

この人は今どの会話を聞いているのか？ - 聴覚的な注意集中の測定法 -

高橋 雅治

研究のねらい

我々は、他者の心の中を覗くことができない。だが、他者のふるまいを細かく観察すれば、他者の心のある程度推察することはできる。たとえば、ある人の表情やしぐさ、呼吸や発汗の様子、あるいは、視線の動きなどを詳細に測定することで、その人が今心の中で何を行っているかのある程度知ることができる。

実際、視覚についての研究では、人間の眼球運動を測定する手法がすでに確立され、様々な研究に使われてきた。たとえば、この手法を用いて、様々な図形や絵を見せたときの乳児の視線を測定することにより、乳児が生まれつきどのような視覚刺激に興味を示すか、という問題を研究することができる。また、この手法を将棋をさしている棋士に適用すれば、その棋士がどの情報に注意を向けているかを分析することも可能である。

ところが、人間のもうひとつの重要な感覚である聴覚については、視覚における眼球運動測定法のような手法が確立されていないため、「ある人が今どの音を聞いているのか」をリアルタイムに知ることはできない。この手法が開発されれば、視覚における眼球運動研究と同様の研究を聴覚においても行うことが可能となる。言い換えれば、眼球運動測定法が人間の認知機能に関する認知科学研究や工学的研究にもたらした研究上の恩恵と同様のものを、聴覚研究においても行うことが可能となるのである。そこで、本研究では、「人間がある瞬間にどの音を聞いているのか」を行動的に測定する技術を開発することを目的とした。

研究計画は次の通りであった。

- (1) 人間が聴覚刺激に注意を向けるとき、頭部をわずかに動かすことが知られている。そこで、このような頭部運動を精密に測定することで、「被験者がどの聴覚刺激に注意を向けているか」を頭部運動から推定する方法を開発する。
- (2) 人間がひとつの聴覚刺激に注意を向けるとき、注意を向けている刺激は明瞭に聞こえ、注意を向けていない刺激は不明瞭に聞こえることが知られている。これはカクテル・パーティー効果と呼ばれている。そこで、このような主観的聞こえに相当する物理的的刺激操作を解明する。
- (3) 上記の(1)と(2)を組み合わせることで、被験者の頭部運動に連動して、主観的聞こえの変化に相当する物理的的刺激操作を行うことで、被験者が注意を向けていない刺激から情報を得ていないことを保証する技術を開発する。これを聴覚的注意の測定法として確立する。
- (4) 上記の(3)の手法を聴覚に関する認知神経科学研究に応用することで、本手法の有用性を証明するとともに、その流布をはかる。

研究の成果

(1) 選択的聴取時の頭部運動の測定

我々は、視覚刺激に注意を集中する時に、頭部や眼球を動かす。その理由は、視野の中には、視力

が高い（細かな部分が見えやすい）所と、視力が低い（見えにくい）所があるからである。実験を試みればすぐにわかることだが、通常、視野の周辺では視力が低く、視野の中心部では視力が高い。そのため、ある刺激に注意を向けようとするとき、我々は、その刺激が視野の中心にくるように頭部や眼球を動かすのである。

一方、聴覚の場合はどうであろうか。視覚の場合とは異なり、聴覚刺激は頭部を回り込んで伝播する。そのため、視覚の場合には後方から提示される刺激を見ることができないが、聴覚の場合には、前方のみならず、後方から聞こえる刺激も聞き取ることができる。実際、多くの会話が同時に聞こえるパーティー会場においては、視覚における頭部や眼球の運動に相当するようにはっきりとした行動を行わなくても、前方から聞こえてくる会話のみならず、後方から聞こえてくる別の会話にもまた注意を向けることができる。このことは、聴覚には視覚の場合に見られるほどの明確な指向性はないことを意味している。

しかし、我々の耳は集音器の形状をしているので、眼球ほどではないとしても、ある程度の指向性を持っていることが知られている。また、聴覚刺激が我々の頭を回り込んで伝播するときには、高い音（2000Hz以上の音）ほど回り込みにくいいため、音を聞き取りやすい方向が存在する。

