

周波数特性の異なる騒音へのばく露による高齢者の作業阻害に関する研究

高橋幸雄*1

高齢者では一般に聴力が低下するために、音による影響が若年者とは異なる可能性がある。この研究では、周波数特性の異なる音を用いて、高齢者の作業阻害への影響を検討することを試みた。被験者は（高齢+聴力正常）群、（高齢+聴力低下）群、若年群の3群で、ばく露条件は4条件（音無し+3種類のテスト音）とした。騒音に対する主観的印象の測定では、どの被験者群でも音無しの条件下で最も作業し易いという妥当な結果になったが、PC作業の処理スピード、正確性については、必ずしも音無し条件が最も良い結果とはならず、また、テスト音の周波数特性との関係でも明確な結果は得られなかった。（高齢+聴力低下）群では、他の2群と比較して作業スピードが遅かったが、騒音ばく露の影響とは考えづらかった。作業の正確性についても、テスト音の周波数特性との関係に明確な傾向は見られなかった。このような不明瞭な結果になった原因については今後の検討が必要であるが、一般的なオフィスの範疇に入る音環境であれば、音の周波数特性の違いが高年齢労働者の作業に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。

キーワード: 高齢者, 作業阻害, 聴力低下, 騒音, 周波数特性.

1. はじめに

日本社会では高齢化が進んでおり、作業現場（労働現場）の労働者も同様に高齢化している。総務省統計局による労働力調査（基本集計）2022年（令和4年）平均結果¹⁾によれば、2012年（平成24年）から2022年（令和4年）にかけ、45～54歳の就労者人口は1301万人から1637万人へ336万人も増加（25%強の増加）している。55～64歳では1205万人から1204万人と、ほぼ横ばいであるが、65歳以上では、596万人から912万人と、1.5倍以上の増加（約53%の増加）となっている。このような社会状況下では、高齢労働者の特徴（運動能力の低下、感覚・知覚能力の低下、認知能力の低下等）に配慮した作業環境（労働環境）の整備が必要ではないかと考えられる。

作業環境には様々な物理的因子があり、音もその一つである。一般的に高齢者は若年者よりも聴力が低下する（加齢性難聴、または老人性難聴）が、この聴力低下は、特に1kHz以上の高周波域で顕著である²⁾。この聴力低下のために高齢者では、音に対する反応や、音から受ける影響が若年者とは異なる可能性がある。したがって、音に対する高齢者の反応の特徴を明らかにできれば、高齢者にとって働きやすい作業環境整備の一助になると期待できる。

音による作業への影響の一つに作業阻害（作業効率の低下、作業スピードの低下、作業の正確性の低下等）がある。音による作業阻害については、主に人間工学の分野で過去に多くの研究例^{3,4,5)}があり、種々の周波数特性、音圧レベルの音による作業阻害への寄与の違いが検討さ

れている。しかし、それらの多くでは聴力正常な若年者のみを被験者として用いており、年齢の影響（聴力の影響）が考慮されていない。高齢者を被験者に用いた少数の研究例の一つに、江川による研究⁶⁾がある。江川は、種々の周波数特性の音へのばく露条件（工場内のような比較的音の大きな環境を想定）下で高齢者群と若年者群にPC作業を行わせ、音の特性の違いによる作業効率への影響の差を調べた。その結果、高齢者群では、ばく露音の特性に依らず、若年者群よりも作業スピードが遅く、またエラー率も高かった。また、若年者群では、単調感の指標である動作の斉一性の乱れが認められたが、高齢者群ではその現象は認められなかった。音へのばく露による負担感については、高齢者群では、残響性騒音や低周波衝撃騒音に対して作業集中の困難さの訴え率が高かった。このように、いくつかの点で興味深い結果が得られたものの、一方では個人差が大きいこと等から、年齢による明確な影響を示すには至らなかった。

今回の研究では、江川による研究をベースとし、またオフィス環境で作業を行う高齢者を想定し、周波数特性の異なる音による作業阻害への影響の検討を試みた。

2. 実験の方法

1) 実験室

実験は、独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所（登戸地区）の半無響室（図1）で実施した。半無響室の大きさは、幅3.8m×奥行5.6m×高さ2.4mである。被験者位置の後方部分（奥行1.8mの部分）を吸音カーテンで仕切り、オーディオメータ（リオン、AA-M1A）による聴力測定用スペースとして利用した。被験者用のテーブルと椅子を設置し、テーブル上に被験者が作業を行う作業用PC（Windows）を設置した。テーブル高さは固定であるが、椅子の座面高さは可変とし、被験者ごとに作業し易い高さに調整した。被験者の

