

加齢を考慮した左右耳の聴覚特性に関する研究

A study on hearing characteristics of the left and right ear with aging

精密工学専攻 76号 郭 羿杰
Guo Yijie

1. はじめに

高齢者が健康で充実した生活を送ることができるための基礎研究の一環として、これまで高齢者の聴覚特性の研究^[1-4]が行われている。本研究では、音像定位について着目し、左右耳に各種音源を与えた際の音像定位を検討する。そして、各因子が音像定位に影響があるかを把握する。その中で左右耳の使用頻度に関する利き耳^[6]という因子に着目し、加齢により変化するか把握する。また、アンケート調査より利き耳が若年者(20代)、中年者(40代)、高齢者(65-74歳)の年齢層で変化するか、また過去と現在の時代間で変化するか把握する。さらに、加齢による音源の立上り時間(Rise time)や左右耳非対称性が音像定位に及ぼす影響を検討する。

2. 本研究の聴覚特性および音像定位の概要について

2.1 聴覚特性について

本研究では聴覚特性に着目し、音像定位に関する要因および音源を説明する。

2.1.1 音像定位の概説について

音像の位置、つまり方向や距離を知覚することを音像定位という。被験者に音源を呈示し、音像定位を把握する。音像定位は、被験者の聴覚特性を明らかにするために行われたり、立体音呈示システムの評価の一部に使われる。

本研究では、ヘッドホンを利用して音像定位を把握する。

2.1.2 音像定位に関わる要因について

ヘッドホンで両耳間時間差(ITD: Interaural Time Difference)を有した音源を聴取させた場合に、高齢者は若年者と比較して立上り時間(Rise time)部分の認識が低下することを明らかにした。Rise timeとは、音圧が設定の値になるまでの立上り時間のことをいう。ここで、一般に音声認識に対する右耳優位性(REA: Right Ear Advantage)という現象が、従来より明らかにされている^[6]。Rise timeが長くなると立上り部分の認識が不十分となると同時にREAに影響を与えることが予想される。

そこで本研究では、音像定位に対して、下記について検討

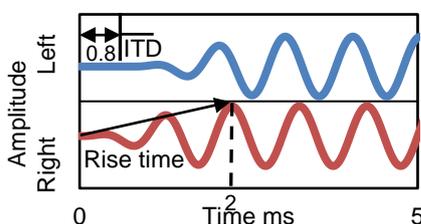


Fig. 1 A waveform sample at an ITD of 0.8 ms and a rise time of 2 ms

Table 1 Levels of confidence

1 : Not confident at all
2 : Not very confident
3 : Relatively confident
4 : Quite confident
5 : Extremely confident

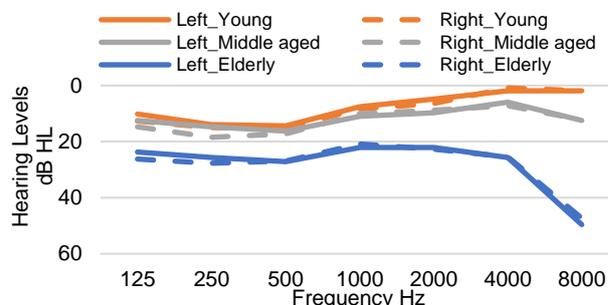


Fig. 2 Average hearing levels

する。(1)音像定位に影響を及ぼす要因の検討(2)Rise timeが長くなると認識が不十分となることの検討(3)音声だけでなく、音像定位においても REA が生じることの検討(4)高齢者が若年者と比較すると、REA がどのように影響するのかの検討。

2.2 音像定位実験で考察する年齢

被験者は19歳から26歳の若齢者24名(男性12名、女性12名, $M \pm S.D. = 22.7 \pm 1.7$ 歳)、40歳から49歳の中年者16名(男性5名、女性11名, $M \pm S.D. = 45.0 \pm 2.5$ 歳)と68歳から91歳の高齢者24名(男性12名、女性12名, $M \pm S.D. = 74.8 \pm 5.2$ 歳)である。なお本実験は、中央大学の実験倫理規定に則り各被験者に十分な説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で実施した。

2.3 音像定位実験および用いた音源について

本実験では、音源当初のオンセット部分に Rise time と ITD を与えた音源における音像定位の左右判断を考察する。Fig. 1 に ITD と Rise time という考察する要素を示す(右耳 0.8 ms 先行で Rise time が 2 ms の場合)。