加えて、2つの耳は空間的に離れているので、音の聞こえる方向により、両耳に到達したときの音量差と位相差が異なる。これらの音量差と位相差は、複数の聴覚刺激の中から一つを選び出すための重要な手がかりとなっていることが知られている。従って、もっとも聞き取りやすい音量差と位相差を生み出す音源の方向が存在することが予測される。

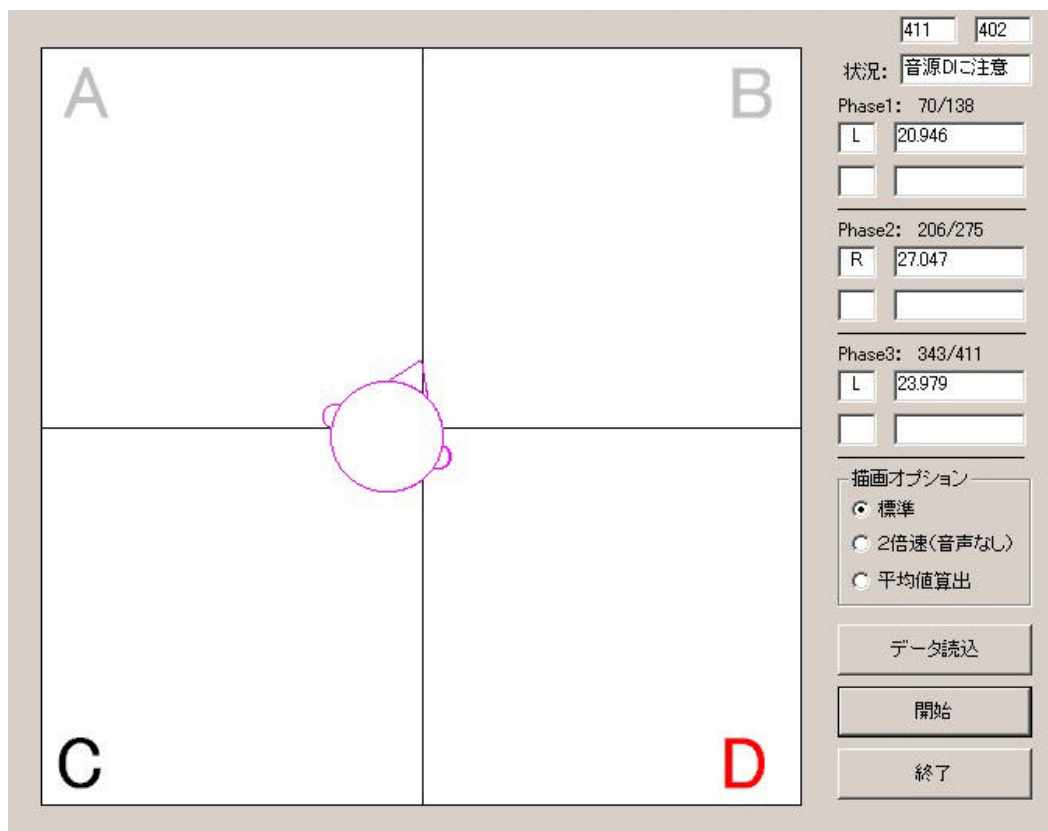


図1 本研究で開発された頭部運動測定システムのディスプレイ表示部分の例

これらの考察から、人間がある聴覚刺激に注意を向けるときには、犬やウサギほどではないとしても、音源と両耳の位置関係を微妙に変えることで聞き易さを改善している可能性はある。そこで、選択的聴取を行っている人間の頭部運動を系統的に分析する研究が行われた。

実験装置として、防音室、位置センサー、聴覚刺激提示装置が購入され、複数の防音室内で複数の聴覚刺激を提示し、被験者がそのひとつに注意を向けているときの自発的頭部運動を測定するシステムが開発された（図1を参照）。

