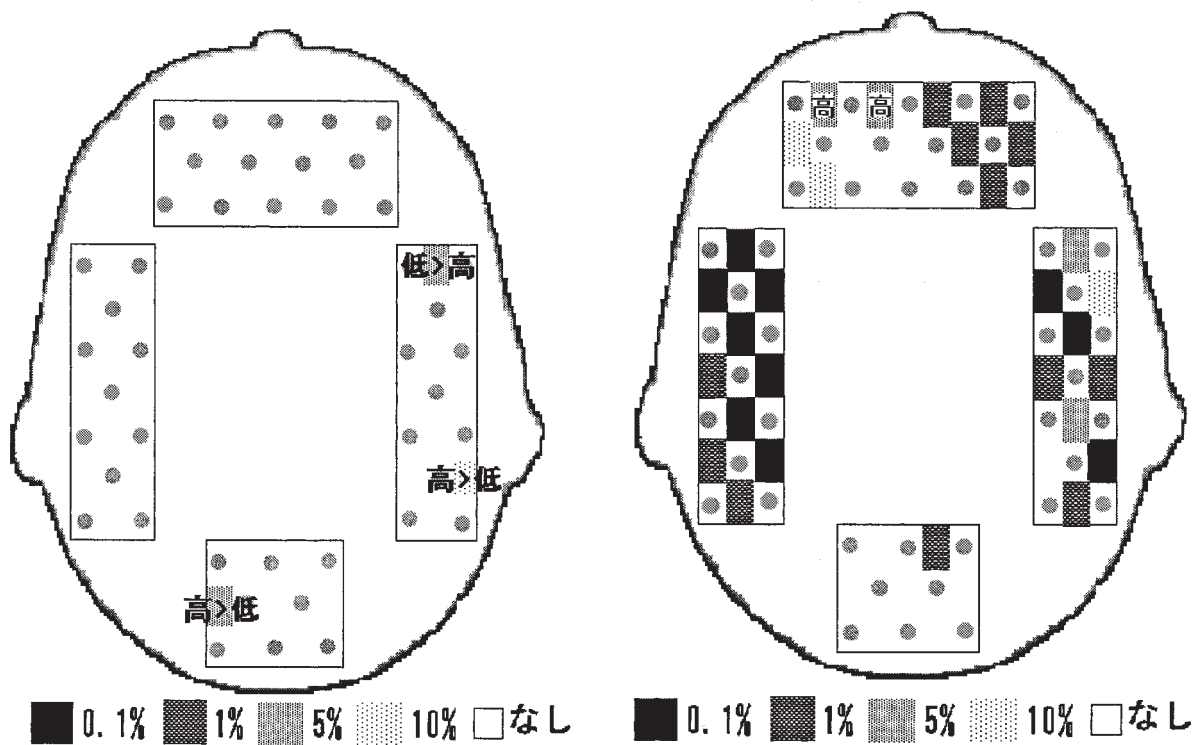


図8 リズム能力による活性化の比較

図9 難易度による活性化の比較

リズム能力についての結果をまとめたものが図8である。ch30, 31, 36を除いては、活性化にほとんど違いがみられなかった。一方、難易度についての結果をまとめたものが図9である。多くのチャンネルで、難条件が易条件に比べて活性化のレベルが高くなることが明らかになった。

分析3 課題による活性化の違いについての分析

リズムの再生課題 (易条件, 難条件), 単純聞き取り課題 (易条件, 難条件), 太鼓なし運動課題, 太鼓運動課題で活性化に違いがあるかを調べるため、一要因の分散分析を行なった。分散分析の結果、前頭葉では課題の効果がch2 ($F(5,48) = 2.629, p = .035$) で有意に、ch3 ($F(5,42) = 2.396, p = .053$) とch7 ($F(5,42) = 2.281, p = .064$) で有意傾向となった。TukeyのHSD法による多重比較の結果、ch2では、

再生課題の難条件が、太鼓運動課題より高い傾向があり（10%水準）、さらに太鼓なし運動課題より 5%水準で有意に高くなった。ch3 では、再生課題の難条件が太鼓なし運動課題より高い傾向を示した（10%水準）。ch7 では、再生課題の難条件が太鼓運動課題より 5%水準で有意に高い値を示した。

左側頭葉では ch18 のみで課題の効果が有意となった ($F(5, 42) = 2.770, p = .030$)。同様に Tukey の HSD 法による多重比較をした結果、再生課題の難条件が再生課題の易条件より 5%水準で有意に高い値を示した。

右側頭葉では課題の主効果が ch26 ($F(5, 42) = 2.961, p = .022$) で有意に、ch30 ($F(5, 48) = 2.200, p = .070$) で有意傾向となった。Tukey の HSD 法による多重比較の結果、ch26 では、再生課題の難条件が再生課題の易条件より 5%水準で有意に高く、単純聞き取り課題の易条件より高い傾向があった（10%水準）。ch30 では、再生課題の難条件で太鼓なし運動課題より高い傾向が見られた（10%水準）。