実験音源は音圧 60 dB(A) の 1kHz の音源であり、左右耳の ITD を 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ms の 9 種類、Rise time を 2, 5, 20, 50 ms の 4 種類(計 36 種類)の設定とし、76 ms の吹鳴と 74 ms の無音を計 7 回繰り返す 1 秒間の音源とした。実験は各被験者に対して休憩を設けながら 36 音源(ITD 9 種類と Rise time 4 種類)を 10 回ランダム順で繰り返した。なお、10 回のうち後半分についてはヘッドホンを左右逆に装着して、機器のカウンターバランスをとった。

防音室において被験者にヘッドホンにより音源を呈示した。最初に左右耳同時の ITD=0 ms の基準音を 1 秒間呈示し、1 秒後に評価音が 1 秒間吹鳴した。被験者は最初の基準音に対して、評価音がどちらから聞こえるかを「右」「左」「同じ」の 3 択で回答し、さらに、Table 1 に示す 1~5 の評定尺度に基づき回答の確信を示す自信度を口頭により回答した(若年者はスマートフォンで入力した)。

2.4 本実験で考察する聴力レベル

音像定位には被験者の聴力の左右差が大きく影響する。そこで、聴力検査を行うことで、被験者の聴力レベルを測定する。

各年齢層で左右耳の聴力レベルの平均値を Fig. 2 に示す。加齢による聴力レベルが低下することと左右差は小さいことが分かる。

3. 音像定位に及ぼす影響因子

各因子に対して、線形関係と非線形関係を前提として、音像定位に与えた寄与度の考察する。

3.1 本実験で考察する因子

判別分析・数量化理論Ⅱ類という線形関係の多変量解析で各因子が音像定位に与える寄与度を考察する。統計的に意味のある変数を選択することにより判別関数を構築し、選択された変数の寄与度を標準化した正準判別関数係数から推定する。

一方、ニューラルネットワークという非線形関係の解析方法で利き耳が音像定位に与える寄与度を考察する。

説明変数として、以下の6種類とする。(1)左耳聴力(1 kHz) (2)右耳聴力(1 kHz) (3)左右耳聴力の差(1 kHz) (4)利き耳(スピーカに近づける耳) (5)ITD(線形より5種類, 非線形より9種類) (6) Rise time(4種類)。なお、(4)は質的変数であるが、他の説明変数は量的変数である。使用した解析ソフトウェアは IBM spss ver. 29.0 である。

3.2 本実験で考察する利き耳

実験で集めた利き耳データ及びアンケート調査で集まったデータが加齢による変化を把握する。

3.2.1 利き耳の概説および判定について

利き耳の判定には観察法と質問法という二つの方法がある。観察法では被験者にスピーカで小さい音を鳴らして、優先的に近づけて聞く耳が利き耳である。質問法は手、足、目、耳について、質問により利きを判定する。

先行論文を調査したところ、利き耳の比率は年齢とともに右側に移行する^[7]。しかし、手、足、目の利きは年齢とともに右側に偏り、利き耳が左側に移行するという論文もある^[8]。

そこで本研究では、利き耳に対して、下記の仮説について検討する。(1)加齢による利き耳が徐々に左側に移行する。(2)時代間によって、利き耳の特性に差が生じる。

3.2.2 本実験で利き耳の判定結果について

各年齢層における観察された右・左利き耳について、それぞれの比率を95%信頼区間とともに Fig. 3 に示す。若年者が中年者と比較すると、ほとんど差がなかった。若年者が高齢者と比較すると、右利き耳が少なくなる傾向があることが分かった。

3.2.3 アンケート調査で利き耳の判定結果について

今回の実験から収集されたデータのサンプル数が少なく、利き耳が加齢による移行及び時代間に及ぼす影響を把握するため、追加アンケート調査を実施した。

各年齢層における比較を行うため、若年者(20代)、平均年齢 $m=25.6$ 歳, $SD=2.7$ 歳、中年者(40代)、 $m=44.9$ 歳, $SD=2.8$ 歳、高齢者(65-74歳)、 $m=68.8$ 歳, $SD=2.9$ 歳の3群(各600名、各年齢層で男半数)に関して、年齢層による利き耳の差の有無をインターネットで用いたアンケートにより実施した(2022年3月)。