このシステムは、複数の聴覚刺激を異なる音源（図のA, B, C, D）から提示しながら、被験者の頭部の動きを磁気を用いた位置センサーにより測定し、その動きをコンピュータディスプレイ上にリアルタイムに表示する。図1では、後方の2方向（図のCとD）から提示され、被験者がその一方（Dから提示されている朗読刺激）に注意を向けている時の頭部運動が表示されている。

このシステムを用いて、聴覚刺激の種類（俳優による文学作品等の朗読刺激、英会話のテープ、合成音声による朗読刺激等）、提示方向、提示音量等を操作した実験が繰り返行われた。これらの実験では、2つの朗読刺激を前方の2つ、後方の2つ、左右の2つ等のスピーカーから提示し、その中のひとつを選択的に聴取している場合の被験者の頭部運動が位置センサーにより測定された。その結果、以下の興味深い事実が得られた。

人間は、選択的聴取時に頭部運動を自発することが多い。

その際の頭部運動は、聴覚刺激が提示されている方向によって、特徴的なパターンを示す。

前方から提示される刺激に対しては、注意を向ける刺激の方向に顔を向けるか、あるいは、頭部をスピーカーに近づける傾向がある。

後方から提示される刺激に対しては、注意を向ける刺激の方向に片方の耳を向けるか、あるいは、頭部をスピーカーに近づける傾向がある。

刺激が前後から提示される場合には、上記のとを組み合わせた頭部運動が起こる。

頭部運動を示さない被験者もいる。そのような被験者は注意集中課題の得点が低い。

これらの結果から、人間は、他の動物と同様に聴覚刺激の提示方向と外耳の位置関係を動的に変化させているという知見が得られた。このことから、人間の選択的聴取を行動的に測定するために、被験者の頭部運動を利用することの妥当性が確認された。

（2）選択的聴取時の主観的な聞こえの測定

複数の聴覚刺激が同時に提示されている場面において、人間はその中のひとつの聴覚刺激を選んでそれを明瞭に聞き取ることができる。この現象はカクテル・パーティー効果と呼ばれている。聴取している聴覚刺激がそれ以外の聴覚刺激に比べてより明瞭に聞こえるということは、聴覚情報の処理過程において、被験者が特定の刺激を選択的に取り出すなんらかのフィルターを用いていることを示唆している。

そこで、このような選択的聴取にともなって生じる主観的な聞こえの変化、すなわち、「聴取している刺激が明瞭に聞こえ、それ以外の刺激が不明瞭に聞こえる」という主観的な聞こえの変化を、心理学的な手法を用いて解明する一連の実験が行われた。

複数の実験用コンピュータが導入され、以下の一連の実験に用いられた。まず最初に、ヘッドフォ

ンを用いて被験者に2つの朗読文を同時に聞かせた。被験者には、一方の追唱 (shadowing ; 一方の耳から聞こえた内容をそのままオウム替えしに話すこと)を行ってもらい、その際の左右の朗読文の主観的な聞こえ(すなわち、「追唱している方の聞こえ方」と「追従していない方の聞こえ方」)を記憶することを要求した。

次に、被験者が記憶している主観的な聞こえを物理的的刺激操作に置き換えるために、以下のテスト場面が提示された。テスト場面では、追従を要求された刺激はそのまま提示され、追唱を要求されなかった方の聴覚刺激はイコライザーにより音質を物理的に変化させて提示された。被験者はそれら2つの刺激に対して等しく注意を向けて、それらの聞こえ方が先ほどの選択的聴取場面における2つの刺激の聞こえ方とどれほど似ているかを0点から10点の点数で答えることが要求された。

このような試みはこれまでに行われていないため、どのような音質変化が主観的聞こえの変化に相当するのかが、まったく手探りの状態であった。そこで、今回は、イコライザーにより高音部または低音部がカットされた刺激、および、音量が全体的に低下された刺激を用いた一連の実験が行われた。実験の結果、被験者により、高音をカットした刺激が注意を向けていない刺激の主観的な聞こえに近い場合、低音をカットした刺激が注意を向けていない刺激の主観的な聞こえに近い場合、さらに、音量低下が注意を向けていない刺激の主観的な聞こえに近い場合が見られた。従って、主観的聞こえについては個人差が激しく、一般的な結論を出せないことが示され、これら一連の実験は失敗に終わった。