*1 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 環境計測研究グループ

連絡先：〒214-8585 川崎市多摩区長尾 6-21-1

労働安全衛生総合研究所 環境計測研究グループ 高橋幸雄

E-mail: takahay@h.jniosh.johas.go.jp

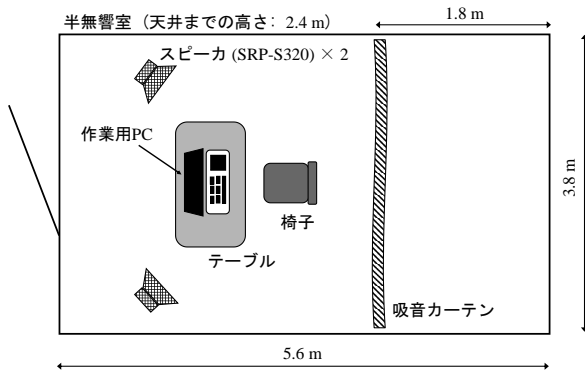


図 1: 半無響室内のセットアップ

左右斜め前方に、テスト音再生用のスピーカ（ソニー，SRP-S320）を 2 台設置した（高さ：1.3 m，被験者頭部までの水平距離：1.6 m）。

2) テスト音再生システム

実験で使用したテスト音の音源には、雑音信号発生器（リオン，SF-06）で発生させたピンクノイズまたはホワイトノイズを wav ファイル化（サンプリング周波数：48 kHz）して使用した。これらを、ピンクノイズはそのまま、ホワイトノイズは高周波域を強調（1/3 オクターブバンドで 2 kHz バンド以上を強調）または低周波域を強調（1/3 オクターブバンドで 500 Hz バンド以下を強調）する処理をして使用した。つまり、テスト音はピンクノイズ、ホワイトノイズ（高域強調）、ホワイトノイズ（低域強調）の 3 種類で、テスト音無しの場合と合わせて全 4 種類のばく露条件とした。

上記の wav ファイルは、音源用 PC（Windows）の音楽編集・再生用ソフトウェア（Magix，Samplitude Pro X2）で再生した。再生音はオーディオインターフェイス（RME，Fireface 802）で D/A 変換後、パワーアンプ（ローランド，SRA-600E）を介して半無響室内のスピーカへ伝送した。3 つのテスト音はいずれも定常的な音で、被験者の頭部位置での音圧レベルが 65 dB(A)になるように調整した。この音圧レベルは、やや騒がしいオフィスを想定したものである。なお、実験室内の暗騒音（主に空調騒音）は、33 dB(A)であった。

被験者頭部位置でのテスト音の周波数スペクトルは、主にスピーカの周波数特性の影響により狙い通りのスペクトルを正確に再現できるとは言えなかったが、概ね想定範囲内のスペクトルになっていた。ホワイトノイズ（高域強調）では、ピンクノイズと比較して 2.5 kHz バンド以上の高周波域で音圧レベルが高く、それ以下の周波数域で音圧レベルが低いスペクトルで、ホワイトノイズ（低域強調）は両者の中間的なスペクトルであった。一つのテスト音へのばく露時間は 20 分で、その間に被験者は次に説明する「江川のテスト」を行った。

3) PC 作業の方法

今回の研究では被験者に PC 作業を行わせたが、それには江川が使用した作業課題⁶⁾を使用した。ここでは、仮称として「江川のテスト」と呼ぶ。その具体的な作業手順は、以下の通りである。

・手順 1：PC 画面上に図 2(a)のような画面（例）が表示される。被験者は、画面上の X と Y の 2 つの数字（乱数で発生させる）を、それぞれ四捨五入して有効数字 2 桁で記憶する。図 2(a)の場合、X=1.8，Y=67 を記憶することになる。記憶したらリターンを入力し、次の画面（図 2(b)）へ移る。

・手順 2：次の画面（図 2(b)）では、被験者は、画面に表示された (1) ~ (3) のスケールの中から記憶した X に合致するスケールを選択する。この例では、X=1.8

