

視覚遮断時における音源定位機能を反映した脳波

中村孝文 田内雅規 高見涼太郎*

要旨 白色雑音を提示する2音源間の距離変化に関連する事象関連電位 (event-related potentials, ERP) を半無響暗室にて記録した。刺激には白色雑音を用い、非標的刺激として被験者正面5mの位置のスピーカから高頻度で、また標的刺激として平行に配置した右側方のスピーカから低頻度でランダムに鳴らせた。両スピーカ間距離は0.2m~2.6mの範囲で変化させた。被験者6名のERPは、大きな2つの成分即ちピーク潜時100msの陰性成分と約200msの陽性成分から成っていた。音源間距離を変えた場合、非標的刺激に対する応答電位は一定であったが、標的刺激に対するERPは距離の増大と共に変化し、陰性波と陽性波のピーク間振幅は距離の対数に対しほぼ直線的に増大した。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。

キーワード：音源定位、脳波、事象関連電位、音源間距離、知覚

1. 緒言

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¹⁾。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。

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を調べることも有効である。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²⁾。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様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、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となる。

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、ミリ秒単位で変化を捉えることの出来る特徴を持つ³⁾。

そこで本研究では、事象関連電位を応用して音源定位に関する頭皮上電位変化を探索することを目的とし、今回は2音源間の距離に対する電位の性質を調べた。その結果、音源間距離の変化と共に応答電位が有意に変化し、ERPに距離知覚が反映されている可能性が示された。

2. 実験方法

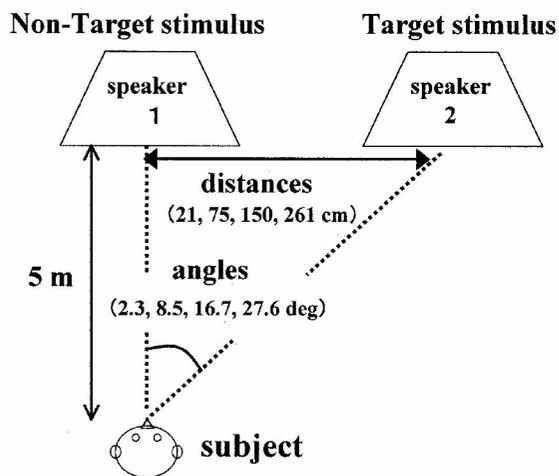


Fig.1 Experimental set-up. The schema shows experimental set-up to measure sound discrimination from two different sound sources separated at various distances. The speaker 1 was located in front of subjects at the distance of 5m and the speaker 2 was positioned at four different distances from the speaker 1.

2. 1 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)。

2. 2 信号音と提示方法

実験の模式図をFigure 1に示す。実験は全て半無響暗室(W/D/H=6/8/3m)で行った。実験に用いた信号音は白色雑音(持続時間60ms)とし、被験者の真正面、または平行に配置した右側方のスピーカから提示した。その際、正面からの刺激をNon-Target(N-T)刺激、横からの刺激をTarget(T)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、N-T:T=5:1、刺激時間間隔は0.8s~1.2sの間でランダムとした。各スピーカの高さは1.22mに固定し、スピーカ間距離を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通りとした。信号音の音圧は騒音計(リオン、NA-23型、A特性を使用)をスピーカの1m前方に設置して測定し、62dBに設定した。

2. 3 記録と解析

脳波はAg-AgCl皿電極を用いて国際10-20法におけるC₃、C_z、C₄、P_z、F_zから導出し(0.05Hz~100Hz、参照電極は鼻尖、アースは左乳様突起)、サンプリング周期2msでパソコンに取り込んだ。

瞬目や体動等のアーティファクトは閾値をもうけて除いた。解析区間は刺激提示開始前100msから後500msまでとした。被験者は正面のスピーカに向い5m手前に着座し、記録中は正面スピーカ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。なお測定中の室内は暗黒とした。実験は適宜休憩をとり、被験者の負担を減らすよう努めた。

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T刺激とN-T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。刺激オンセットの前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。

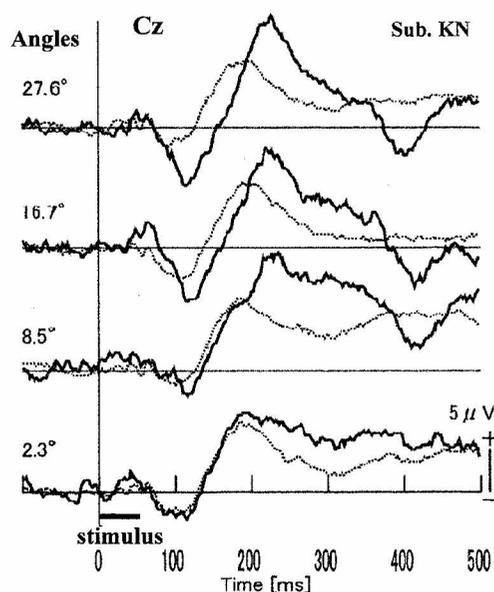


Fig.2 The changes in waveform of ERP to different distances between two sound sources. The solid line indicates ERP to target stimulation and the broken line to non-target stimulation. The negative wave deflection was observed at 100msec after the onset of stimulation and the positive wave at around 200 msec. As is shown in the figure, while the amplitude of non-target responses did not change without regard to the distance between sound sources, that of target responses increased with the increase of the distance.