小脳では、ch34 のみで課題の効果が有意傾向であった ($F(5, 42) = 2.237, p = .068$)。Tukey の HSD 法による多重比較の結果、太鼓運動課題で単純聞き取り課題の難条件より 5%水準で有意に高い値を示した。

上記の分析結果をまとめたものが図 10 である。この分析から、前頭葉の中心部分（前頭極）と右側頭葉の前部のみにおいて、再生課題が運動課題に比べ活性化することが明らかになった。

分析 4 リズムと運動の要因に分けた分析（小脳）

分析 3 において、小脳では ch34 のみで、運動課題の方が聞き取り課題より有意に活性化した。さらに仮説 4 の検証を進めるため、リズムと運動の要因に分けた分析を行なった。再生課題は、聞こえてきたリズムを太鼓を使って同じように再生するという課題であった。そこで再生課題から太鼓運動課題の値を引いたものをリズムの値、再生課題から単純聞き取り課題を引いたものを運動の値とした。太鼓なし運動課題も運動だけを行なわせるものであったが、分析 3 において、太鼓運動課題と太鼓なし運動課題の間に有意差のあるチャンネルはほとんどなかったため、今回は、より再生課題の運動に近い太鼓運動課題を分析に用いた。易条件と難条件は区別したので、リズム難条件、リズム易条件、運動難条件、運動易条件についての分散分析を行なった。

その結果、小脳では ch34 のみで課題の効果が有意であった ($F(3, 28) = 3.521, p = .028$)。Tukey の HSD 法による多重比較の結果、運動難条件がリズム難条件より 10%水準で、リズム易条件より 5%水準で有意に高い傾向を示した。この分析から、再生課題においては、リズムの要因よりも運動の要因による活性化の方が大きいことが明らかになった。

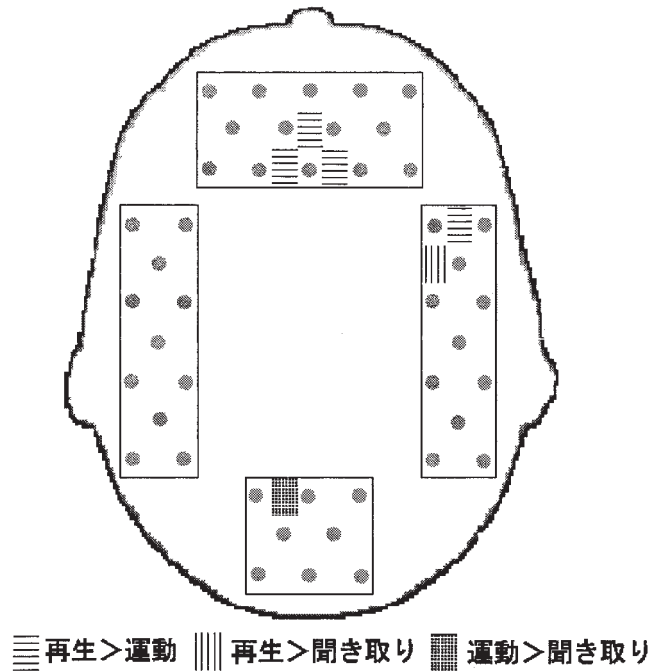


図 10 課題による活性化の比較

4. 考察

本研究の目的は、fNIRS を用いて、リズムの再生に関して、被験者のリズム能力と課題の困難さの 2 つの要因が、脳の活性化の程度や部位にどのような違いをもたらすかを調べるとともに、リズムを再生する時と手の動きのみを行った時では、脳の活性化部位や程度に違いがあるかどうかについて明らかにすることであった。それぞれの仮説について以下に述べる。

仮説 1 について

「リズムに関わり小脳、一次聴覚野 (BA41)、二次聴覚野 (BA42,22)、ブローカ野 (BA44)、背外側前頭前野が活性化する」という仮説をたてた。どの部位についてもある程度の活性化が見られたため、仮説は支持されたといえる。しかし、レスト時と比べて、どの程度の差がある場合に活性化がみられると判断できるかについては、さらに検討が必要である。

仮説 2 について

被験者の能力については「リズム能力高群と低群では低群のほうが高い活性化がみられる」と仮説をたてた。分析 2 の結果、群による差は見られなかったため、仮説は支持されなかった。大西ら (2002) など先行研究では、被験者を音楽家と正規の音楽教育を受けていない群というように群わけしていたが、本研究の被験者は、そのほとんどが音楽を専門にしている人ではなかった。そのため、高群と低群間の差が少ない状態になってしまったことが考えられる。

仮説 3 について

リズムの難易度については「難しいリズムを再生する条件では、簡単なリズムを再生する条件よりも高いレベルの活性化が生じる」という仮説をたてた。分析 2 の結果から、多くのチャンネルで易条件より難条件で有意に高い活性化がみられた。部位としては右前頭葉、左側頭葉、右側頭葉で難条件の方がより高い活性化が生じていた。前頭葉は右のみ難条件と易条件で有意差があった。前頭葉の活性化についてはワーキングメモリーとの関連を指摘した研究があり (Penhune ら, 1998)、難条件の方がワーキングメモリーの負荷が大きくなったため、このような結果が出たのではないかと考えられる。