X = 1.80

Y = 66.5

四捨五入して
有効数字 2 桁を
記憶してください！

図 2(a)：「江川のテスト」の手順 1

Xの値には、

どのスケールを選びますか？

1, 2, 3 のいずれかを選んでください。

(1) 0 ~ 1 のスケール

② 1 ~ 10 のスケール

(3) 10 ~ 100 のスケール

図 2(b)：「江川のテスト」の手順 2

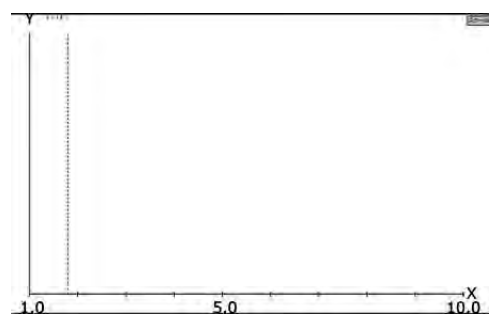


図 2(c)：「江川のテスト」の手順 3

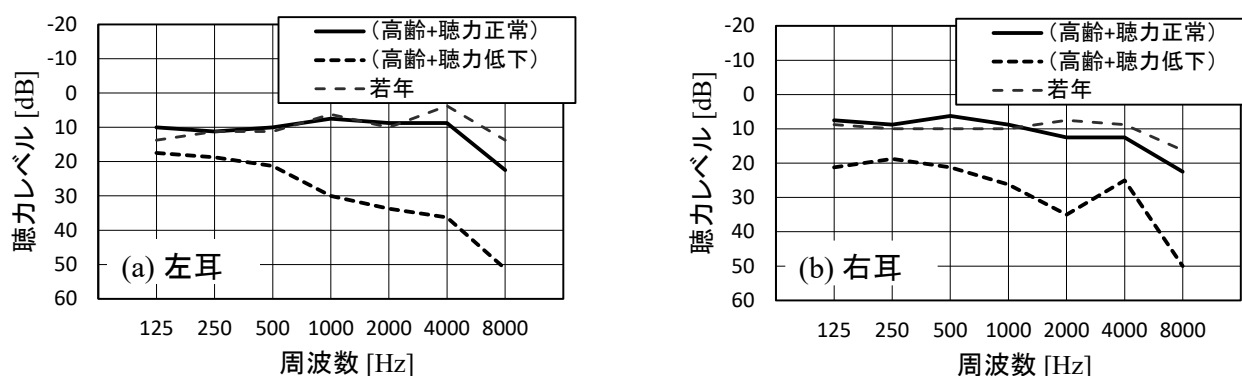


図 3: 3 被験者群の聴力 (平均値): (a) 左耳, (b) 右耳

を記憶しているはずなので, (2) の「1~10 のスケール」を選択するのが正しい. スケールを選択したらリターンを入力し, 次の画面 (図 2(c)) へ移る.

江川⁶⁾によれば, この手順は, 定性的エラー (1 が正解であるのに 2 を選択してしまうような, ON/OFF タイプのエラー) の出現を調べるためのものである.

・手順 3: 次の画面 (図 2(c)) では, 前の画面で被験者が選択したスケールで X 軸 (横軸) が表示される (この時点でスケール選択の誤りに気付けば, 前の画面に戻って再選択が可能). 被験者は, マウスを使って点線 (垂直) を移動し, 記憶している X の位置に点線を合わせる. この例では, 点線を X=1.8 の位置に合わせることになる. 点線の位置決めが終わればリターンを入力し, 次の画面へ移る.

江川⁶⁾によれば, この手順は, 定量的エラー (X=1.8 に合わせるべきであるのに, 作業の正確性が低下して誤りになってしまうタイプのエラー) の出現を調べるためのものである.

・手順 4: 手順 2 と同様の画面が表示され, 被験者は, 記憶した Y に合致するスケールを選択する. この例では, Y=67 を記憶しているはずなので, (3) の「10~100 のスケール」を選択するのが正しい. 選択後, リターンを入力し, 次の画面へ移る.

・手順 5: 手順 3 の X 軸 (軸上の X の値を決定済み) が表示された上に重ねて, 被験者が選択したスケールの Y 軸 (縦軸) が表示される (ここでも, 前の画面に戻ってスケールの再選択が可能). 被験者は, マウスを使って点線 (水平) を移動し, 記憶している Y の位置に点線を合わせる. この例では, 点線を Y=67 の位置に合わせるようになる. リターンを入力すれば 1 サイクルの作業が完了となり, 手順 1 の画面 (図 2(a)) に戻る.

