

視聴覚刺激を考慮した快適性および 集中力向上のための作業環境の創生

Creation of Comfortable and Concentrated Workplace in Consideration of Audio-Visual Stimuli

精密工学専攻 61号 松本 大祐
Daisuke Matsumoto

1. はじめに

近年、テレワークなどの導入企業が増え、従来の作業環境から変化が生じている。ウェブ会議などの普及に伴い、これまでと異なる慣れない場所で集中できない場合があり、作業環境の改善が求められている。先行研究では、オープンプランオフィスで作業者が気になっている環境要因として、一番目に音環境、二番目に光環境が挙げられている⁽¹⁾。

そこで本研究では、作業中の音環境と光環境に着目し、周囲からの人の声を別の音で目立たなくするマスキング効果を利用して、作業に適した音環境を構築する。また、明るさに着目して、作業に適した光環境を構築する。そして、音環境と光環境の両方を考慮した快適で集中できる作業環境の構築を目指す。

なお、本研究のすべての評価は、実験参加者に対し十分な実験内容の説明を行い、インフォームド・コンセントを得て実施している。

2. 暗騒音を想定した周波数勾配の違いによる音環境評価

本章では、暗騒音を想定した周波数勾配の異なる音について評価を行い、作業に適した音環境を把握する⁽²⁾。

2.1 実験条件

評価音は、どのような勾配が作業に適しているかを確認するため、Fig. 1に示す周波数勾配の異なり、正の勾配を持つ6 dB/oct、平坦な特性を持つ0 dB/oct、負の勾配を持つ-6 dB/octの3音を用いる。評価音の提示はスピーカを用いて、0 dB/octの評価音を60 dBで再生した際のラウドネスに統一する。

被験者は、タスク終了後に再度評価音を提示し、集中できた評価音を回答する主観評価と、fNIRSを用いた脳血流による客観評価を行う。そして、評価時にFig. 2に示すような30秒を1施行として大文字と小文字が混在するアルファベットをPCモニター上に2秒おきに表示させ、2個前に表示した文字と比較して、一致しているかどうかを回答する2バックタスクを行う。

評価は、脳活動が同一とみなせるという理由で、非喫煙者かつ当日のカフェイン摂取がなく、右利きの20代10名を対象に行った。

2.2 fNIRS 解析方法

Fig. 3に示す前頭葉から側頭葉の計52chのデータを用いる。脳血流データの解析は、各チャンネルのヘモグロビン濃度の時間波形を、タスクに沿って活動する理想的な脳活動モデルで線形近似し、その線形係数 β によってタスクに依存した脳活動強度を推定するGLM解析を用いる⁽³⁾。

ここで、理想的な脳活動モデルには、インパルス的に脳活動が生じたときの血流信号を模擬する⁽⁴⁾。また、各チャンネルと脳領域を対応付けるため、国際10-20法⁽⁵⁾による電極配

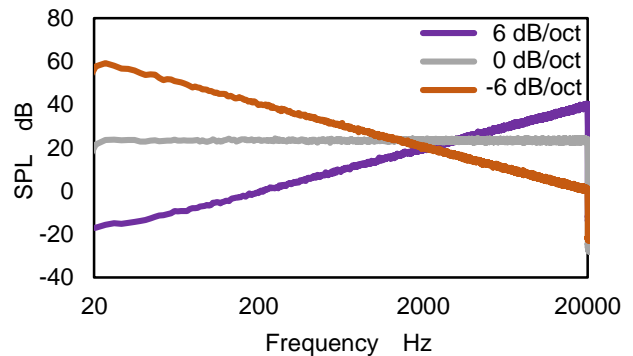


Fig. 1 Frequency response of evaluation sounds

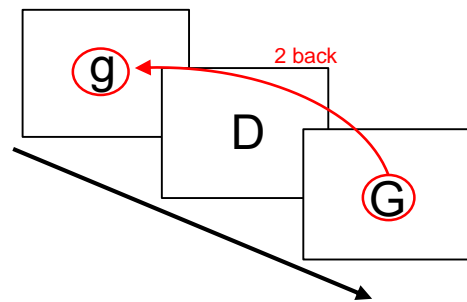


Fig. 2 About 2 back task

←Right										Left→										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52											

