

## 妨害音の到来方向およびタスクの種類が作業のしにくさに及ぼす影響\*

☆熊谷 直登, (千葉工大院・工学研), △浅倉 政隆, △長内 傑 (千葉工大・工),  
竹林 健一, 矢入 幹記 (鹿島技研), 飯田 一博 (千葉工大・工)

## 1 はじめに

近年, オフィスや教室の音環境と知的生産性や学習効率の関係について研究が行われ, 妨害音の種類やレベル, SN 比の影響が報告されている[1,2]. 我々は空間的特性に着目し, 妨害音の到来方向と作業のしにくさの関係について報告した[3]. そこでは, タスクにアルファベットの N-back 課題, 妨害音に朗読 CD を用いて, 妨害音が前および右方向の場合は作業がしにくいという結果を提示した. しかし, 条件が限定的であるとともに, 実オフィスを考えて時にタスクと妨害音の言語の不一致は現実的でない.

本稿ではタスクを単語記憶, 妨害音を単語音声とした場合に, 音声の到来方向, 音声およびノイズのレベルをパラメータとして被験者実験を行った結果を報告するとともに, タスクの種類が作業のしにくさに及ぼす影響について検討する.

## 2 実験方法

実験は無響室で行った. 妨害音として音声およびノイズを同時に提示した. 音声は直接音と 2 本の反射音(直接音 $\pm 45^\circ$ ) で構成した(Fig. 1). 反射音にはそれぞれ 25 および 45 ms の遅延を加えた. 直接音に対する反射音の相対レベルは等しく, ICC(DICC[4])が正面で 0.9 となるよう -12 dB とした. 直接音は正面( $0^\circ$ ), 左右( $\pm 90^\circ$ ), 背面( $180^\circ$ )のいずれかの方向から提示した(Fig. 2). 提示音圧レベルは被験者の頭部中心位置で 50, 60 dBA の 2 種類である. 音声には親密度別単語了解度試験用音声データセット(FW03)[5]に収録されている男性話者 mis の音声ファイルの内, 親密度分布 4 に属する 4 モーラの単語を 1.5s 間隔で配置したものを用いた.

さらに, 互いにインコヒーレントな Hoth ノ

イズ[5]を被験者正面から $\pm 135^\circ$ まで  $45^\circ$ 間隔で設置した 7 つのスピーカから提示した(Fig. 2). 提示音圧レベルは頭部中心位置で 40, 50 dBA の 2 種類で, ICC は 0.2 とした.

これらのパラメータを組み合わせて, 無音状態を含む 18 種類の音場を設定した(Table 1). なお, SN 比は 0, +10(50/40,60/50),+20 dB の 3 種類である.

被験者は, タスクとして単語の記憶作業を行った. 単語親密度 5.5~6.5 に属する 4 モーラのカタカナ 15 個を 1 分間で記憶し, その後 1 分間で記憶した単語を回答した. その後「作業のしにくさ」を Table 2 に示す 4 段階で評価した. ただし, 被験者が音声とノイズに過度に注目することを避けるため, 音声とノイズの存在については一切教示しなかった.

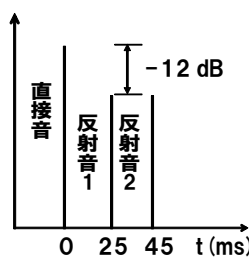


Fig. 1 音声の時間構造

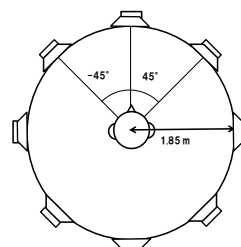


Fig. 2 スピーカ配置

Table 1 実験に用いた音場

音場	音声の到来方向 ( $^\circ$ )	音声レベル (dBA)	ノイズレベル (dBA)
1			40
2	0	50	50
3			40
4		60	50
5			40
6	+90	50	50
7			40
8		60	50
9			40
10	-90	50	50
11			40
12		60	50
13			40
14	180	50	50
15			40
16		60	50
17	-	-	50
18	-	-	-

Table 2 作業のしにくさのスケール

- |                |
|----------------|
| 1. 作業がしにくい     |
| 2. 少し 作業がしにくい  |
| 3. かなり 作業がしにくい |
| 4. 非常に 作業がしにくい |

\* Effects of the arriving direction of interferer and kind of task on working difficulty, by KUMAGAI, Naoto, ASAKURA, Masataka, OSANAI, Suguru (Chiba Institute of Technology), TAKEBAYASHI, Kenichi, YAIRI, Motoki (Kajima Tech. Res. Inst.), and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