アンケートは、利き耳だけではなく、利き目等についても年齢層間比較のために調査した。さらに、現代の年齢層に関して解析するほか、利き耳が時代間によって変化するかどうかを1979年(43年前調査)($m=22.5$ 歳, Table 2)^[9]と比較し解析した。アンケートについては Table 3 であり、今回は

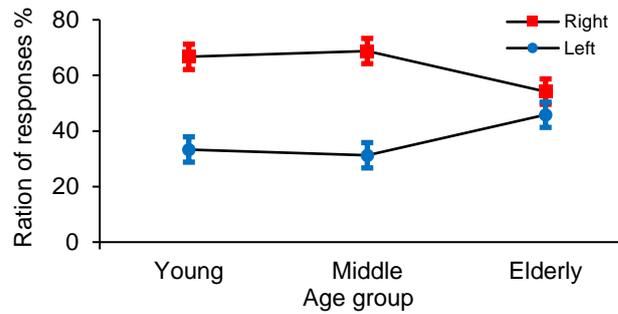


Fig. 3 Means and 95% confidence intervals of experiment results

Table 2 Previous survey results conducted in 1979 by Ikeda[8]

Item	Right		Left		Neither		Non		Total	
	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women		
Q13	...									
Q13	Dominant eye	302	42	121	14	3	0	1	0	483
Q14	Dominant ear (Telephone)	242	31	184	25	1	0	0	0	483

■ Right ● Left ▲ Neither **: $p<0.01$ *: $p<0.05$ +: $p<0.1$ I: $\pm 95\%CI$

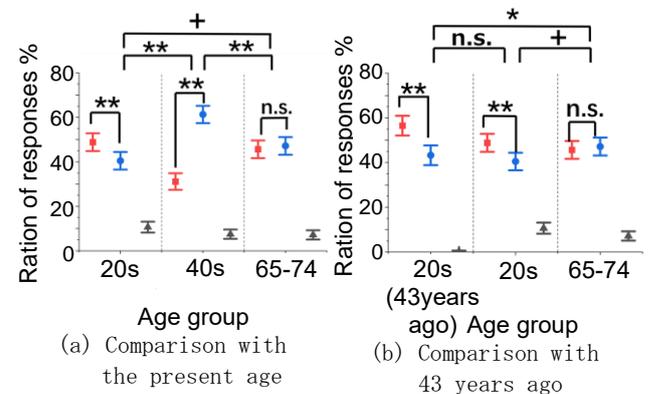


Fig. 4 Mean and 95% confidence interval for the dominant ear (Telephone) in the survey results

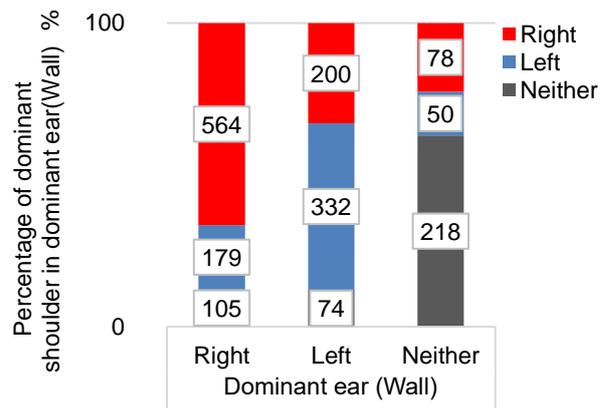


Fig. 5 The Relations between the dominant shoulder and the dominant ear (Wall)

Table 3 survey results conducted in 2022

Item	20 s						40 s						Age 65-74						
	Right		Left		Neither		Right		Left		Neither		Right		Left		Neither		
	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	
Q8	The dominant eye	182	196	78	76	40	28	191	167	78	98	31	35	199	188	78	70	23	42
Q9	The dominant ear (Telephone)	139	154	120	123	41	23	84	103	186	182	30	15	137	137	144	139	19	24
Q10	The dominant ear (Wall)	149	164	98	87	53	49	115	134	117	111	68	55	144	142	99	94	57	64
Q11	The dominant Shoulder	145	154	85	82	70	64	110	134	126	88	64	78	141	158	100	80	59	62

Q8～Q11について解析する。43年前のデータは、関連する調査項目 Q13 と Q14 について解析する。

各年齢層における右・左・どちらとも言えないの3択について、利き耳（電話）の比率を95%信頼区間とともに Fig. 4 に示す。有意差については、各年齢層内における右・左の比率の差をz検定により調べ、次に、どちらとも言えないという回答を除外して、各年齢層間における右・左の構成率の差を調べた。Fig. 4(a)に示す現代の若年者との比較に関して、若年者では右利き耳が多く、中年者では左利き耳が多く、高齢者では左右ほぼ同じ比率であることがわかる。年齢層間で見ると、中年者が他の年齢層と比較して顕著に左利き耳が多くなった。若年者と高齢者では高齢者の方が左利き耳が多いという有意傾向があった。