Fig. 3 Channel number of fNIRS

置と、確率的レジストレーション法によって脳座標の1つであるMNI座標系への投影を行う⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

2.3 実験結果

被験者10名中、信号ノイズが大きい等により8名のデータを用いて解析する。各チャンネルのGLM解析による β 値を用いて、効果量のcohen's dを算出した結果をFig. 4に示す。この結果より、楕円で示したch15を含む領域において、-6 dB/octと比較して6 dB/octの提示時は有意に脳血流が低下することがわかった。また、0 dB/octと6 dB/octを比較した際も、Fig. 4と同様の領域において6 dB/octで

有意に脳血流が低下した。これらのチャンネルは情動に関わる右の背外側前頭前野領域であり、6 dB/oct を聞いている状態でこの部位の脳機能が低下し、ストレスが高いと考えられる。

また、被験者に集中できた評価音を回答してもらったところ、10人中9人は-6 dB/octであったため、最も集中できる評価音は負勾配を有する音であると考えられる。

3. 周囲会話を想定した音環境評価

本章では、集中を阻害する音環境として挙げられる周囲からの音声情報に着目し、これをマスキングするために適した音環境の把握を行う⁽⁸⁾。

3.1 周囲会話音のマスキングに適した周波数勾配の選定

3.1.1 実験条件

2章において、負勾配の音が作業に適しているという実験結果から、音声マスキングに適した負勾配の音を選定する実験を行う。評価音は、-3 dB/oct と -6 dB/oct の2種類の負の勾配を持つ音を使用する。また、上記の音をマスキャーとして利用し、マスキャーには発声が明瞭で標準的なイントネーションの音声情報を有するニュース音声を用いる。評価音はスピーカで再生し、最大音圧レベルをそれぞれ60dBaに統一して、マスキャーとマスキャーを同時に提示する。また、評価時にはタスク中の音声情報の聞こえやすさを評価するため、2バックタスクを実施した状態で評価音を提示する。主観評価は、音声情報のマスキングに関する7段階の評定尺度法を実施する。20代5名を対象に実験を行った。

3.1.2 実験結果

マスキャーの違いによる音声情報マスキングに関する主観評価を Fig. 5 に示す。これより、-6 dB/oct のマスキャーよりも -3 dB/oct の方が音声情報マスキングに適していることがわかる。よって、今後の実験では -3 dB/oct のマスキャーを使用する。また、先行研究より、-3 dB/oct の音の中でも、177-5656 Hz に周波数帯域を制限した音で最もマスキング効果が高い⁽⁹⁾ため、今後はこの音のマスキャーとして使用する。

3.2 周囲会話音のマスキングに関する脳活動評価

3.2.1 実験条件

評価音は S1~S3 の3条件を使用し、S1 はマスキャーのみを提示する。マスキャーには、ニュース音声を用いる。S2 はマスキャーに加えてマスキャーを提示する。マスキャーには、-3 dB/oct を 177-5656 Hz で周波数制限した音を用いる。そして、S3 は S2 のマスキャー+マスキャーの音環境よりも快適性を高めることを目的として、バッハが作曲したクラシック音楽「主よ人の望みの喜びよ」を付加する。この音楽は、まず 67 曲のクラシック音楽の中から、快適かつ集中力を低下させない曲として、長調かつ急激に音圧が変化しない曲を選定した。次に数名の被験者に聞き慣れている曲かつ快適性が高い音楽を選んでもらい決定した。

評価には、7段階絶対評価の評定尺度法を用いた快適感、覚醒感およびマスキング効果に関する主観評価に加えて、fNIRS による客観評価を実施する。評価音の提示はスピーカを用いて、最大音圧レベルを 60 dBa に統一する。評価時には2バックタスクを実施し、非喫煙者で当日にカフェイン摂取がない右利きの被験者 20 代 7 名を対象に実験を行った。

3.2.2 実験結果

音環境に関する主観評価の結果を Fig. 6 に、fNIRS を用いた脳血流反応として、S3 から S1 を引いた結果を Fig. 7 に示す。Fig. 6 より、S2 の条件下では快適感が低いが、S3 の条件では快適性が高くなることわかる。また、人の声の気

