

研究概要報告書

( 1/3 )

研究題目	ヒ音源定位能の電気生理学的測定と音響信号システム評価への応用に関する基礎的研究	報告書作成者	中村孝文
研究従事者	中村孝文, 田内雅規, 高見涼太郎		
研究目的	<p>人が行動する際に必要な外界情報の一つに、対象物の自分に対する相対的位置がある。この位置を特定(定位)するには、視覚情報およびそれを補完する聴覚情報を用いる。視覚障害者の場合、移動時には移動目標の定位は必須であり視覚情報が遮断されているために聴覚情報は非常に重要な情報源の一つとなる。音源が自分の位置や方向・方位(orientation)を知る手がかりになるからである。例えば交差点における横断歩道の横断時には信号音がそれにあたる。音源定位能は行動のパフォーマンスに決定的役割を果たすが、それは音源の持つ性質に大きく左右される。音源の性質には音質や鳴らし方等があるが、他にも音源の数自体も定位能に影響し、複数個の音源を効率よく使えば更にorientation精度の向上に役立つ。例えば対岸に2音源を用意し、その中間を目指して移動するなどである。</p> <p>こうした誘導システムからの音情報が定位にどの程度有効であるかを知るには、最終的な結果としての行動を観察することは勿論であるが、同時に神経レベルでの音源位置の把握の程度も調べる必要がある。一般に外界からの刺激をもとに行動を起こすには、感覚、知覚、認知、判断、行動という情報処理プロセスを経る。それらが脳の何処でいつ行われるのか、あるいはそうした様子がどのような現象として観察されるのかを知ることは学問的興味に留まらず、先に述べた理由により障害者の行動を支援するシステムの構築や評価に大変重要な事柄である。</p> <p>刺激を受けてから認知に至る大脳皮質での処理の様子を反映するものとして事象関連電位(event related potentials, ERP)がある。この電位は感覚・知覚・認知といった情報処理に関わる神経集団の同期的活動で生ずる電場電位であり、ミ秒単位で変化を捉えることの出来る特徴を持つ。</p> <p>そこで本研究では、音源定位に関する事象関連電位の様々な特性を多面的に調べ、システム評価への応用性を検討する事を目的とした。今回は基本的特性として、1) 2音源間の距離に対する電位の特性、2) 刺激時間間隔に対する電位の特性の2点について検討を行った。前者は事象関連電位に音源間の距離の違いの反映されるか、後者は刺激時間間隔と記憶の時間ウインドウとの関連を調べることを目的とした。</p>		

## 研究内容

音源定位には音の周波数、音色、帯域、音源の位置や数、提示のタイミングなど刺激の物理的パラメータが大きく関係する。本研究では、横断歩道の両岸にそれぞれ2個のスピーカを設置し、利用者はそれらの中間点に向かって進行するというシステムを想定して、パラメータとして音源間距離と音提示の間隔(音源位置記憶)に注目し、事象関連電位との関連を調べた。

実験場所には半無響室を使用し、刺激音源をより高精度とすることでデータの信頼性を高めた。また音刺激はヘッドホンではなく、被験者から数メートル離れた位置のスピーカでおこなうことで、より実際の場面に近い形でのデータを収集した。実験内容と方法は以下の通りである。

## 【刺激提示】

音源間距離変化に関する実験：刺激模式図を説明書図1に示した。信号音は白色雑音(62dbSPL、持続時間60ms)とし、被験者の真正面、及び右側方に並行に配置したスピーカから提示した。その際、正面からの刺激を非標的刺激、右側方からの刺激を標的刺激とし、常には正面から、時々側方から刺激音を提示するoddball刺激を行った。各刺激出現比率は、非標的 標的=5:1、刺激間隔は0.8s ~ 1.2sの間でランダムとした。スピーカ間距離は0.21, 0.75, 1.5, 2.6m (角度表現で各2.3, 8.5, 16.7, 27.6度)の4種類を設定し、各距離間隔におけるERPを記録した。

音提示時間間隔に関する実験：スピーカ間距離を1.5m(16.7度)一定とし、平均刺激時間間隔を1, 2, 4, 6sの4種として各時間間隔におけるERPを記録した。