以上, 手順 1~5 が 1 サイクルの作業課題である. 1 サイクルの間, X と Y の値を記憶している必要があるため, これは短期記憶に関連する作業課題でもある.

被験者には, 20 分のテスト音へのばく露中にできるだけ正確に, かつ多くのサイクルを処理するように指示をした. 一つのテスト音での作業 (20 分) が終了すると, 10 分の休憩を挟み, 次のテスト音で同じ作業を行わせた. 4 つのばく露条件の使用順はランダムとした.

4) 心理的印象の測定方法

一つのテスト音へのばく露が終了した後の休憩中 (10 分) に, 直前のテスト音に対する主観的印象を 7 段階の評定尺度法で評価させた. 各評価項目について, その印象が大きければ高い評価 (高得点), 印象が小さければ低い評価 (低得点) になるように評価させ, 「非常に小さい」を 1 点, 「小さい」を 2 点, 「やや小さい」を 3 点, 「どちらともいえない」を 4 点, 「やや大きい」を 5 点, 「大きい」を 6 点, 「非常に大きい」を 7 点とした.

評価したのは以下の 10 項目である. 被験者には, 直前のテスト音が聞こえている条件でデスクワークや勉強等を行うことを想定させ, その状況でのテスト音に対する主観的印象を回答させた.

- ・「うるさい」.
- ・「心地よい」.
- ・「作業がやり易い」.
- ・「イライラする」.
- ・「眠くなる」.
- ・「落ち着く」.
- ・「気になる」.
- ・「集中できない」.
- ・「好ましい音だ」.
- ・「大きな音だ」.

5) 被験者

聴力の影響をより明瞭に示すため, 高齢者群を (高齢+聴力正常) 群と (高齢+聴力低下) 群の 2 群に分け, 若年群と合わせて計 3 群を用いた. 各被験者群の人数は 4 名ずつで, 計 12 名である. どの被験者も, 職場や学校で PC 作業の経験を有し, かつ日常的に補聴器等を使用していない者である.

(高齢+聴力正常) 群の男女構成は男 2 名, 女 2 名で, 年齢 (平均±SD) は 57.0±1.9 歳である. 同様に, (高齢+聴力低下) 群は男 2 名, 女 2 名で, 年齢は 63.8±3.6 歳, 若年群は男 1 名, 女 3 名で, 年齢は 31.5±5.7 歳である.

被験者群ごとの気導聴力測定結果 (実験開始前に測定) を図 3 に示す (平均値のみ. 煩雑を避けるために SD は省略). (高齢+聴力正常) 群と若年群の聴力には大きな差