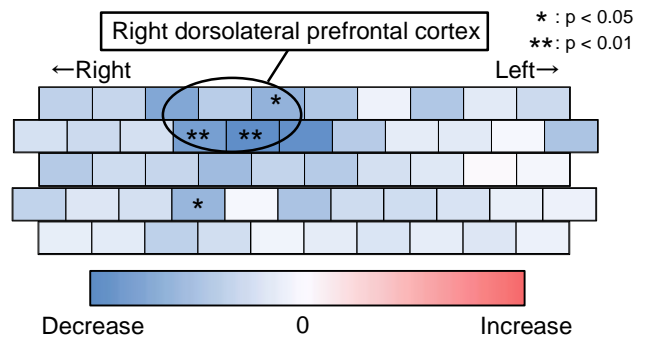


Fig. 4 Cerebral blood flow of 6 dB/oct based on result of -6 dB/oct

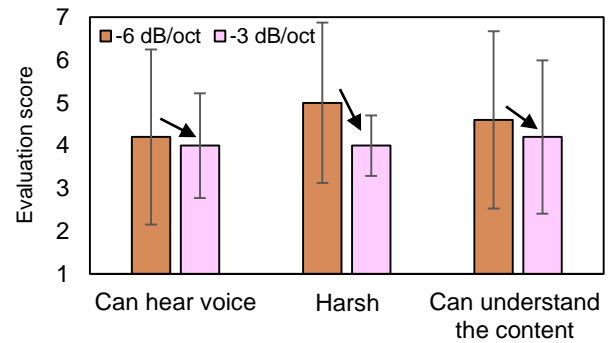


Fig. 5 Evaluation results for sound masking

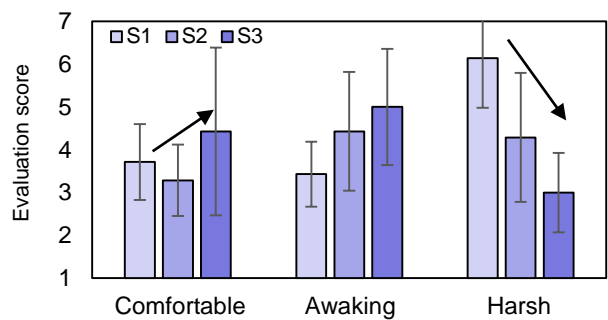


Fig. 6 Subjective evaluation under single stimulus of sound

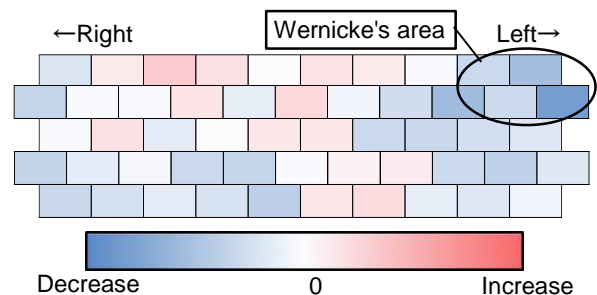


Fig. 7 Cerebral blood flow of S3 based on result of S1 under single stimulus of sound

になり度合いが低く、マスキング効果が高いことがわかる。これは、バッハの曲を付加したことによって快適感が高くなり、その音楽に気が逸れて人の声が聞こえづらくなったと考えられる。

Fig. 7 より、S1 と比較して S3 は、ch10 を含む左ウェルニッケ野において脳血流が低下傾向にあるため、この領域に着目する。このウェルニッケ野は、言語野の一種であり、マスキャーの音声情報が聞こえたことで活性化されたこの領域を、マ

スカーによって鎮静化させたと考えられる。このことから、主観評価における快適感の評価およびfNIRSを用いた音声マスキング効果の客観評価より、快適で音声マスキング効果の高いS3の条件が作業に適していると考えられる。