## 【記録と解析】

被験者は正面のスピーカ1に向い5m手前に着座し、記録中はスピーカ1の支柱に取り付けられている赤色LEDを固視し、前方からの音に注意を向けるよう教示した。測定中の室内は暗黒とした。

脳波はAg-AgCl皿電極を用いて国際10-20法におけるC<sub>3</sub>, Cz, C<sub>4</sub>, Pz, Fzから導出し(0.05Hz ~ 100Hz、ref. 鼻尖、アース左乳様突起)、サンプリング周期2msでパソコンに取り込んだ。解析区間は刺激提示開始前100msから後500msまでとした。

取り込んだ脳波はオンラインで加算平均を行った。加算は標的刺激と非標的刺激の合計200回を3セット行い、その平均をERP結果とした。刺激オンセット前100msから刺激オンセットまでの平均電位をERPのゼロ電位とした。

## 【被験者】

被験者は健常の男性3名、女性3名の計6名であった(21~48歳)。

<p>研究のポイント</p>	<p>事象関連電位 (ERP) は、感覚 知覚 認知 判断といった一連の情報処理過程を反映した電位であり 各潜時においてそれらの過程に関係した情報を含んでいると考えられる。そのため、2 音源の間隔の違いが事象関連電位に反映するかどうか、するとすればそれがどの潜時で反映されるのか、また電位の変化の大きさと距離との関係はどの程度かという点を明らかにすることが一つのポイントである。</p> <p>もう一つのポイントは記憶に関する問題である。本研究における ERP は非標的刺激音位置に対する標的刺激音位置のずれに関するものであるが、それには非標的刺激音の位置を記憶しておく必要がある。つまり 刺激時間間隔が長いほど短期記憶は薄れていくと考えられるが、どの程度まで比較に必要な情報として記憶に留めておくことが出来るかを明らかにする点が第 2 のポイントである。</p>
<p>研究結果</p>	<p>非標的刺激に対する ERP 応答波形は潜時 100ms における陰性波 (N1)、200ms における陽性波 (P2) が顕著であり 標的刺激に対する応答はそれに加えて 200ms 以後も幾つかの陽性成分が続くことが特徴であった (図 2)。音源間距離を広げた場合、非標的刺激に対する波形は変化しないが、標的刺激に対する波形は N1、P2 各成分共に増大し、両成分の振幅の和 (N1 と P2 の peak-peak 値) は距離角度の対数に対しほぼ線形に増大した (図 3)。この結果から、これらの ERP 成分は 2 音源間の距離の知覚を反映していることが示唆された。ピーク潜時は両成分とも角度が大きくなると共に延長するが、P2 が距離が狭い角度から飽和する傾向があるのに対し、N1 は角度が広がってから延長し始める傾向が見られ、両成分は独立した成分と考えられた (図 4)。</p> <p>両音源間距離を一定にし、音刺激の時間間隔を変えた場合、両刺激に対して時間が長くなるにつれて N1 や P2 の成分が大きくなった (図 5)。一般に標的刺激音に対する応答波形の方が非標的刺激音による波形より先大きいのが、非標的刺激音に対する応答との差は刺激時間間隔が 2 秒以上から漸減した (図 6、図 7)。スピーカー間距離は一定であるため、この差には知覚のメモリを反映する電位が含まれていると考えられ、記憶の時間枠は約 2 秒間程度と推察された。</p> <p>今回の実験で、ERP の N1 や P2 成分に音源間距離が反映されており システム評価への応用の可能性が示唆された。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>認知に関係しているとされている P300 成分は潜時が 300ms 前後であるため、N1 や P2 成分は認知の前段階、即ち知覚過程を表していることが推測される。N1 は幾つかの成分から成ると考えられており、また P2 については電位成分の詳細は不明である。音源間距離に対する N1 と P2 の電位変化や潜時変化の特性は異なるため、これらは別な意味を持った成分であることが考えられ、今後はこれら成分の意味づけを行うことが課題である。</p> <p>一方、時間間隔を変化させた場合には非標的音源位置の記憶は 2 秒程度と考えられたが、非標的音に対する応答も時間間隔と共に大きくなるので、標的音と非標的音の差をとる方法が妥当かどうかさらに検討を要する。</p> <p>応用としては視覚障害者が対象となるので、視覚障害者での波形分析と、頭皮上のどの位置からの電位導出が評価用として適当かを調べるため、頭皮上電位分布の詳細な解析も過大である。</p>