43年前の若年者調査対象者は現代の高齢者になって、時代間と年齢層という二つ因子がある。43年前の若年者と現代の若年者を比較して、時代間の影響があるか Fig. 4(b)に示す。43年前の若年者と現代の若年者では有意差がないものの、現代の高齢者とは有意差が認められた。加齢により利き耳が左側に移行したと考えられる。時代を超えた20代と65-74歳との比較は、現代の20代と65-74歳との比較と同じ結果になった。

各利きに関して、相互に関係がある可能性がある。利き耳（壁）と狭い通路を通る際の利き肩の関係を例として Fig. 5 に示す。利き肩で右を選択したものは利き耳（壁）においても右を選択する傾向があり、カイ二乗検定により統計的にも確認できた。利き耳に関して、どのような調査項目にするかが結果に影響を及ぼす可能性があり、慣れや環境場面に影響される可能性が高いと推測される。

3.3 音像定位に及ぼす影響因子の考察結果

3.3.1 線形関係を前提とした結果

線形関係に対する影響因子の検定は、Fig. 6 に若年者、Fig. 7 に高齢者を示す。若年者に対する判別関数が Rise time, ITD と聴力から構成する。係数からみて Rise time が音像定位の判断に大きく影響していたが、利き耳が音像定位の判断に影響していなかった。Fig. 6 に示す3つの説明変数による判別率は70.2%であり、値が大きいほど分析精度は高い。一方、高齢者に対する判別関数が Rise time, ITD, 聴力と利き耳から構成する。係数からみて Rise time が ITD より少し小さいが、聴力や利き耳より大きく影響していた。Fig. 7 に示す4つの説明変数による判別率は71.1%である。

3.3.2 非線形関係を前提とした結果

非線形関係に対する影響因子の検定は、Fig. 8 に若年者、Fig. 9 に高齢者を示す Rise time が ITD より少し小さいが、聴力や利き耳より大きく影響していた。

Rise time 音像定位の判断の影響が強いと推測される。一方、利き耳が音像定位との関係がある可能性が低いと推測される。

4. 加齢が音像定位に及ぼす影響について

4.1 加齢による立上り時間が音像定位に及ぼす影響の考察

3章で考察した各因子に対して音像定位に与える寄与度を確認し、Rise time を変化した音源が音像定位の判断の影響が強いことが把握できたので、加齢を考慮した、Rise time に着目して ITD および自信度の関係を把握する。

代表的な例として、Rise time = 2 ms と 50 ms の回答数を例にして、ITD と自信度との関連を Fig. 10 に示す。ITD に関する軸のマイナス部分は左耳先行音に「左」と回答した数である。ITD=0 の部分は ITD=0 ms の音源に対して「同じ」と回答した数である。プラス部分は右耳先行音に「右」と回答した数である。

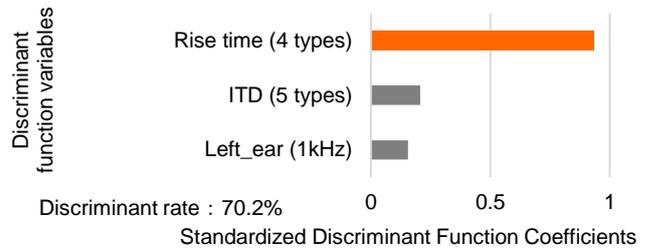


Fig. 6 Standardized discriminant coefficient on responses (Young)

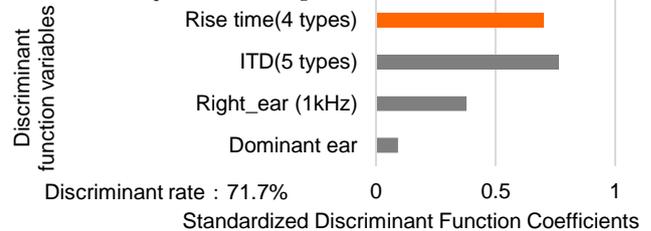


Fig. 7 Standardized discriminant coefficient on responses (Elderly)