4. 照度の違いを考慮した光環境評価

本章では、作業環境の中で作業者が気になっている環境要因として、作業に適した光環境を構築する⁽⁸⁾。

4.1 実験条件

評価する光環境の条件は、色温度を5000 Kに統一し、照度をL1は250 lx、L2は500 lxに統一した2条件を用いる。厚生労働省が定めた事務所衛生基準規則第10条第1項において、一般的な事務作業の照度基準が300 lx以上であることから、評価する照度は、この基準以下と以上とした。

評価中のタスクは2バックタスクを用い、評価は、7段階絶対評価の評定尺度法を用いた快適感、覚醒感および明るさに関する主観評価に加えて、fNIRSによる脳血流を用いた客観評価を実施する。評価は、非喫煙者で当日のカフェイン摂取がない右利きの20代8名を対象に行った。

4.2 実験結果

光環境に関する主観評価の結果をFig. 8に、脳血流反応として、L2からL1を引いた結果をFig. 9に示す。

Fig. 8より、作業をするうえでL2の明るい環境で「快適な」の評価が高いことがわかる。また、L1と比較してL2の条件で「目覚めるような」の評価が高く、明るい環境で快適感と覚醒感を保って作業を行うことができると考えられる。

また、Fig. 9より、光環境に関連がある領域の中で、前頭眼野の脳血流が増加している。前頭眼野は、眼球運動に関連する脳領域で、L2の照度が高い明るい環境では、PCモニター上に提示される2バックタスクのアルファベットを確実に読むことで、脳血流が増加した可能性が考えられる。このことから、暗い環境と比較して明るい環境の方が集中して作業できると考えられる。

L1, L2の条件の他に、色温度を3000 Kに設定した条件で、色温度差に関する同様の評価を行ったが、脳血流の差は見られなかった。一方、主観評価では、3000 Kと比較して5000 Kの光環境で覚醒感が高く作業に適している結果が得られたので、5章以降では色温度を5000 Kに統一して評価を行う。

5. 音環境および光環境の複合刺激による作業環境評価

本章では、周囲からの音声情報に対するマスキングの有無と照度の変更を組み合わせ、音環境と光環境の複合刺激の評価を行う⁽⁸⁾。

5.1 音環境および光環境による脳血流評価

5.1.1 実験条件

評価に使用する条件をTable 1に示す。音声情報のマスキングの有無、および照度の大小による計4条件で評価を行う。音声情報のマスキング時には、マスキングとして177-5656 Hzのピンクノイズに、快適性を考慮してバッハの曲を付加した

音を用いる。評価手順は3章および4章と同様で、非喫煙者で当日にカフェイン摂取がない右利きの被験者20代7名を対象に実施した。

5.2.2 実験結果

音環境と光環境に関する複合刺激の主観評価をFig. 10に示す。「快適な」の評価点は、音声情報をマスキングしているSL3, SL4の条件で高く、音環境の快適感への寄与が大きいと考えられる。また、「目覚めるような」の評価点は、照度の高いSL2, SL4の条件で高く、光環境の覚醒感への寄与が大きいと考えられる。

次に、fNIRSを用いた脳血流反応として、SL4からSL1を引いた結果をFig. 11に示す。SL1と比較してSL4において音声情報マスキングに関連するウェルニッケ野で脳血流が低下し、光環境に関連する前頭眼野において脳血流が増加していることがわかる。これは、SL1と比較してSL4で音声情報がマスキングされ、人の声が聞こえ難くなったことで集中できる環境となり、照度が高くなるとPCモニター上のアルファベットを確実に読むことができ、集中できる環境となったと考えられる。脳血流反応において、音環境と光環境の独立した複数の刺激において、ウェルニッケ野と前頭眼野という別の脳領域の反応がそれぞれ確認できた。これらのことから、音環境と光環境の複合刺激で快適かつ集中できる環境を作り出せることを見出した。

5.2 計算タスクによるパフォーマンス検証

5.2.1 実験条件

評価条件はTable 1に示す。音声情報のマスキングの有無および照度の大小の計4条件を用いる。評価に使用するタスクは計算タスクで、2桁の加減算を用いる。繰り返りがない