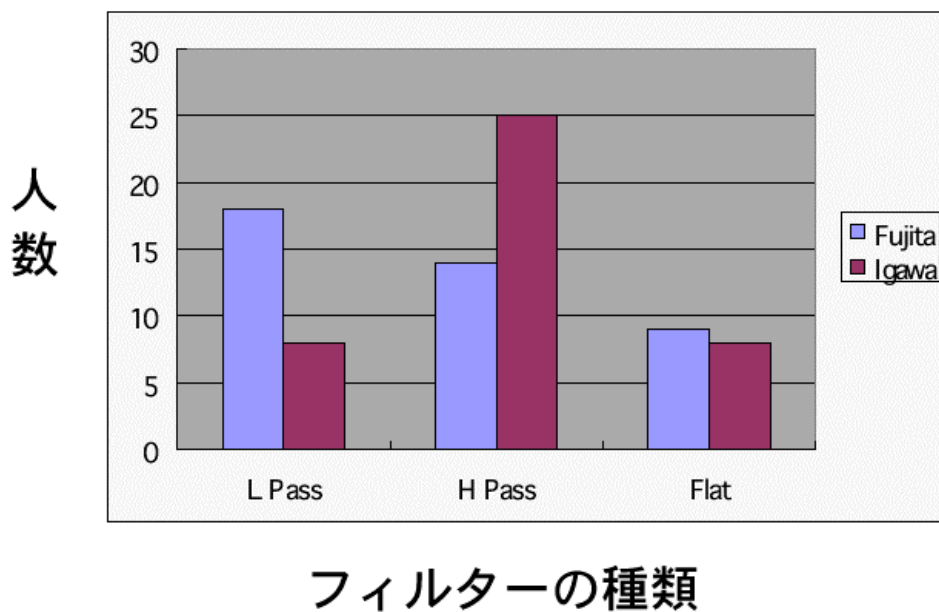


図2 カクテル・パーティー効果がローパスフィルター、ハイパスフィルター、および、音量低下に相当すると答えた被験者の人数。それぞれのフィルターに相当すると答えた被験者の人数を文章刺激を朗読した俳優ごとに示した。

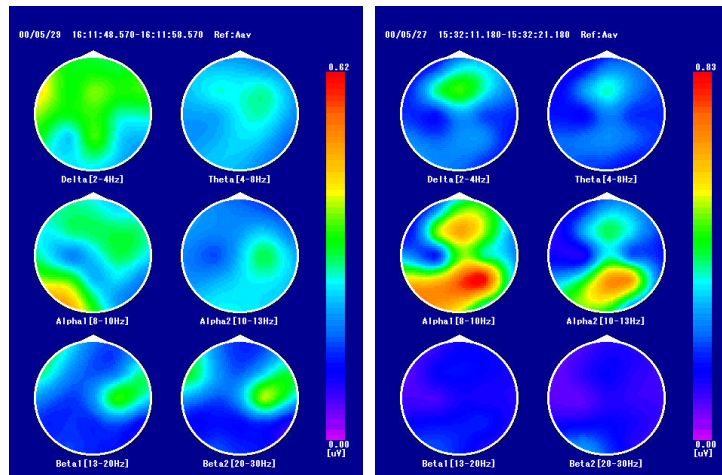


図3 同時に提示された2つの文章朗読の中のひとつを選択的に聴取しているときの2人の被験者の脳波。各図において、上段左はデルタ波、上段右はシータ波、中段の右と左はアルファ波、花壇はの右と左はデルタ波を表す。右の被験者ではアルファ波が見られる(中段の2つのデータ)が、左の被験者では明確なアルファ波が見られない。

そこで、このような個人差の原因を探るために、脳波計が購入され、複数の聴覚刺激の中のひとつを選択的に聴取している場合の脳波の測定が行われた。脳波についての従来の研究から、注意集中時には顔面の額の中央上部付近(前頭正中部)にシータ波と呼ばれる脳波が出現することが知られている。このような注意集中時に特有のシータ波は、Fm 波(frontal midline theta rhythm; 前頭正中部シータ波)と呼ばれている。また、特定の精神活動を行っていない安静時には、アルファ波と呼ばれる脳波が主に後頭部に出現することが知られている。そこで、これらの脳波に基づいて、各個人の注意集中の程度を測定することで、注意集中に伴う主観的聞こえの変化における個人差の原因を解明することが期待された。