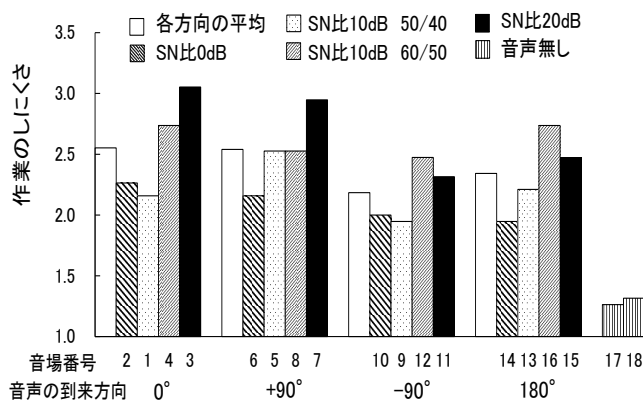


Fig. 3 各方向における作業のしにくさ

各被験者は18種類の音場についてランダムな順に1回ずつ試行を行った。被験者は成人学生19名(21~24歳)である。

### 3 実験結果

#### 3.1 作業のしにくさ

各音場において、作業のしにくさの全被験者の平均値を算出した(Fig.3)。作業のしにくさの平均値は、音場17(ノイズのみ)および音場18(無音)を除くと音場9および14で最小(1.95)、音場3で最大(3.05)であり、その差は1.1であった。音場9は音声レベルが50 dBA、ノイズレベルが40 dBA、到来方向が右(+90°)の音場で、音場14は音声レベルが50 dBA、ノイズレベルが50 dBA、到来方向が後ろ(180°)の音場である。音場3は音声レベルが60 dBA、ノイズレベルが40 dBA、到来方向が正面(0°)の音場である。

到来方向についてみると、180°および-90°に比べ、0°および+90°の場合は作業のしにくさが高い傾向がある。

SN比についてみると、SN比が大きい場合は作業のしにくさが高い傾向がある。これはノイズによる音声のマスキングが少ないためと推測される。

次に、音場17,18を除く16種類の音場を対象として、音声レベル、ノイズレベル、音声の到来方向を要因とした3元配置の分散分析を行った(Table 3)。その結果、音声レベルおよび音声の到来方向が有意水準1%で主効果が認められた。ノイズレベルおよび要因間の交互作用は認められなかった。

また、同じ16種類の音場を対象として、SN比および音声の到来方向を要因とした2元配置の分散分析を行った(Table 4)。その結果、SN比および音声の到来方向が有意水準1%で主

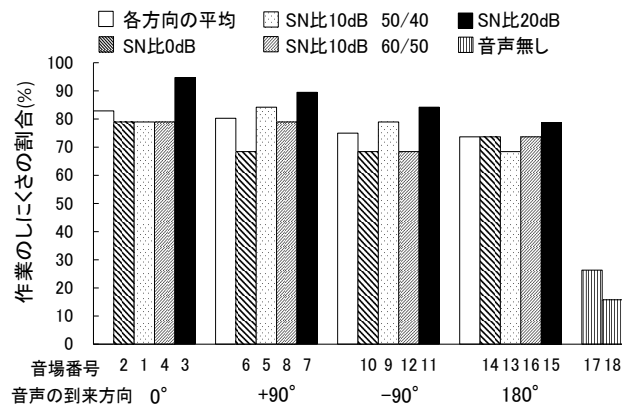


Fig. 4 各方向における作業のしにくさの割合

Table 3 3元配置の分散分析表

因子	自由度	F 値	P 値
音声の到来方向	3	5.7176	0.0018
音声レベル	1	49.7307	0.0000
ノイズレベル	1	1.4291	0.2474

Table 4 2元配置の分散分析表

因子	自由度	F 値	P 値
音声の到来方向	3	5.7176	0.0018
SN比	3	15.2591	0.0000

効果が認められた。要因間の交互作用は認められなかった。さらに各SN比における音声の到来方向の多重比較検定を行った。その結果、SN比0dBの条件において、0°は180°と比べて有意水準5%で作業のしにくさが高いとみなせた。SN比10(50/40)dBの条件において、+90°は0°および-90°と比べて有意水準1%で、180°と比べて5%で作業のしにくさが高いとみなせた。SN比20dBの音場において、0°および+90°は-90°および180°と比べて有意水準1%で作業のしにくさが高いとみなせた。

#### 3.2 作業のしにくさの割合(WDR)

各音場において作業のしにくさの割合(WDR)を算出した(Fig.4)。WDRは式(1)で定義する。

$$WDR = \left(1 - \frac{n_1}{N}\right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、