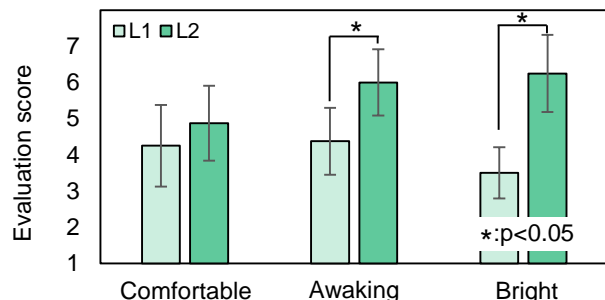


Fig. 8 Subjective evaluation under single stimulus of light

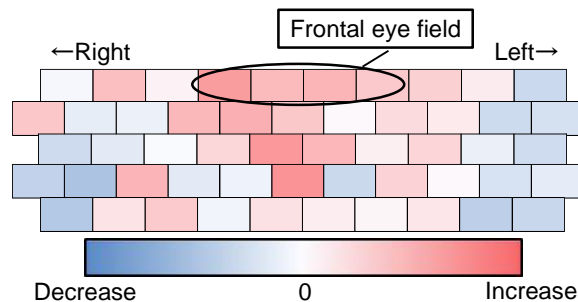


Fig. 9 Cerebral blood flow of L2 based on result of L1 under single stimulus of light

Table 1 Sound and light condition

Condition name	Sound condition			Light condition		
	Maskee	Masker	Additional sound	Color temp. K	Illuminance lx	
SL1	Voice (News speech)	Nothing			5000	250
SL2						500
SL3		Pink noise	"Jesu, Joy of Man's Desiring" created by Bach			250
SL4						500

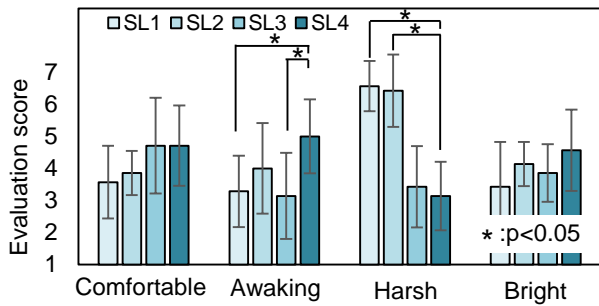


Fig. 10 Subjective evaluation under complex stimuli

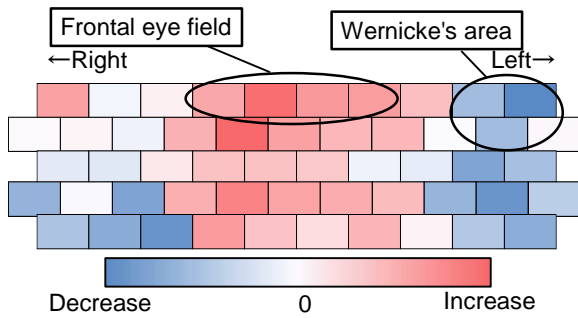


Fig. 11 Cerebral blood flow of SL4 based on result of SL1 under complex stimuli

い加算, 繰り下がりのない減算, 繰り上がりのある加算, 繰り下がりのある減算をそれぞれ 15 問の計 60 問を 1 施行としてタスクを実施する. 評価音の提示は 4 章と同様で, 被験者は 20 代 6 名を対象に実験を行った.

5.2.2 実験結果

音環境をそれぞれ変更した場合として, SL1, SL2 の各解答の平均解答時間と, SL3, SL4 の平均解答時間の比較結果および, 光環境をそれぞれ変更した場合として, SL1, SL3 の平均解答時間と, SL2, SL4 の平均解答時間を Fig. 13 に示す. この結果より, 音声情報をマスキングした場合に計算時間はほぼ一定で, 照度を高く設定した場合に計算時間が減少していることがわかる. このことより, 本実験条件では照度を 500 lx に設定した条件で最も計算時間が短くなり, 集中して作業に取り組めると考えられる.

また, 音声情報のマスキングが有る条件では人の声が聞こえ難く, かつ音楽を付加すると快適感が高くなる. このことから, 快適に集中して作業に取り組むことができる条件は, 音声情報をマスキングし, 音楽を付加してかつ照度が 500 lx 程度の明るい環境であると考えられる.