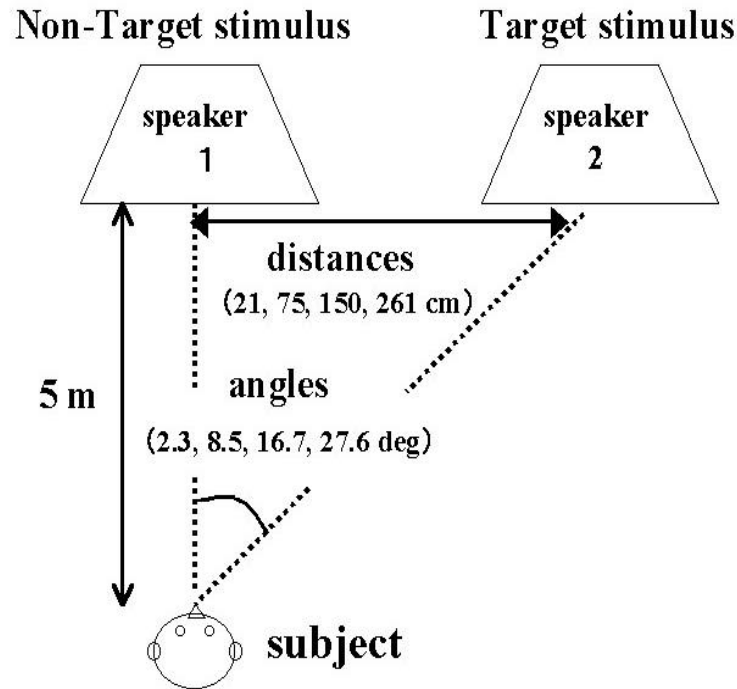


図1. 刺激装置の模式図 非標的刺激用のスピーカ1を被験者の正面5mの位置に設置し、標的刺激用スピーカ2をスピーカ1の右側方に並行に設置した。スピーカ間距離は21, 75, 150, 261cmとした。被験者から見た角度(以下音源間角度と呼ぶ)は2.3, 8.5, 16.7, 27.6degである。被験者は常にスピーカ1の方向に顔を向け、その音に注意を向ける。刺激音は持続時間60ms、音圧62dbSPLの白色雑音で、刺激頻度の割合は非標的刺激:標的刺激=5:1とし、刺激時間間隔を約1秒として刺激を行った。実験室は半無響室であり、実験中は暗黒にした。