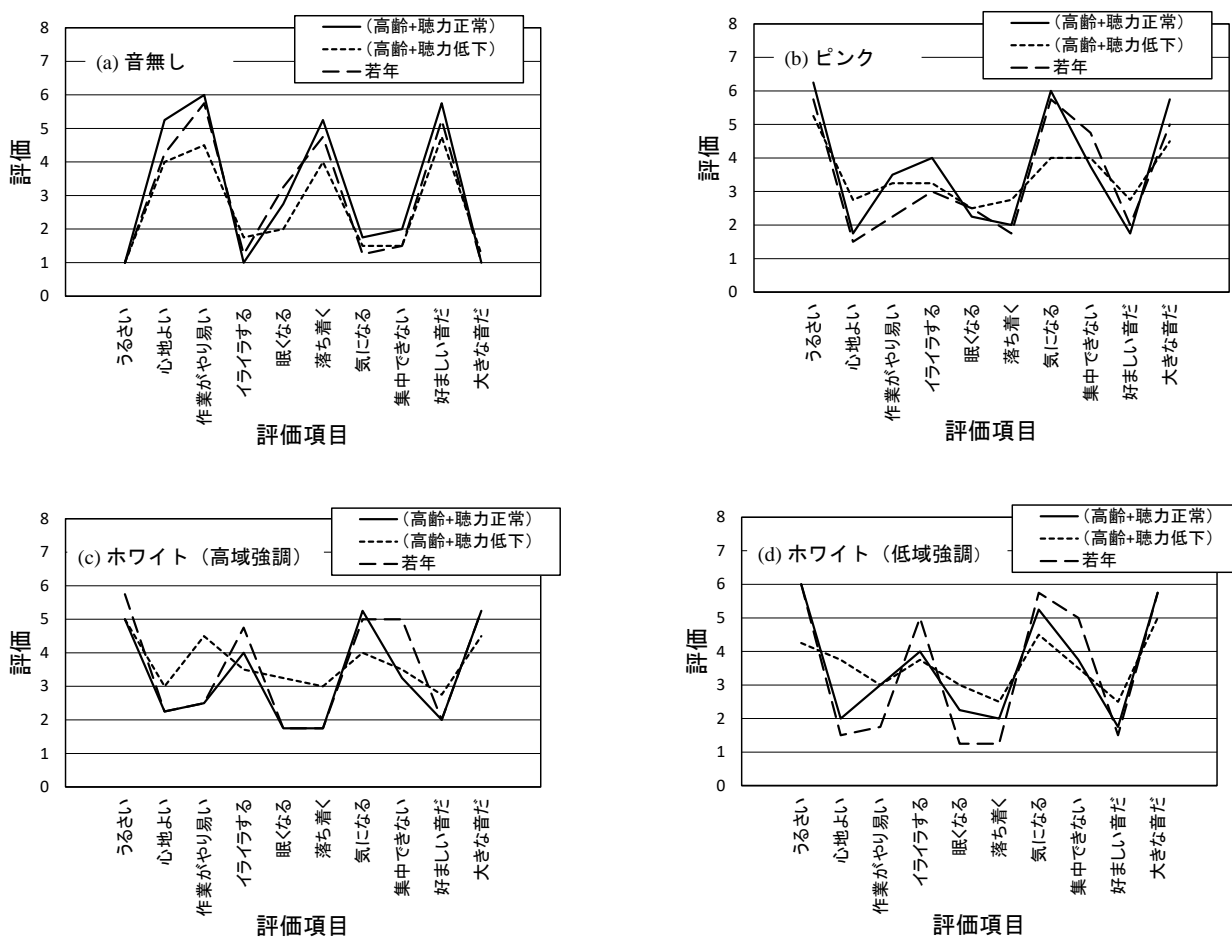


図4: テスト音に対する主観的印象の評価(平均値): (a)音無し, (b)ピンクノイズ, (c)ホワイトノイズ(高域強調), (d)ホワイトノイズ(低域強調)

は無かったが、(高齢+聴力低下)群の高周波域での聴力は顕著に低下していた。

6) 研究倫理審査

この研究での被験者実験は、独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所(登戸地区)研究倫理審査委員会で審査・承認(通知番号: 2022N01)されたものである。

3. 実験結果

1) 結果について

最初に結論を述べると、この実験では音のばく露による高齢者の作業への影響を明確に見出すことはできなかった。そこで、以下では結果の詳細は省略し、概要を述べるに留める。

2) テスト音の心理的印象

図4に、テスト音に対する心理的印象の結果を示す(平均値のみ。煩雑を避けるためにSDは省略)。サンプル数が少ないため、統計的検定はしなかった。明確に分かるのは、音無し条件と他の3つのテスト音条件で、印象の傾向がほぼ逆になっていることである。明らかに、音無

し条件で作業がやり易く感じられる傾向があり、テスト音にばく露した条件ではやりづらく感じられている。

細かく見ると、他にもいくつかの特徴がみられる。まず、(高齢+聴力正常)群と若年群の傾向が似ていることが分かる。両者の聴力が似ていたことから(図3)、聴覚による音の知覚も似た傾向になっている可能性がある。

(高齢+聴力低下)群でもおおまかな傾向は似ていたが、全体的に、他の2群と比較すると弱い印象(評価点が中間値の「どちらともいえない」に近い)になっていた。聴力の低下した高齢者では環境中の音に対する反応の程度も低下するというのは、もっともらしい結果と考えられる。

3) 「江川のテスト」の作業課題の処理時間の例

図5に「江川のテスト」の作業課題の処理時間の例として、(高齢+聴力正常)群の1名について、音無しの場合とホワイトノイズ(高域強調)の場合を示す。

他の被験者にも見られたが、最初に呈示したテスト音(音無しの場合を含む)では、やや処理時間が長くかかり、その後は次第に短くなるという傾向があった(図5では、ホワイトノイズ(高域強調)が1番目、音無しが4番目)。実験開始前に「江川のテスト」の練習時間を設け、被験者が手順に慣れてから本実験に移行したが、緊