実験では、被験者が2つの聴覚刺激中の一方を自発的に聴取している場面における脳波の変化が測定された。その結果、選択的聴取時に前頭葉に注意集中を示す波が明確に出現する被験者と出現しない被験者がいること、および、選択的聴取時に後頭部にアルファ波が出現する被験者と出現しない被験者がいることが示された。

しかし、Fm 波やアルファ波の出現パターンと主観的聞こえの個人差の間には、明確な関係が見いだされず、注意と脳波についての科学的知見は得られたものの、脳波を用いて主観的聞こえのフィルターを開発する試み自体は現時点では成功していない。

(3) 選択的聴取を行動的に測定する装置の開発

上記の研究から、被験者がひとつの聴覚刺激に注意を向けている時には、特徴的な頭部運動を自発することが示された。しかし、選択的聴取に伴う主観的聞こえの変化(カクテル・パーティー効果を実現する刺激操作)の解明は失敗した。そこで、発想を逆転し、最初に被験者の自発的な頭部運動に伴って注意を向けてない方の刺激を何通りかに操作する装置を開発し、それを装着して選択的聴取を

行ってもらったときの注意集中の自然さを被験者に評定してもらう研究を遂行中である。

これまでの実験では、被験者が頭部運動を自発した場合、左右の外耳を結ぶ直線と2つのスピーカーを結ぶ直線が交差する角度等の関数として（図4を参照）、注意を向けていない方の聴覚刺激の音量を低下させる装置が開発された。これは、選択的聴取を行動的に測定するシステムのひとつの雛形である。

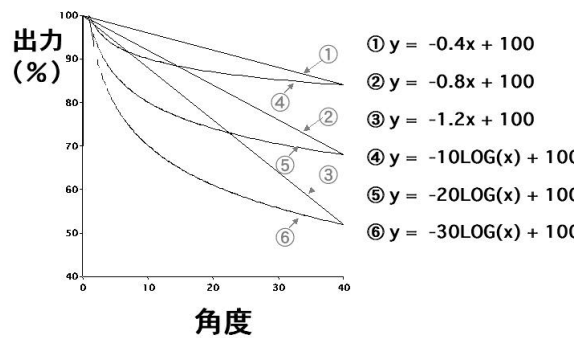


図4 前方及び後方から2つの聴覚刺激が提示される場合に、左右の耳を結ぶ線分と2つのスピーカーを結ぶ線分がなす角度の関数として、一方の聴覚刺激の音量を低下させるための各種関数。

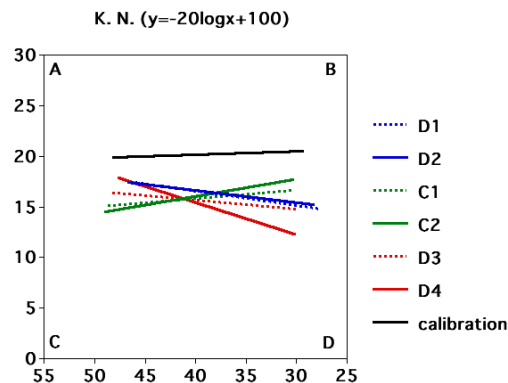


図5 頭部運動により注意を向けていない朗読刺激の音量が低下する装置を装着した時の頭部運動。図中の直線は、被験者の真上から見た場合の、左右の外耳を結ぶ線分を表す。最初の15秒間はD（右後方）の方向から提示される刺激に注意を向け、次の15秒間はC（左後方）の方向から提示される刺激に注意を向け、最後の15秒間は再びD（左後方）の方向から提示される刺激に注意を向けるように教示されていた。図中のD1とD2は最初の15秒間の前半と後半のデータ、C1とC2は次の15秒間の前半と後半のデータ、D3とD4は最後の15秒間の前半と後半のデータを表す。朗読が右後方から聞こえるときは右の外耳を右後方に向け、朗読が左後方から聞こえるときは左の外耳を左後方に向ける傾向が見られる。