WDR : Working Difficulty Ratio

$n_1$  : 「1.作業がしにくくない」の回答数

$N$  : 全回答数

WDRは少しでも作業がしにくいと感じた人の割合であり、数字の意味づけが困難な平均値と比べ、音場の評価としてわかりやすい指標である。

WDR は、音場 17(ノイズのみ)および音場 18(無音)を除くと音場 12 および 13 で最小(68.4%), 音場 3 で最大(94.7%)であった。全体的な傾向は作業のしにくさと同様の結果である。

#### 4 タスクによる影響

我々は到来方向と作業のしにくさに関する実験を前報(実験 1)と本報(実験 2)の 2 種類行った。2 種類の実験は前述した実験条件のうち、妨害音とタスクのみ異なる。Table 5 に妨害音とタスクを示す。

タスクおよび妨害音の種類が作業のしにくさに与える影響を、実験 1, 実験 2 の結果を比較することにより検討する。

Table 5 2 種類の実験条件

	実験1	実験2
タスク	N-back (アルファベット)	単語記憶
妨害音	朗読CD	単語音声

#### 4.1 作業のしにくさ

実験 1 および実験 2 の各方向の作業のしにくさの平均値を Fig. 5 に、各 SN 比の作業のしにくさの平均値を Fig. 6 に示す。

作業のしにくさの値は全体的に実験 2 の方が高い。

各方向の平均を見ると、実験 1, 実験 2 と

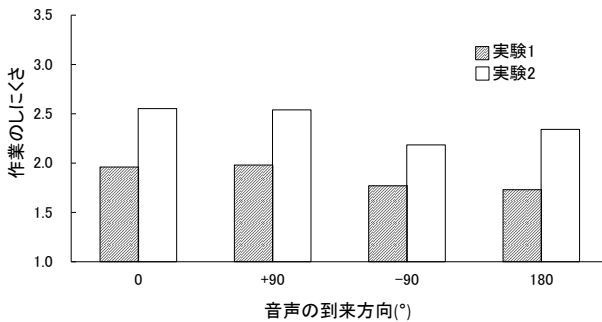


Fig. 5 各方向での作業のしにくさ

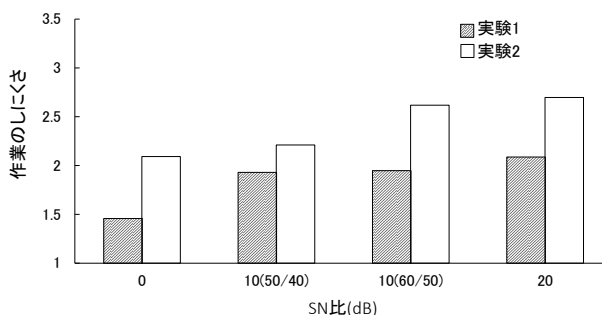


Fig. 6 各 SN 比での作業のしにくさ

もに 180°および-90°に比べ、0°および+90°の場合は作業のしにくさが高い傾向にある。また、実験 1 では-90°よりも180°の方が高いが、実験 2 では-90°よりも180°の方が作業のしにくさが高く、各方向の作業のしにくさは異なっている。

SN 比についてみると、実験 1, 実験 2 ともに、SN 比が大きい場合は作業のしにくさが高い傾向がある。

#### 4.2 作業のしにくさの割合(WDR)

実験 1 および実験 2 の各方向の WDR を Fig. 7 に、各 SN 比の WDR を Fig. 8 に示す。

WDR も作業のしにくさと同様に全体的に実験 2 の方が高い。

各方向の WDR を見ると、作業のしにくさと同じく、実験 1, 実験 2 ともに 180°および-90°に比べ、0°および+90°の場合は WDR が高い傾向にある。また、実験 1 では+90°で最大であったが、実験 2 では0°が最大である。

SN 比について見ると、実験 1, 実験 2 ともに、SN 比が大きい場合は WDR が高い傾向がある。また、実験 2 は実験 1 に比べ、SN 比ごとの WDR の最小と最大の差が小さい。

#### 4.3 分散分析・多重比較検定

実験 1, 実験 2 それぞれの 3 元配置分散分析の結果を Table 6 に示す。三元配置においては実験 1, 実験 2 ともに音声レベルと音声の到来方向に主効果が認められたが、実験 2 に