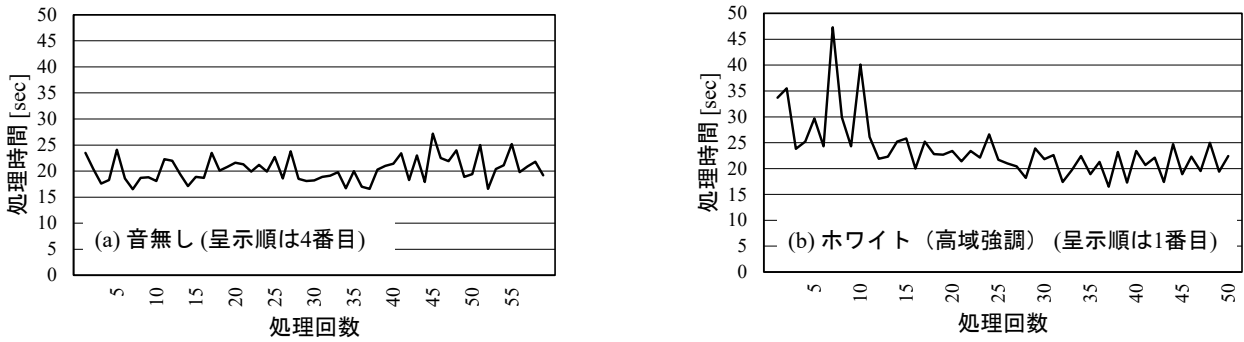


図5: 「江川のテスト」の作業課題の処理時間の例: (高齢+聴力正常) 群の1名の被験者の例:
(a) 音無し, (b) ホワイトノイズ (高域強調)

張のためか、最初期には少し時間がかかったものと考えられる。但し、4つのばく露条件はランダムな順序で使用したので、全体としてテスト音の呈示順の影響は相殺されていると考えられる。

図5において、縦軸の処理時間の上下変動は処理時間のばらつきを表し、横軸の処理回数は作業スピードに対応する。処理時間のばらつきについては、作業の正確性に関係している可能性があるが、後述するように、3つの被験者群で目立った差は無かった。処理回数については、これも後述するように、(高齢+聴力低下) 群で、他の2群と比較して明らかに少なかった。

4) 「江川のテスト」の全体結果

図6に「江川のテスト」の全体結果をまとめる(作業課題の各ステップごとの詳しい分析の結果は省略)。ここでは、各被験者群の4名の結果をまとめて、被験者群ごとの結果として示している。テスト音に対する心理的印象の場合と同じく、ここでも、サンプル数が少ないことから、統計的検定はしなかった。

作業の正確性については、エラー率が指標となる。明らかに、(高齢+聴力低下) 群で他の2群よりもエラー率が高く、正確性が劣ることが分かるが、ばく露条件による差は見られず、音無しの条件だけで比較しても他の2群よりもエラー率が高かった。したがって、騒音の周波

数特性によって正確性が影響を受けたというよりは、もともとの正確性が他の2群よりも低かったと解釈するのが妥当と考えられる。ホワイトノイズ(低域強調)の条件でエラー率が低下しているが、低域の音に対しては聴力低下(図3にあるように、高周波域での聴力低下が顕著)の影響が少ないはずで、むしろテスト音の影響を受けやすくなりエラー率が上昇するのではないかと考えられる。周波数スペクトルの似たピンクノイズの条件でも同様の結果になっておかしくないが、そうはなかった。

(高齢+聴力正常) 群と若年群の聴力は似ていたが(図3)、前者ではホワイトノイズ(2種類)でエラー率が上昇する傾向が見られ、後者では逆に、それらに対してエラー率が低下する傾向が見られた。これは、テスト音による影響が聴力特性と関係するのではないかという本研究の仮説に反する結果であった。

処理時間のばらつき(SDが指標となる)については、3被験者群間に目立った差は見られなかった。

作業スピードについては、(高齢+聴力低下) 群の総処理数が明らかに少なく、作業スピードが遅かったことが分かる。しかし、これについてもばく露条件による差は小さく、騒音の周波数特性によって影響を受けたのではなく、もともとの処理スピードが他の2群よりも遅かったと解釈するのが妥当と考えられる。