この装置を装着して、2つの朗読刺激の一方に注意を向ける実験が行われた。その結果、ほとんどの被験者は、音量低下関数の差異にかかわらず、「頭部運動に連動して注意を向けていない方の朗読刺激の音量が低下する」というこの装置の仕組みに気づかず、「今回はよく注意を集中できた」とい

う感想を示しただけであった。加えて、この装置を装着した場合には、注意集中に伴って明確な頭部運動

を示した（図5を参照）。

このシステムは、音量を操作するのみの単純なシステムであり、主観的注意集中を実現するフィルターの部分に多大なる改良の余地が残されているが、今後蝸牛フィルター等の知見を利用して、被験者にとってより自然なフィルターを導入することにより、実用的で市販可能な装置に拡張することができよう。

（４）認知神経科学研究への応用

新しい技術を流布させるためには、その応用例を提示する必要がある。本研究により開発された選択的聴取測定技術は、視覚における眼球運動測定装置と同様に、きわめて幅広い応用が可能である。たとえば、視覚研究では、人は2つの視覚刺激のどちらに注意を向けるかという問題が研究されてきた。この問題を聴覚に拡張すれば、人は2つの聴覚刺激のどちらに注意を向けるか、という研究を行うことが可能である。

また、視覚に関する認知神経科学研究では、眼球運動を統制することで、視覚的注意を実現する脳内機構についての研究が数多く行われてきた。従って、本研究で開発された技術により聴覚的注意を統制することで、聴覚的注意についての認知神経科学研究を行うことができる。

加えて、本研究プロジェクトの一環として、選択的聴取時の主観的な聞こえを測定する実験を行った結果、主観的聞こえについては個人差が大きく、データに一貫したパターンが得られなかった。この問題を解決するために行われた脳波研究においても、選択的聴取時の脳波パターンは被験者によって大きく異なることが示された。これらの結果は、選択的聴取を行っている時の脳内活動には個人差があることを示唆している（このような考え方は、文章刺激を聴取している時の脳内活動には個人差が大きいことを示した過去のPET研究の結果と一致する）。従って、本装置を認知神経科学研究に応用することで、聴覚的注意の個人差についての知見が得られることで、主観的聞こえフィルターの開発が促進されることも期待される。

幸い、最近になって、被験者が頭部を自由に動かすことができる状態で脳の活動を測定する光トポグラフィー装置が開発され、様々な認知神経科学研究に用いられるようになってきた。この装置は、近赤外線を頭皮から照射し、その反射光量から大脳皮質付近の酸化ヘモグロビンと脱酸化ヘモグロビンの量を測定することで、大脳皮質各部位の活動を解析する装置である。

そこで、光トポグラフィー測定装置を用いて選択的聴取を含むいくつかの行動を行っている場合の脳内の血流量の変化を測定する研究が行われた。実験はすべて終了していないが、聴覚的情報処理に関しては、現時点で以下の知見が得られている。

印刷された文章刺激を朗読している場合、聴覚連合野、ブローカ野、および、ウェルニッケ野で酸化ヘモグロビンが増加する。

記憶を頼りに話をする場合（「大学からJR旭川駅まで移動する方法」を説明することを求める場合等）には、聴覚連合野、ブローカ野、および、ウェルニッケ野で酸化ヘモグロビンが増加する。

純音刺激を信号刺激とする信号検出課題を行っているときと比べて、無意味文と有意味

文を同時に提示して有意味文のみに注意を向けさせる（有意味文の提示される方向が変化したことをスイッチ押しにより報告することを求める）課題を行っている時の方が、ウェルニッケ野において酸化ヘモグロビンの増加を示す被験者がいる。だが、この現象については個人差が大きい。