側頭葉については左右どちらも有意差がでていたが、左右を比べてみると左側頭葉の方が有意差の出たチャンネルの数が多く、有意水準もすべてのチャンネルが 1%以下であり、難易度による差が大きかったと考えられる。先行研究ではリズムに関して左半球有意が指摘されており、リズムによる負荷が高まることによって左側頭葉の方が活性化したということは、先行研究と同様に左半球がリズム優位であったことを示している。それではなぜリズムは左優位で処理されるのであろうか。大西ら (2002) では、絶対音感能力が高いほど左側頭平面の活動が高いことについて、絶対音感が聴覚情報に対して言語ラベルを行う能力であることと関連づけて説明しているが、リズム課題にも同じことが言えるのではないかと考えられる。絶対音感を持たない人にとって、メロディーやハーモニーの情報は言語に置き換えて処理することが難しいものであるが、リズムは特別な能力を持たない人でも「タンタタンタン」というように、聞こえたままを言語で処理することが容易である。そのためリズムについては言語による処理がなされ、そのために左側頭葉が右側頭葉に比べ優位となり、さらに難条件の方が言語情報が複雑になるために活性化が生じたと考えられる。また、前頭葉と同様に側頭葉にもワーキングメモリーと関わる部位があるとされており、ワーキングメモリーによる活性化も考えられる。

小脳において有意差があったチャンネルは 2 つのみで、難易度による差はほとんどなかったといえる。しかし、難条件の値も易条件の値も他の部位に比べて特に低いというわけではなかったため、小脳は難易度に関わらず働いていると考えられる。

以上により、右前頭葉、側頭葉において「難しいリズムを再生する条件では、簡単なリズムを再生する

条件よりも高いレベルの活性化が生じる」という仮説は支持された。

仮説 4 について

次に「リズムを再生する動きのみをした時よりも、リズムを実際に再生する課題やリズムを聞く課題のほうが高い活性化がみられる」という仮説について検討した。小脳について調べることがこの分析の中心であったが、分析 3, 4 とともに ch34 で動きが有意に高くなる結果が出た以外に有意差はなかった。ch34 以外では、リズムの要素より運動の要素の方が高くなるというような結果も出なかったため、小脳とリズムの関係がないといえる結果ではないものの、小脳とリズムの関係はまだ検討が必要である。分析 3 では、前頭葉の中心部分の ch2, ch3, ch7 で、再生課題の難条件が太鼓運動課題や太鼓なし運動課題より高い値を示した。これらは前頭極にあたる部分であり、Penhune ら(1998)の研究でも、リズムを再生する課題で活性化がみられている。前頭葉には感覚情報を統合して実際の行動に移すという働きがある(永田, 2003)ので、前頭極の活性化はこのような働きによるものではないかと考えられる。再生課題がリズムを聞くことと手を動かすことから構成されていると考えて分析 4 を行なったが、実際に再生することを考えて聞いている時と何も考えないで聞いている時では聞き方も変わってくるため、適切に要素を分けられていない可能性もある。以上から仮説 4 は前頭極においては支持されたものの、小脳など他の部位においては支持されなかった。

今後の課題

実験で得られたデータの中に、タスクより前レストの oxyHb 値の方が高くなっていて、タスクから前レストを引いた値がマイナスになっているものがあつた。このような現象は特に易条件で多かった。課題の呈示順序が易条件と難条件で交互になっていたため、難条件で値が高くなり、十分に値が下がりきらない状態で次の前レストに入っていたために、易条件の値よりも前レストが高くなってしまったことが予想される。レストをもっと長くして測定をするべきであったと考えられる。

また、小脳とリズムの関係についてはさらに研究が必要である。本研究では、再生課題を単純聞き取り課題と太鼓運動課題で成り立っているとして分析をすすめているが、他にも要素がある可能性がある。ワーキングメモリーなど他の要素も加えてさらに検討していく必要があると思われる。

引用文献

- Bengtsson, S. L. and Ullén, F. (2006). Dissociation between melodic and rhythmic processing during piano performance from musical scores. *Neuroimage*, 30, 272-284.
- 星 詳子(2004). NIRS による機能画像と統合失調症 臨床精神医学, 33(6), 773-778.
- 永田和哉(監)・小野瀬健人(2003). 脳とココロ かんき出版.
- 大西 隆・平形真希子・松田博史(2002). 音楽学習の fMRI 脳の科学, 24, 933-940.
- 荻坂満里子(2002). 音楽情報処理の神経基盤 脳の科学, 24, 901-906.
- Penhune, V.B., Zatorre, R.J., and 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.
- 佐藤大樹・牧 敦(2005). 光による脳機能イメージング: 光トポグラフィ 認知科学, 12(3), 296-307.
- 島津製作所(2007a). 配布資料 近赤外光イメージング装置: OMM-3000 シリーズについて 2007年2月
- 島津製作所(2007b). 配布資料 近赤外分光法による脳機能計測 2007年4月

(2008年5月8日 受理)