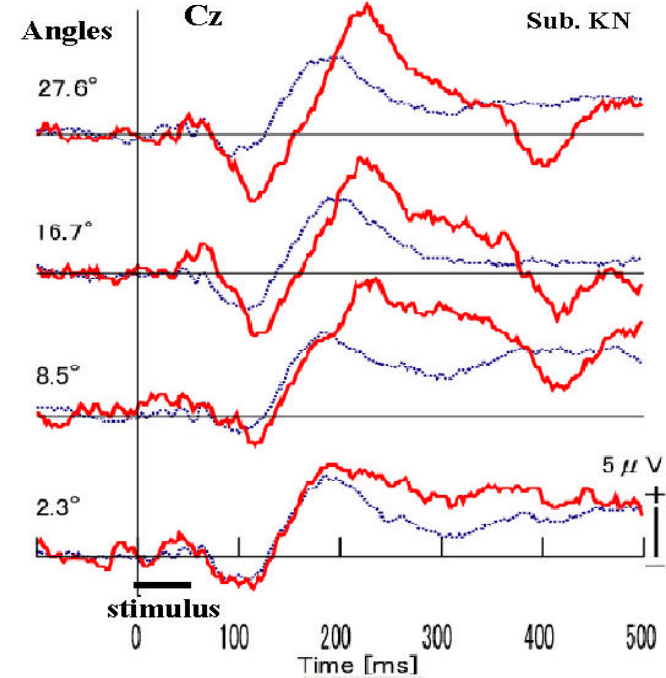


図2. 各音源間角度における事象関連電位(ERP) 太線の波形は標的刺激に対するERP、細線の波形は非標的刺激によるERPであり、上方を陽性にして描いた。縦軸は電位変化(5 $\mu$ V)、横軸は刺激開始からの潜時である(刺激は横軸下の実線)。また各波形の刺激前100msの平均電位を0電位レベルとした。潜時100msで陰性成分(N1)、200msで陽性成分(P2)がみられ、標的刺激によるERPではさらに遅い潜時でも大きな陽性成分が続いた。音源間角度を広げた場合は、非標的刺激音によるERPに変化はないが、標的刺激音によるERPはN1、P2ともに大きくなり、そのピーク潜時は延長した。解析は最も大きな波形が得られたCzからの導出波形について行った。脳波記録の参照電極は鼻尖、グラントは左乳様突起においた。

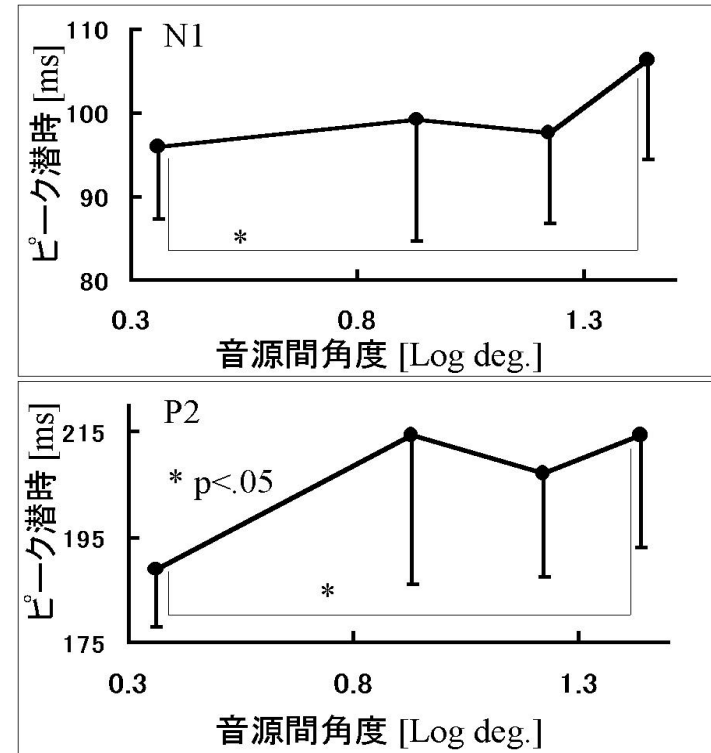
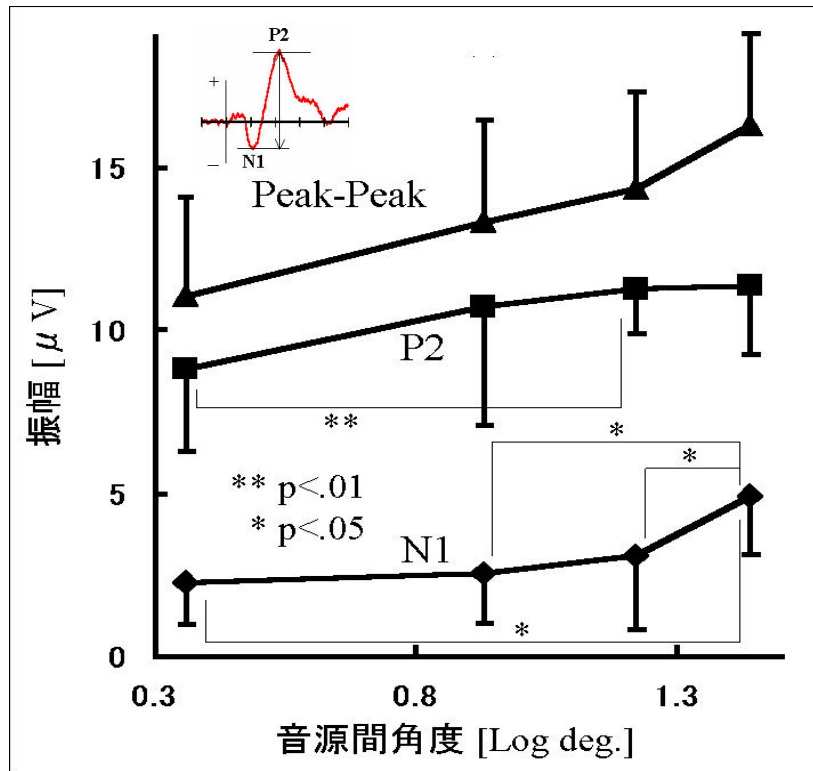