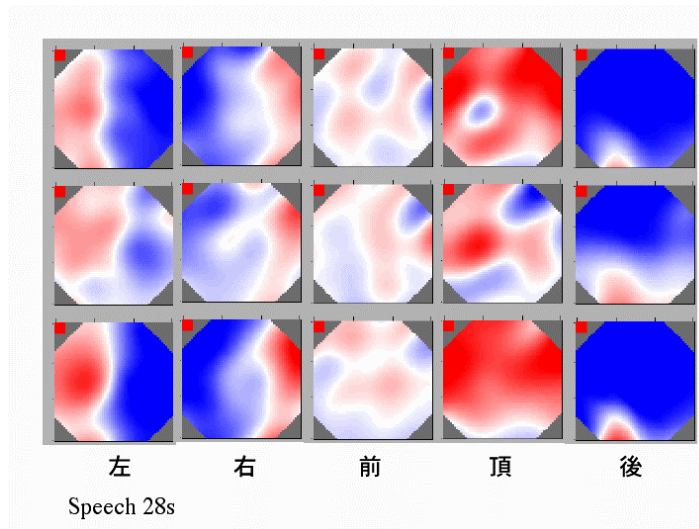


図6 有意味文と無意味文を用いた聴覚的注意集中課題における脳内血流量の変化。上段は酸化ヘモグロビンの変化量、中段は脱酸化ヘモグロビンの変化量、下段はそれらを加えた値を表す。各列の図は左から、左側頭葉、右側頭葉、前頭葉、頭頂葉、および、後頭葉のデータを表す。各図では、赤い部分ほど血流量が増加したことを表している。

聴覚的注意集中課題では、視覚的注意集中課題の場合と同じように、頭頂葉の注意集中に関与する部位の血流量が増加する（図6を参照）。

被験者が一方の聴覚刺激を選択的に聴取しているときには、反体側の聴覚野の血流量が増加する（図7を参照）。

これらの知見は、従来の認知神経科学研究の結果と一致する。特に、朗読する、話す、有意味文を追従する等の言語活動を行っている時には、脳内の様々な部位が同時に活動すること、および、どの部位が活動するかについては個人差が見られることは、PET等を用いた言語処理に関する研究の結果と一致する。

このことは、光トポグラフィー測定装置は、選択的聴取の個人差を解明する上で有用であることを示唆している。そこで、現在は、注意集中の指標となる脳内部位を同定するための実験を行っている。

今後の展開

本研究により、選択的聴取を行動的に測定するシステムの雛形が完成された。この装置は、2つの聴覚刺激が低音量で聞こえる場面において、被験者が選択的聴取に特有の頭部運動を示すと、それに

