

水平面音像定位実験中の被験者の頭部の動き*

☆豊田勇気, 森川大輔, 平原達也 (富山県立大・工)

1 はじめに

頭部運動は実音源や仮想音源の音像定位に影響を与える^[1]。多くの音像定位実験は頭部静止条件で行われているために、被験者の頭部が実験中に動かないように頭部を固定したり、被験者に頭部を動かさないように教示したりしている。我々の音像定位実験では、定位した音像位置を、被験者が解答用紙に書き込む方法を採用している。この方法の欠点は、被験者は下を向き定位方向を書き込むために、回答のたびに頭部が動くことである。もちろん、刺激音呈示中は被験者に頭部位置を保持するように教示しているが、その教示がどの程度守られているかは検証されていない。

これまでに、頭部を固定しない状態での HRTF 時の頭部の動き^[2]と、頭部運動条件での音像定位実験中の頭部の動き^[3]の計測はされている。しかし、頭部静止条件での音像定位実験中にどの程度頭部が静止しているかを検証したデータはない。本報告では、実音源を用いた水平面音像定位実験中の被験者の頭部運動を計測し、刺激音呈示中に頭部位置を保持するよという教示を被験者がどの程度守っているかを明らかにする。

2 実験方法

2.1 頭部運動計測

被験者の頭部運動は、磁気方式の 3 次元位置トラッキングセンサである Flock of Birds (Ascension Technology) の受信器を被験者の頭頂に固定して計測した。

Fig. 1 は音像定位実験と頭部運動を同期して計測するシステムである。音像定位実験の開始時に PC1 からトリガー信号を出力し、そのトリガー信号が PC2 に入力されたら Flock of Birds が起動する。このシステムでは、最大 30 ms の誤差で刺激音と頭部運動を同期計測できる。また、Flock of Birds のサンプリング周波数は 128 Hz であり、30 ms は約 4 サンプルの誤差である。

2.2 実験方法

6 種類の帯域通過雑音を用いた水平面音像定位実験^[4]中の頭部運動を計測した。被験者は 20 歳代の男性 4 名である。計測は 12 方向のスピーカから各 5 回、計 60 回の刺激音呈示を 1 セッションとし、各刺激音ごとに 4 セッション、全てで 24 セッション行った。

3 実験結果

Fig. 2 に計測した頭部運動の一例を示す。

Fig. 2 の左図は位置データ、Fig. 2 の右図は角度データである。両図ともに横軸は時間、縦軸は頭部の位置・角度の変化を示す。水色の線は刺激音波形、Fig. 2 の左図の青、緑、赤線はそれぞれ頭頂の位置 (x、y、z) の変化、Fig. 2 の右図の青、緑、赤線はそれぞれ頭頂の回転角 (roll、pitch、yaw) の変化を示す。

Fig. 2 に示されるように、被験者の頭部は刺激音が呈示されていない時に動いている。その動きは x、y 方向および pitch 回転角で大きい。これは、被験者が回答時に頭を下げることに伴う動きである。また、刺激音呈示中にもわずかだが頭部は動いている。そこで、各刺激音呈示ごとの頭部の平均位置の平均値

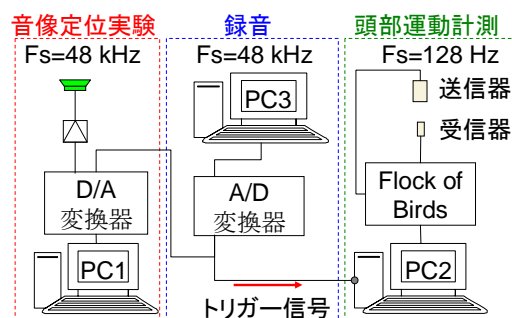


Fig. 1 音像定位実験中の頭部運動計測システム

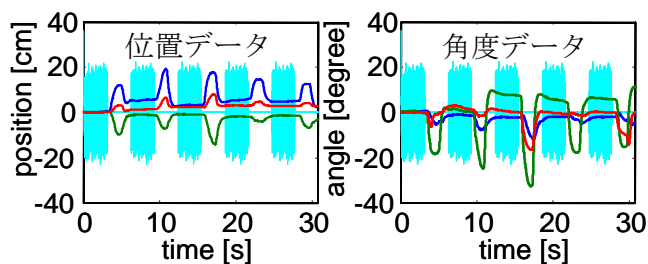


Fig. 2 水平面音像定位実験中の頭部運動の例

* Subjects' head movement during horizontal sound localization experiments, by TOYODA, Yûki, MORIKAWA, Daisuke and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).