| | | テスト音 | | | | |
|-----------|-----------------|------------|------------|-------------|-------------|------|
| | | 音無し | ピンク | ホワイト (高域強調) | ホワイト (低域強調) | |
| (高齢+聴力正常) | 総処理数 | 320 | 319 | 290 | 289 | |
| | 処理時間 | 平均 [sec] | 14.9 | 15.0 | 16.4 | 16.5 |
| | | SD [sec] | 5.1 | 4.7 | 6.8 | 4.3 |
| | エラー数 (エラー率 [%]) | 34 (10.63) | 34 (10.66) | 35 (12.07) | 39 (13.49) | |
| (高齢+聴力低下) | 総処理数 | 246 | 257 | 253 | 237 | |
| | 処理時間 | 平均 [sec] | 19.3 | 18.5 | 18.8 | 20.1 |
| | | SD [sec] | 7.5 | 5.6 | 6.0 | 7.3 |
| | エラー数 (エラー率 [%]) | 43 (17.48) | 46 (17.90) | 45 (17.79) | 35 (14.77) | |
| 若年 | 総処理数 | 306 | 287 | 301 | 315 | |
| | 処理時間 | 平均 [sec] | 15.6 | 16.6 | 15.8 | 15.2 |
| | | SD [sec] | 7.0 | 6.5 | 5.8 | 5.6 |
| | エラー数 (エラー率 [%]) | 32 (10.46) | 23 (8.01) | 15 (4.98) | 27 (8.57) | |

図6: 「江川のテスト」の結果まとめ

4. まとめ

被験者として（高齢+聴力正常）群，（高齢+聴力低下）群，若年群の3群を使用し，周波数特性の異なる騒音へのばく露による高齢者の作業阻害の測定を試みた．騒音に対する主観的印象については，どの被験者群でも音無し条件下で最も作業し易いという，妥当な結果になったが，「江川のテスト」を利用したPC作業の処理スピード，正確性については，必ずしも音無し条件が最も良い結果とはならず，また，ばく露音の周波数特性との関係でも明確な結果は得られなかった．（高齢+聴力低下）群では，他の2群と比較して作業スピードが遅かったが，ばく露音による影響ではなく，もともとの被験者群の特性と考えるのが妥当な結果であった．作業の正確性についても，ばく露音の周波数特性との明確な傾向は見られなかった．

以上のような不明瞭な結果になった原因の一つとして，被験者数が不十分なために個人差の影響が前面に出てしまった可能性が考えられる．また，（高齢+聴力低下）群の平均年齢が（高齢+聴力正常）群の平均年齢よりも7歳近く高かったことも影響している可能性がある．テスト音の周波数特性の設定，音圧レベルの設定等も含め，今後のさらなる検討を要する．

以上のような検討課題があることが留保条件になるが，今回の実験結果からは，やや騒がしいオフィスの音環境を想定した程度の音圧レベルの騒音へのばく露では，高齢被験者への作業阻害を明確に見出すことは難しいと推測できる．一般的なオフィスの範疇に入る音環境（聴力に影響を及ぼす恐れはない程度の音圧レベルの騒音が存在する環境）であれば，音の周波数特性の違いによって高年齢労働者の作業に影響を受ける可能性は低いと考えられる．

参 考 文 献

- 1) 総務省統計局. 労働力調査（基本集計）2022年（令和4年）平均.
<https://www.stat.go.jp/data/roudou/sokuhou/nen/ft/pdf/index1.pdf>（最終アクセス日2023年7月1日）
- 2) Kurakata, K., Mizunami, T., Matsushita, K., Shiraishi, K. Air conduction hearing thresholds of young and older Japanese adults for pure tones from 125 Hz to 16 kHz. *Acoust Sci & Tech.* 2011; 32 (1): 16-22.
- 3) 佐伯徹郎, 藤井健生, 山口静馬, 加藤裕一. 短期記憶作業時における騒音の影響 — うるささの心理的印象と作業成績 —. *日本音響学会誌.* 2003; 59 (4): 209-214.
- 4) Habibi, E., Dehghan, H., Dehkordy, S. E., Maracy, M. R. Evaluation of the effect of noise on the rate of errors and speed of work by the ergonomic test of two-hand coordination. *Int J Prev Med.* 2013; 4 (5): 538-545.
- 5) Monteiro, R., Tomé, D., Neves, P., Silva, D., Rodrigues, M. A. The interactive effect of occupational noise on

attention and short-term memory: A pilot study. *Noise Health.* 2018; 20 (96): 190-198.

- 6) 江川義之. 作業環境騒音が高齢者の作業効率に与える影響に関する研究. *SRR.* 1993; 13: 19-32.