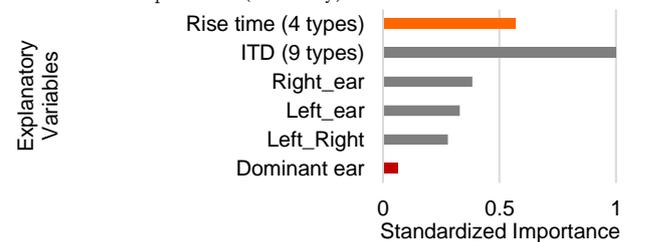


Fig. 8 Importance on response by neural network analysis (Young)

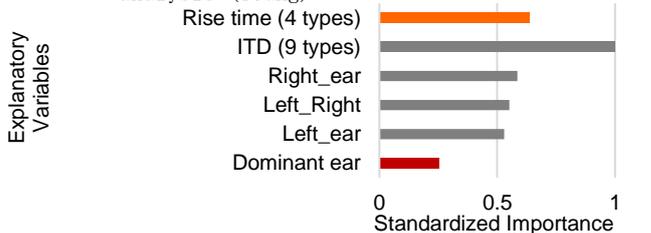
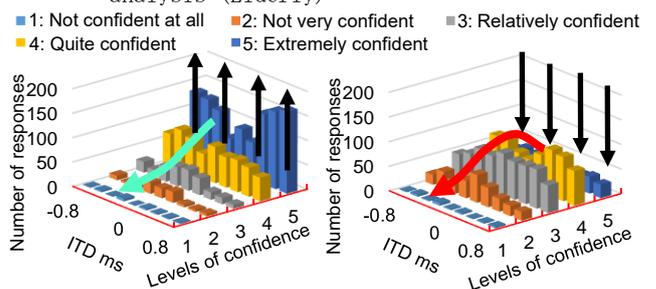
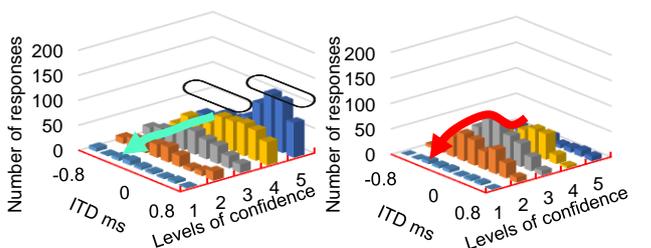


Fig. 9 Importance on response by neural network analysis (Elderly)



(a) Rise time=2 ms (Young) (b) Rise time=2 ms (Elderly)



(c) Rise time=50 ms (Young) (d) Rise time=50 ms (Elderly)

Fig. 10 Number of correct responses related to ITD and levels of confidence

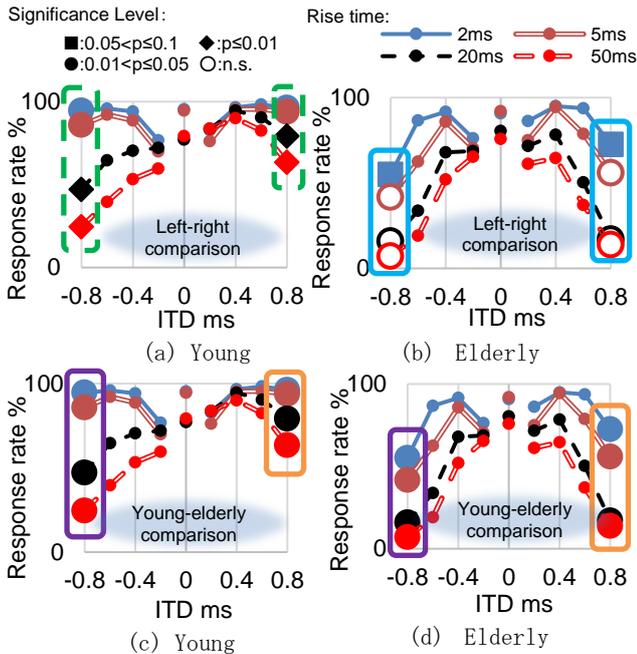


Fig. 11 Differences of the percentage of correct responses regarding Rise time and ITD

Fig. 10(a) (若年者, Rise time = 2 ms)の場合, 自信度 5 の回答数が多く, Fig. 10(b) (高齢者, Rise time=2 ms)の場合, 自信度 3, 4 の回答数が多い. 一方, Fig. 10(c) (若年者, Rise time = 50 ms)の場合には, Fig. 10(a)と比較して, 自信度 5 の回答数が少なくなり, 左右非対称になる. すなわち, ITD が右耳先行時の方が自信度 5 の回答数が増える. Fig. 10(d) (高齢者, Rise time = 50 ms)の場合には, Fig. 10(b)と比較して, 自信度 4 の回答数が減少して, 自信度 2 の回答数が増加する.

