

出場ベル等の音が消防職員に及ぼす心理的・生理的影響に関する研究 について

Study on psychological and physiological response of career fireman when they hear the turnout-bell.

手 柴 英 喜*
桜 井 高 清**
飯 田 稔**
長谷川 清 美**

概 要

出場ベル音、2種類の電子音、ブザー音の各音がどのような周波数特性を持ち、これらの音を聞いた時、どのような生理的影響があるかについて、脳波測定等により調査した。

主な結果は次のとおり。

- 1 出場ベルは、測定周波数全帯域で音圧レベルが高く、聞き取りやすい。
- 2 電子音、ブザー音の周波数特性は600Hzをピークとして山型の分布をしている。
- 3 ベル音の脳波反応強度は他の音よりも強い。
- 4 急激な音刺激より、徐々に音量が大きくなる方が生理的反応が緩和される。

We researched each frequency characteristic of a turnout-bell, two kinds of electronic sound and buzzer and also measured the brain wave when they heard them.

The results are as follows:

- 1 Sound pressure level of the turnout-bell is high in all bands of frequency which was measured.
- 2 The frequency characteristics of electronic sounds and buzzer appears like a model of mountain and peaks at 600Hz.
- 3 Brain wave, heart rate and skin potential response respond more severely in case of hearing the turnout-bell than in case of other sounds.
- 4 The physiological response appears softly as the sound level become higher slowly and gradually. Sudden stimulation of sound makes the response stronger than the former.

1 はじめに

出場指令時における驚愕要因の一つとして出場指令音があげられるが、その緩和方策の基礎資料を得るため、出場ベル、2種類の電子音及びブザー音について、各音の持つ周波数特性とこれらの音を聞いた時の生理的反応について研究したので報告する。

2 測定項目等

(1) 測定項目

ア 脳波

イ 心拍数 (RR間隔)

ウ 皮膚電位反応 (SPR)

(2) 実験期間

実験 1 及び実験 2

平成 3 年 9 月 2 日から同年 10 月 31 日

実験 3 平成 3 年 2 月 15 日

(3) 測定対象者

実験 1 消防科学研究所員 9 名

実験 2 渋谷、四谷、府中の各消防署員 9 名

実験 3 消防科学研究所員 2 名

(4) 測定実施場所

消防科学研究所 災害心理実験室

*第四研究室長

**第四研究室

3 調査方法及び実験方法

(1) 各音の周波数特性調査

ベル音、指令増幅器の電子音（以下「電子音1」とする）、ブザー音、第四研究室で作成した電子音（以下「電子2」とする）の4種類の音について、災害心理実験室内において、FFTシグナルアナライザー（周波数分析器）により分析した。

(2) 実験1、2及び3について

災害心理実験室内において、図1のように設置した各種音響器具から2.5m離れた被験者に音刺激を与え、脳波、心拍数、皮膚電位反応(SPR)の変化を測定した。

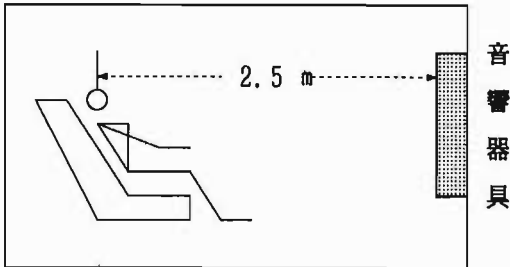


図1 測定位置図

ア 実験1

各音刺激を行っている最中の脳波と刺激直前の脳波を測定し、変化を分析するため、まず、リラックス音楽を聞かせ、この後簡単な暗算を実施し、若干緊張させる。その暗算終了後の空白時間における脳波等を刺激前の状態として、音刺激中の脳波等と比較した。

イ 実験2

暗算を実施せず、常時リラックス音楽を聞かせながら、1回目と2回目とで順番を変えて音刺激を与えた時の生理的反応を測定した。

実験1では、暗算を実施したため、暗算中の心拍数に大きな変化が現れ空白時間においても影響が生じたと考えられる。また、暗算後の空白時間が音刺激を予告させる結果となったので、本実験においては常時リラックス音楽を流す方法をとった。