図3. 2音源間距離に対するN1及びP2波形振幅(基線と波形ピーク間の電位差), peak-peak振幅(N1振幅+P2振幅)の特性 N1波形の振幅は、2音源間角度が27.6度の場合のみ他の角度条件との間で有意に大きかった( $p < .05$ )。一方、P2波形振幅は、16.7度での値が2.3度での値より有意に大きく( $p < .01$ )、27.6度では傾向がみられた。Peak-Peakの振幅は音源間角度の増大と共に線形に近い形で増大した。(N=6,  $m \pm sd$ )

図4. 音源間距離に対するN1とP2のピーク潜時特性 N1潜時は2.3度と比べ27.6度でのみ延長が観られた( $p < .05$ )。P2潜時は2.3度と比べ27.6度で有意に延長し、8.5度でもその傾向が見られた。(N=6,  $m \pm sd$ )

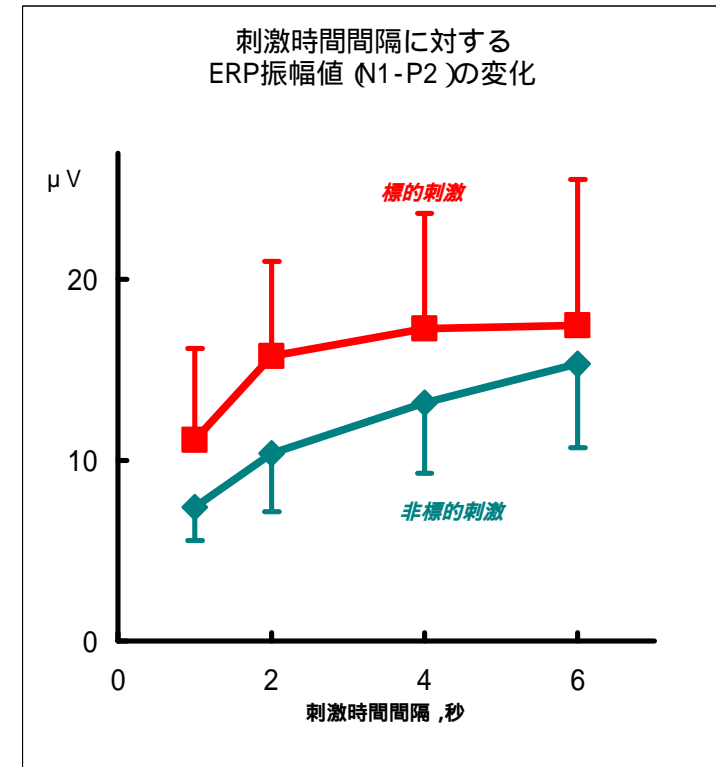
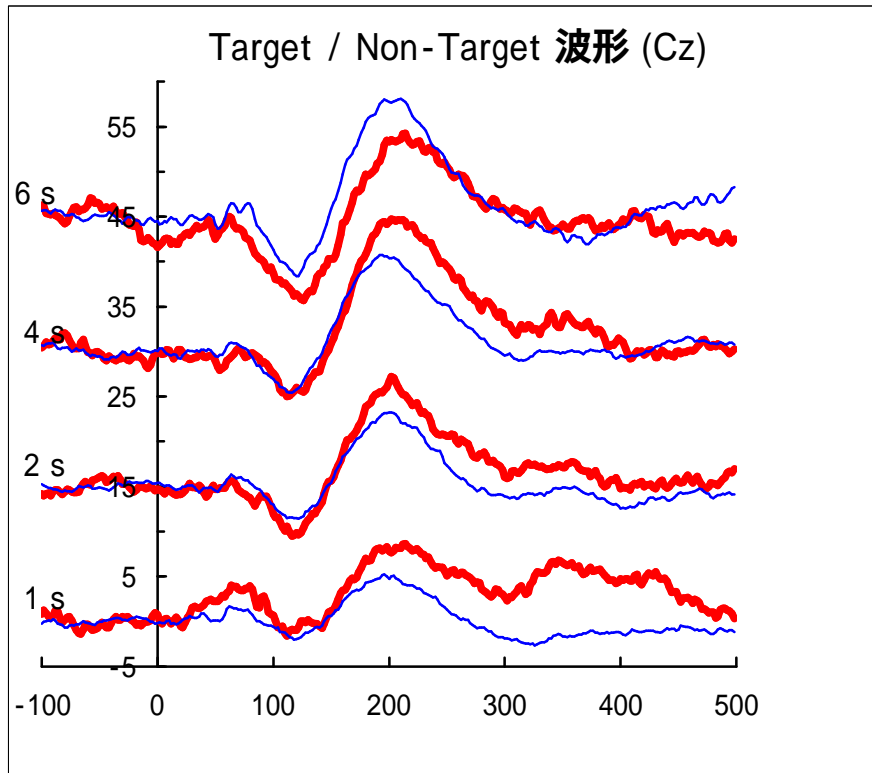