3. 結果

ERP波形の振幅は部位的にはC_z、F_zで大きかった。Figure 2にスピーカ間角度を右側に広げた場合におけるC_zでの応答波形例を示す。両刺激に対

する応答の基本波形は潜時100ms付近での陰性波（以降N1波と記す）、続いて200ms付近での大きな陽性波（以降P2波と記す）、その後続く350msや450ms付近での陽性波である。スピーカ間角度を広げた場合、N-T刺激では変化はないが、T刺激はN1及びP2波形の振幅の増大と潜時延長（P2において顕著である）がみられた。更に350msや450ms付近での陽性波も顕著になった。N1波形とP2波形の振幅のそれぞれの応答特性をみると、N1振幅は角度が狭い時は増加が軽微でその後顕著になるが、逆にP2はより狭い角度から大きく増加し、27度付近で飽和の傾向がみられた。Figure 3 に潜時100msから200msにかけてのpeak-peak振幅と2音源間角度との関係を示した。振幅は音源間角度を対数で表した場合、その増大と共にほぼ直線的に大きくなった。

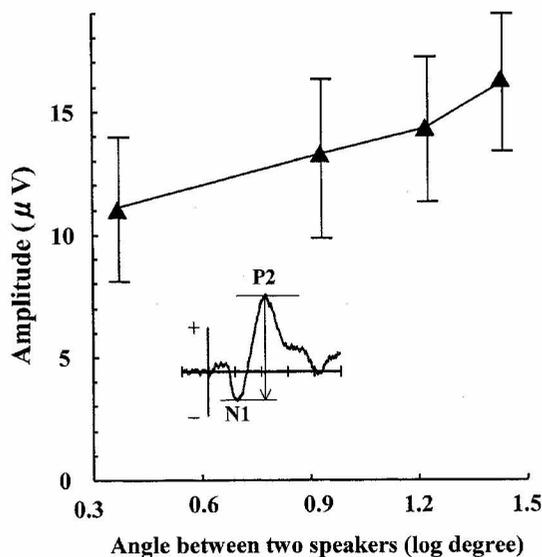


Fig.3 The relationship between the angles of two sound sources and ERP measured as peak-to-peak amplitude between negative and positive components. The abscissa indicates the distance (angle) between two sound sources and the ordinate indicates the ERP amplitude. The ERP amplitude increased roughly linearly to the increase of logarithmic distances between two sound sources.

4. 考察

音源間距離に対するERP波形の応答特性をみると、N1波形とP2波形の振幅の和（peak-peak値）が音源間距離の広がりと共に直線的に増加することが分かった。判断や認知といった処理段階を反映す

ると考えられている電位出現は300ms以降であるので⁴⁾、ピーク潜時から考えるとこの前段階での処理、即ち知覚を反映していると考えられる。Röderらは空間における音源位置の特定について事象関連電位を用いて調べている⁵⁾。彼らの結果では、その機能に大きく関係する成分はN1成分であり、P2成分については特徴的な応答は示さなかった。しかし今回の結果は距離変化にはN1よりもP2が顕著な応答を示した。またN1は期待した事とは異なる刺激がなされた時に発生する電位であると考えられているが^{3,4)}、今回の実験条件では、常には正面からの刺激音が提示されており、被験者はそれに集中しているため、側方からの刺激音は期待に反する刺激とみなされる。時間的経過からみて、N1は期待に反する刺激の検出、P2がその量的な処理を反映する電位である可能性が考えられる。

P2のピーク潜時の遅延が顕著であるのは、初期に発生するN1波形の増大により、陽性波成分が差し引かれることで波形の一部が削られるため、結果的にピークが大きく遅延することが考えられる。P2はN1とは別の性質を持つ成分であり、N1波形も複数の成分から構成されることが知られている⁴⁾。従って両者の振幅和であるpeak-peakの生理的な意味は単純ではないが、現象的には音源間距離（角度）の対数にほぼ直線的な変化を示すということは評価指標としては都合の良い性質であり、音源定位の客観的評価に応用可能であると考えられた。

REFERENCES

- 1) 甲斐琢磨, 高見涼太郎, 鈴木伸一, 田内雅規 (2000). 視覚障害者における鳴き交わし式音響信号機利用時の道路横断と歩行解析. 第26回感覚代行シンポジウム論文集, 147-154.
- 2) 田内雅規 (1996). 保健福祉における行動科学. 日本保健福祉学会誌, 3(1): 3-11.
- 3) 丹羽真一, 鶴 紀子編著 (1997). 事象関連電位—事象関連電位と神経情報科学の発展—. 新興医学出版社.
- 4) 沖田庸嵩 (1989). 事象関連電位と認知情報処理—選択的注意の問題を中心に—, 心理学研究, 60(5): 320-35.
- 5) Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A. et al. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. Nature, 400: 162-166.

The Brain Wave that reflects Sound Localization Performance of Blind-folded Subjects

TAKABUN NAKAMURA, MASAKI TAUCHI, RYOTARO TAKAMI*

Department of Welfare System and Health Science, Okayama Prefectural University, 111 Kuboki, Soja-shi, Okayama 719-1197, JAPAN

**present address: Innovation Plaza FUKUOKA, Japan Science and Technology Corporation, 3-8-34 Momochihama, Sawara-ku, Fukuoka 814-0001, JAPAN*

Key words: Sound localization, Brain wave, Event-related potentials, Distance between sound sources, Perception

Summary

Auditory event-related potentials (ERPs) were recorded from six subjects to frequent and infrequent noise bursts in a dark semi-anechoic room. Frequent noise bursts presented by the loudspeaker in front of the subject were interspersed with infrequent noise bursts by the lateral one. The angle between the two loudspeakers was set between 2.4 and 27.6 degrees. The single ERP consisted of the two main components of negative wave and positive one with the latency of around 100ms and 200ms respectively. The peak-to-peak amplitude between these components increased with the logarithmic angles between two sound sources. From these result, it is suggested that these ERP components represents the perception of the distance between two sound sources.