これらのことより, 加齢に伴って自信度が低下するほか, Rise time が長くなると, 自信度が低下し, 若年者に関しては回答数が左右非対称になることがわかる.

4.2 加齢による音像定位の左右非対称性の考察

4.1 節で Rise time が長くなると, 正回答数が低下し, 左右非対称になることが把握し, 有意差を調べて, REA 特性を確認する. しかし, 中年者の数が若年者が高齢者同様に 24 名を満足していないし, 統計的なばらつきが多いことを考え, 今回のデータは統計的に有意ではないと推定される.

Fig. 11 に異なる Rise time に対する回答率の変化を示す. 図中の凡例は 4 種類の Rise time を示す.

ここで, 2 種類の比較を行う. 一つは左右回答率の比較であり, もう一つは若年者と高齢者の比較である. 回答率の分布が正規分布でないため, ノンパラメトリック検定(比較する 2 群について対応のないウィルコクソン順位和検定, 比較する 2 群について対応のあるウィルコクソン符号順位和検定)を使用する. ここでは, ITD = ±0.8 ms の場合に限定して記述する. Fig. 11(a)における若年者の回答率の比較では, 各 Rise time において左右の有意差が認められた (■: 10%有意水準, ●: 5%有意水準, ◆: 1%有意水準, ○: 有意差がない). また, ITD = ±0.8 ms 右耳先行時の正解率が左耳より高いことから, REA が若年者において認められた. なお, Rise time が長くなると正解率が低下した.

Fig. 11(b) の高齢者の回答率の比較では, 左右の有意差は認められず, REA は認められなかった. また, 若年者の場合と同様に, Rise time が長くなると正解率が低下した.

Fig. 11(c) と (d) に若年者の回答率と高齢者の回答率の有意差の検定結果を示す. 図は Fig. 11(a), (b) と同じ傾向で,

有意差の検定結果が異なる. 各 Rise time において年齢による有意差が認められ, 高齢者の方が若年者よりも回答率が低下した.

5. 研究成果

- (1) 加齢によって, 聴力レベルが低下し, 高齢者が若年者より左耳が利き耳となる傾向があり, 中年者では左耳が利き耳となる傾向がある. また, 利き耳は慣れや環境場面に影響される可能性が高い.
- (2) 音像定位の回答率に関し, 音源の Rise time が聴力や利き耳より大きい影響を及ぼし, 利き耳との関係がないと推測される.
- (3) 音源の Rise time が長くなると, 左右の回答の判断が曖昧となり自信度が低下する.
- (4) 音声や言語だけではなく, 音像定位にも REA 特性が認められ, 加齢によって REA 特性が低下する傾向が見られた.

参考文献

- (1) 白木他, 高齢者の音像定位濃緑と事象関連電位との関係, 音講論(春), (2021) pp. 633-636.
- (2) 大澤他, 高齢者における左右方向の音源定位能力の評価, 音講論(春)(2018) pp. 421-422.
- (3) 白木他, 信号オンセットの変更による音像定位に及ぼす加齢の影響, 音講論(春)(2020) pp. 733-734.
- (4) 白木他, 高齢者の音像定位濃緑と事象関連電位との関係, 音講論(春), (2021) pp. 633-636.
- (5) Kimura, Functional asymmetry of the brain in dichotic listening, *Cortex*, **3-2** (1976) pp. 163-168.
- (6) 石津希代子, 利き耳研究の概説, 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, **8**(2007) pp. 325-333.
- (7) N. Dittmar, Functional and Postural Lateral Preferences in Humans: Interrelations and Life-Span Age Differences, *Human Biology*, **74-35**(2002) pp. 573-582.
- (8) C. Porac, S. Coren, and P. Duncan, "Life-span Age Trends in Laterality, *Journal of Gerontology*, **35-5**(1980) pp. 715-721.
- (9) 池田暉親, きき手(きき脚, きき目, きき耳)の調査, 九州神経精神医学, **29-2**(1983) pp. 242-249.