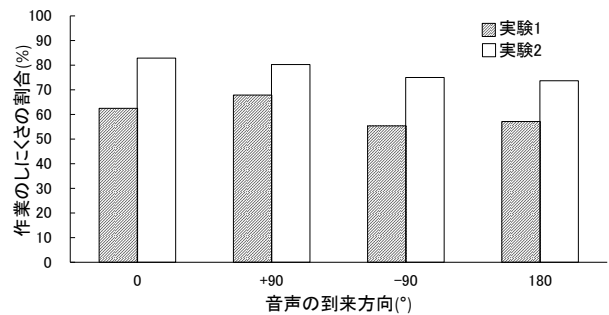


Fig. 7 各方向での WDR

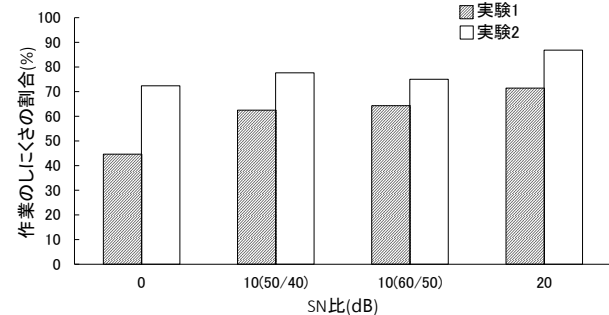


Fig. 8 各 SN 比での WDR

においてノイズレベルに主効果が認められなかった。理由として、タスクと妨害音の言語が一致していることが考えられる。実験1ではアルファベットのタスクに日本語の音声であったが、実験2ではタスクと音声と同じ4モーラの日本語で共通している。そのため、実験2では音声によるタスクへの妨害力が高くなり、ノイズによる音声のマスクング効果が薄れたと考えられる。

次に、実験1、実験2それぞれの2元配置分散分析の結果をTable 7に示す。実験2で音声の到来方向が1%有意になったほか変わりはない。

SN比における音声の到来方向の多重比較検定の結果をTable 8に示す。実験1においてはSN比20dBの場合のみ方向間に有意差が現れたが、実験2では3種類のSN比で方向間に有意差が現れた。実験1と実験2で共通しているのは、SN比20dBの0°と-90°間、0°と180°間、+90°と180°間の3つである。また、実験2でのみ+90°と-90°間で有意差が見られた。この結果も理由として、タスクと妨害音の言語が一致していることが考えられる。実験2では、妨害音の影響を受けやすく、言語が不一致であった実験1よりも+90°と-90°間の差が顕著に現れたためと考えられる。

## 5 おわりに

タスクに単語記憶、妨害音に単語音声を用いて、音声の到来方向、音声およびノイズのレベルをパラメータとして被験者実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 音声レベルが高くなると作業のしにくさは高くなる。
- 2) SN比20dBおよびSN比10(50/40)dBにおいて、+90°(右)は-90°(左)に比べて有意水準1%で作業のしにくさが高いとみなせる。また、妨害音とタスクの異なる実験を比較し、以下の結論を得た。
  - 1) タスクと妨害音の内容が一致すると作業はしにくくなる。
  - 2) タスクの種類にかかわらず、前および右方向の音は作業がしにくい傾向にある。

Table 6 3元配置分散分析の比較

**:1%有意 * :5%有意		
因子	実験1	実験2
音声の到来方向	*	**
音声レベル	**	**
ノイズレベル	**	

Table 7 2元配置分散分析の比較

**:1%有意 * :5%有意		
因子	実験1	実験2
音声の到来方向	*	**
SN比	**	**

Table 8 多重比較検定の比較

**:1%有意 * :5%有意				
SN比	水準1	水準2	実験1	実験2
0dB	0	+90		
	0	-90		
	0	180		*
	+90	-90		
	+90	180		
	-90	180		
10dB 50/40	0	+90		**
	0	-90		
	0	180		
	+90	-90		**
	+90	180		*
	-90	180		
10dB 60/50	0	+90		
	0	-90		
	0	180		
	+90	-90		
	+90	180		
	-90	180		
20dB	0	+90		
	0	-90	**	**
	0	180	**	**
	+90	-90		**
	+90	180	**	**
	-90	180	**	

## 参考文献

- [1] 佐久間, 上猶, 建築音響研究会資料, AA2009-38, 2009
- [2] 辻村, 上野, 日本建築学会環境系論文集, vol. 75, No.653, 561-568, 2010
- [3] 熊谷他, 日本音響学会講演論文集 1137-1138, 2014
- [4] 飯田, 森本, 空間音響学, コロナ社, 2010
- [5] 天野他, NII 音声資源コンソーシアム, 2006
- [6] D.F. Hoth, *J. Acoust. Soc. Am.*, 12, 499-504, 1941