連動してあたかも一方に注意を集中しているような聞こえの変化を物理的に起こすシステムであった。

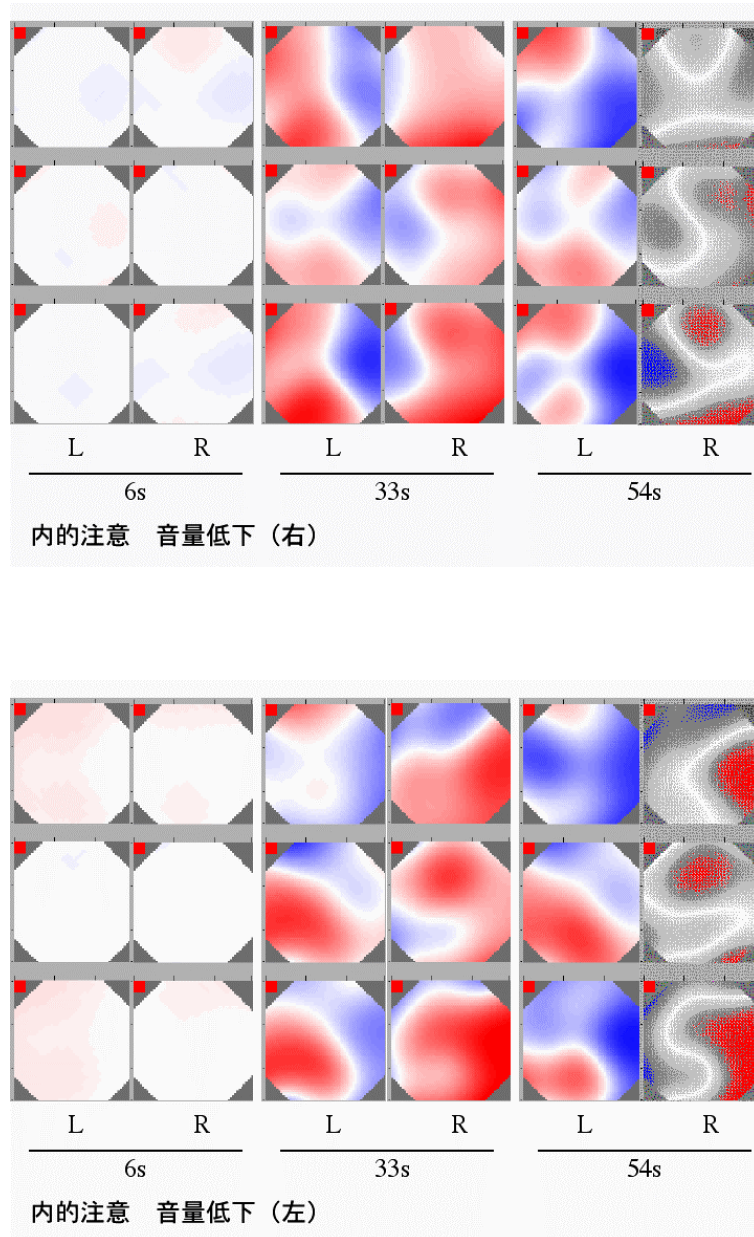


図7 左右のヘッドフォンから2つの異なる朗読が聞こえてくる場面において、その一方の朗読に注意を向けている場合の脳内血流量の変化。被験者が注意を向けられない方の朗読は音量が相対的に低くされている。上段の図は、被験者が左の朗読に注意を向けている時のデータを、下段の図は、被験者が右の朗読に注意を向けている時のデータを表す。各図の右の2列のデータは朗読が提示される直前のデータを、中の2列は朗読が提示され被験者がその一方の注意を向けている場合のデータを、左の2列は朗読が終了した後のデータを表す。それらの2つの列のなかで、左側の3つのグラフは左側頭葉のデータを、右側の3つのグラフは右側頭葉のデータを表す。各列の上段のグラフは酸化ヘモグロビン、中段は脱酸化ヘモグロビン、下段はそれらの総和を表す。各図では、赤い部分ほど血流量が増加したことを表している。

今後は、このシステムこのシステムを市販可能なものとして洗練することを目指す。具体的には、選択的聴取時の主観的な聞こえの変化における個人差の解明に取り組む。

本研究において、選択的聴取時の主観的聞こえを刺激の物理的操作に置き換えることが試みられた。だが、実験の結果、選択的聴取時の主観的聞こえは被験者によって大きく異なることが示された。そこで、このような個人差の原因を明らかにするために、注意集中の程度を変化させた場合の脳波や脳内血流量の変化を解明する実験を行う。具体的には、要求される注意集中の程度が異なる課題を行わせた場合の脳波や脳内血流量を測定する実験により、注意集中の個人差と主観的聞こえの関係を解明する予定である。

さらに、特定の課題について注意集中能力が異なる被験者（音楽の課題について訓練を受けた被験者と受けていない被験者、具体的には、音大の学生と一般の学生等）において、特定の課題を行わせたときの主観的聞こえの差異を分析する実験を行い、注意集中能力の個人差を解明する。これらの研究により、注意集中能力の個人差を反映した様々なフィルターを開発し、これを本装置に組み込むことが可能となれば、他者の心的状態を体験する技基礎技術の研究という全く新しい研究分野を開発することができる。

本研究で開発された装置は、自分の注意集中に伴う主観的聞こえとは異なる主観的聞こえを体験する装置である。このような技術は、心的活動を物理刺激操作により実現するという意味で、「心理的仮想現実技術」と呼ぶことができる。今後は、この技術の本格的な開発に取り組む予定である。