6. 研究成果

- (1) 周波数勾配の異なる音において, 脳血流評価によりストレスを評価できる可能性を示し, 音声情報マスキングに有用な勾配が -3 dB/oct であることを示した.
- (2) 音声情報をマスキングする際にマスキングに適しているとピンクノイズに音楽を付加することで快適性を向上させながらマスキングを実施できることを示した.
- (3) 光環境における照度を変更した際に, 500 lx の環境で前頭眼野での脳血流が増加し, 覚醒感を維持しながら集中できる環境を構築できることを示した.
- (4) 音環境と光環境の複合刺激で, 単刺激と同様の脳血流反応があることを示し, 本実験条件では音声情報のマスキングの有無よりも光環境の照度の大小の方が作業時間の短縮への寄与が大きいことを示した.

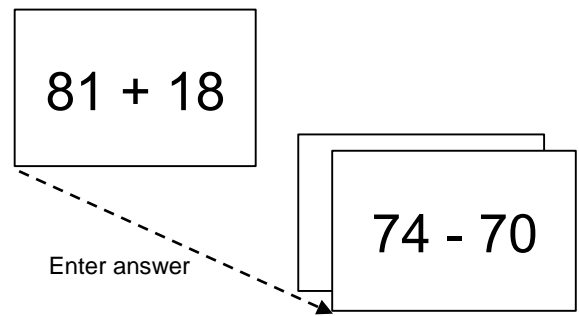


Fig. 12 About calculation task

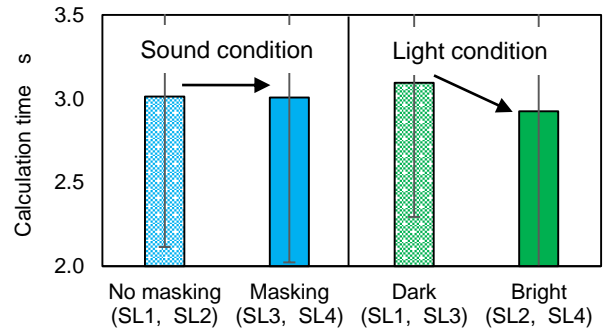


Fig. 13 Calculation times under complex stimuli

参考文献

- (1) 井上瑞紀, WEB 会議エリアのあるオープンプランオフィスにおける音環境改善方法の検討-実態調査と課題の提示-, 日本音響学会講演論文集 (春) (2021) pp. 1241-1244.
- (2) 松本大祐, 山口雅夫, 戸井武司, 脳血流に基づく集中力向上のための音声情報マスキング効果の把握, 日本音響学会講演論文集 (春) (2023) pp. 973-974.
- (3) Minako Uga, Ippeita Dan, Toshifumi Sano, Haruka Dan, Eiju Watanabe, Optimizing the general linear model for functional near-infrared spectroscopy: an adaptive hemodynamic response function approach, *Neurophotonics*, **1-1** (2014).
- (4) 小野弓絵, MATLAB で学ぶ生体信号処理, コロナ社, 東京 (2018) pp. 101-124.
- (5) Valer Jurcak, Daisuke Tsuzuki, Ippeita Dan, 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems, *NeuroImage*, **34-4** (2007) pp.1600-1611.
- (6) Daisuke Tsuzuki, Ippeita Dan, Spatial registration for functional near-infrared spectroscopy: From channel position on the scalp to cortical location in individual and group analyses, *NeuroImage*, **85-1** (2014) pp.92-103.
- (7) Archana K Singh, Masako Okamoto, Haruka Dan, Valer Jurcak, Ippeita Dan, Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI, *NeuroImage*, **27-4** (2005) pp.842-851.
- (8) 松本大祐, 戸井武司, 音環境および光環境による快適かつ集中力向上のための作業環境の構築, 日本音響学会講演論文集 (春), 2-9-1 (2024).
- (9) 佐伯徹郎, 藤井健生, 山口静馬, 老松建成, 音声をマスクするための無意味定常雑音の選定, 電子情報通信学会論文誌, **J86-A-2** (2003) pp. 187-191.