$\bar{\mathbf{P}}$ と平均角度の平均値 $\bar{\mathbf{A}}$ を各方向、各回転角ごとに(1)式によって求めた。 \bar{P}_i と \bar{A}_i は i 番目の刺激音呈示中の頭部の位置 (x, y, z) の平均値および頭部の角度 (roll, pitch, yaw) の平均値である。 N は全刺激音呈示回数 (60 × 6 × 4 = 1440) である。

$$\bar{\mathbf{P}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{P}_i \quad , \quad \bar{\mathbf{A}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{A}_i \quad (1)$$

また、刺激音呈示中の頭部位置の最大変位の平均値 $\overline{\Delta \mathbf{P}_{\max}}$ と角度の最大変位の平均値 $\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}}$ を各方向、各回転角ごとに(2)式によって求めた。 $P_i(n)$ と $A_i(n)$ は i 番目の刺激音呈示中の n サンプル目 ($n = 1, 2, \dots, 384$) の頭部の位置および角度、 $P_i(1)$ と $A_i(1)$ は 1 サンプル目の頭部の位置および角度、 N は全刺激音呈示回数である。

$$\overline{\Delta \mathbf{P}_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max(|P_i(n) - P_i(1)|) \quad (2)$$

$$\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max(|A_i(n) - A_i(1)|)$$

Fig. 3 に刺激音呈示中の各被験者の頭部の平均位置の平均値 $\bar{\mathbf{P}}$ と頭部位置の最大変位の平均値 $\overline{\Delta \mathbf{P}_{\max}}$ を示し、Fig. 4 に刺激音呈示中の各被験者の頭部の平均角度の平均値 $\bar{\mathbf{A}}$ と頭部角度の最大変位の平均値 $\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}}$ を示す。両図ともに横軸は被験者、Fig. 3 の縦軸は頭部の位置、Fig. 4 の縦軸は頭部の角度を示す。

Fig. 3、4 の左図に示されるように、各被験者において $\bar{\mathbf{P}}$ は各方向とも ±3.5 cm 以下、 $\bar{\mathbf{A}}$ は最も大きかった pitch (仰角) の回転が ±12 度以下であった。これは回答時の頭部の動きが原因である。しかし、水平面音像定位実験に最も影響を及ぼす yaw (水平方向) の回転は、各被験者とも 1.1 度以下であった。

Fig. 3、Fig. 4 の右図に示されるように、各被験者において $\overline{\Delta \mathbf{P}_{\max}}$ は各方向とも 1.5 cm 以下、 $\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}}$ は各回転角とも 3 度以下であった。また、水平面音像定位実験に最も影響を及ぼす yaw の回転は、各被験者とも 1.4 度以下であった。

全ての被験者において $\bar{\mathbf{A}}$ と $\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}}$ の yaw の回転はともに、水平面音像定位実験でのスピーカの間隔 30 度と比較するとわずかであった。

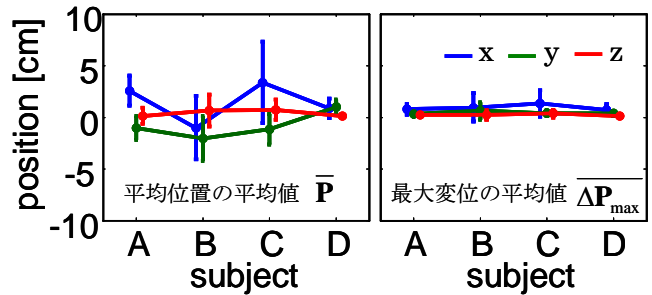


Fig. 3 各被験者の $\bar{\mathbf{P}}$ と $\overline{\Delta \mathbf{P}_{\max}}$

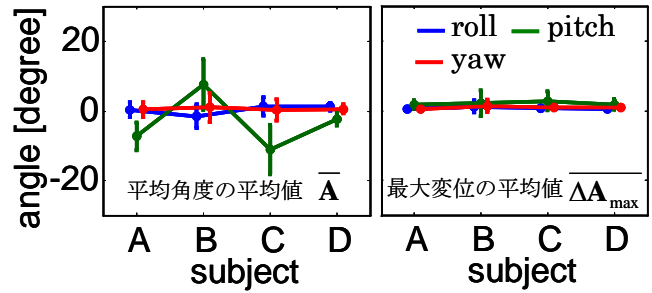


Fig. 4 各被験者の $\bar{\mathbf{A}}$ と $\overline{\Delta \mathbf{A}_{\max}}$

4 まとめ

頭部静止条件での水平面音像定位実験中の頭部運動を計測し、各刺激音呈示ごとの頭部の正面からのずれと、各刺激音呈示中の頭部の動きを求めた結果、全ての被験者において各刺激音呈示ごとの yaw 回転角の正面からのずれは 1.1 度以下、各刺激音呈示中の yaw 回転角の動きは 1.4 度以下であった。

頭部静止条件での水平面音像定位実験の刺激音呈示中に頭部位置を保持するようという教示を被験者は守っていた。また、被験者は回答のたびに頭部を下方に動かしたが、次の刺激音が呈示されるときには頭部をしっかりと戻していた。

謝辞

本研究は科研費(22300061)の助成を受けた。

参考文献

- [1] 平原 他, “頭部伝達関数の計測とバイノーラル再生にかかわる諸問題,” Fundamentals Review, 2(4), 68-85, 2009.
- [2] Hirahara *et al.*, “Head movement during head-related transfer function measurements,” Acoust. Sci. Tech., 31 (2), 165-171, (2010.3).
- [3] 野島 他, “方向定位における頭部運動について,” 音講論 (秋), 513-516, (2009).
- [4] 森川, 平原, “帯域通過および帯域阻止雑音による水平面音像定位,” 音講論 (秋), 3-2-2, (2010).