図5.各刺激時間間隔における標的・非標的に対するERP 太線波形は標的の刺激によるERP、細線波形は非標的の刺激によるERPであり上方を陽性にして描いた。縦軸は電位変化、横軸は刺激開始からの潜時である。各刺激時間間隔変化に対して標的の刺激による応答の方が非標的の刺激による応答より大きい。N1,P2 各応答のピーク潜時は変化しないが、振幅は時間が長くなるに連れて増大するが、その増大の仕方はN1、P2 で異なった。音源間の距離は150cm (16.7deg)一定。

図6.各刺激時間間隔に対する各ERPのpeak-peak振幅(N1振幅+P2振幅)特性 非標的の刺激に対する波形は刺激時間間隔が長くなるほど振幅は直線に近い増加を示しているのに対し、標的の刺激に対する波形は1sから2sにかけては顕著な振幅変化を示しているがそれ以後はほとんど増えない。つまり2s付近で飽和に近い値を示している。

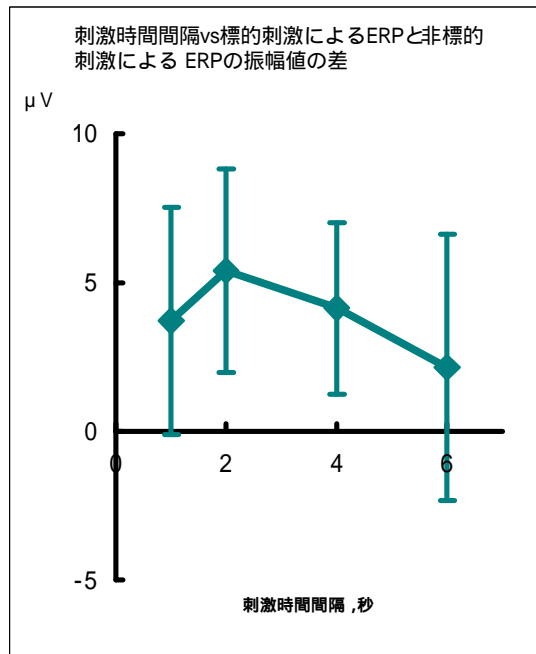


図 7 .刺激時間間隔に対する両刺激ERP 振幅の差の特性 縦軸は両刺激によるERP の振幅差、横軸は刺激時間間隔を表す。標的刺激と非標的刺激のERP の振幅差は2秒で最も大きく、それ以上の長さでは減少して0に近づく。これは刺激時間間隔が或る程度以上になれば非標的刺激や標的刺激をそれぞれ単独で行なう事に等しいことを意味している。これらより、位置記憶のタイムウィンドウは約2秒であることが推察された。