さらに、音刺激後の順番についても予想されるため、1回目と2回目の音刺激の順番を変更した。

ウ 実験3

出場ベルの音量を徐々に上げていった時の生理的反応について測定した。

実験1及び実験2において全て急激な音刺激を与えたが、被験者から驚いたという回答があり、急激な音刺激と徐々に音を大きくしていった時の変化を測定した。



写真1 脳波計



写真2 脳波計電極装着状況

4 分析・考察結果等

(1) 各音の持つ周波数特性について

ア 出場ベルの周波数特性

実験に使用したベルは、直径150mmのベルであり、前方1mの位置で91.2dB(A)の音圧レベルがあり、図2にその周波数特性を示す。

以下に示されるブザー音や電子音に比べ、測定周波数範囲内全域で高レベルであることを示していることが認められる。

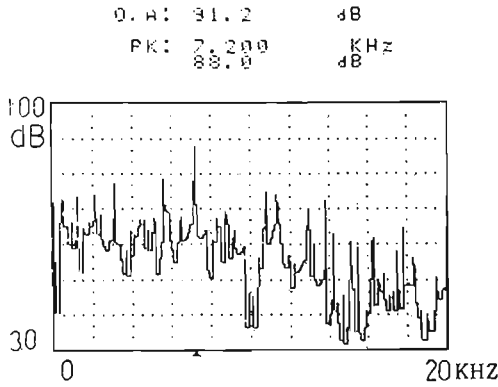


図2 ベル音の周波数特性

イ ブザー音の周波数特性

実験に使用したブザー音は、前方1mの位置で78.7dB(A)の音圧レベルがあり、図3にその周波数特性を示す。ベル音に比べ、低い周波数に音域があることが認められる。

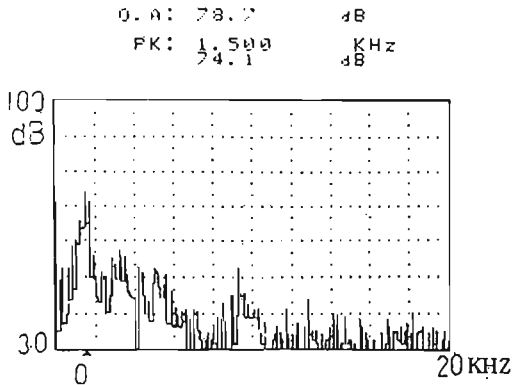


図3 ブザー音の周波数特性

ウ 電子音1の周波数特性

電子音は、電氣的に発生させた信号をスピーカーにより音に変換しているもので、音の大きさ、周波数、音色を電氣的に変化させることが可能である。

本実験では、指令電話増幅器に内蔵されている電子音を「電子音1」として測定した。

電子音1は、「ブルブルブル」という音である。

また、スピーカーで出力される音量は、増

幅器のボリュームにより調節が可能であり、実験時には、スピーカー前方1mの位置で89.5dB(A)の音圧レベルにより測定した。

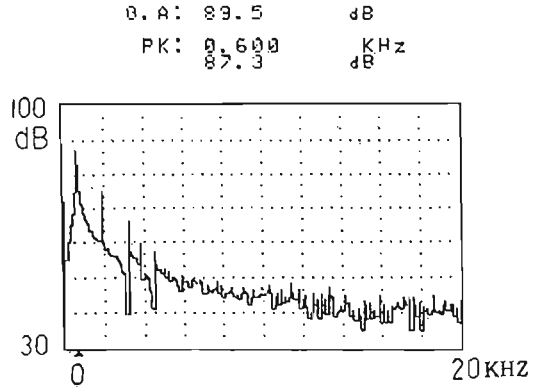


図4 電子音1の周波数特性

図4に示すとおり、600Hzをピークとして山型の分布をした周波数特性であることが認められる。

エ 「電子音2」の周波数特性

電子音2は、市販のキーボードを利用し、ピアノに似せた音色で「ピーポーピーポー」という音を作成し、スピーカーを通じて被験者に聞かせ、実験を行った。

実施にあたっては、前方1mの位置で82.5dB(A)の音圧レベルにより測定した。

図5は「電子音2」の「ピーポーピーポー」の瞬間における周波数特性を示したもので、「電子音1」と同じく600Hzをピークとして山型の分布を示している。

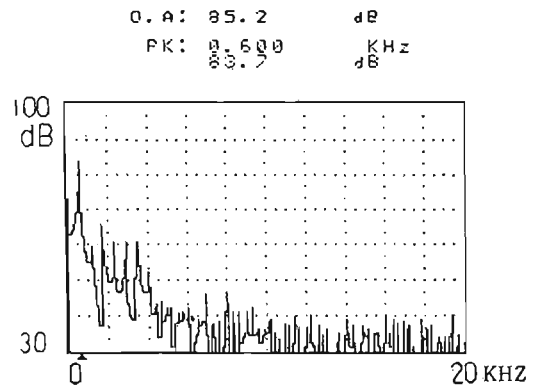


図5 電子音2の周波数特性

(2) 実験1について

ア 脳波分析結果

㉞ 脳波波形

図6は、研究員9人に対して測定した結果の例を示したもので、被験者Aの電子音1による音刺激前後の脳波波形変化を示している。

なお、電極装着部位は、最も一般的な国際10/20法を用いた。

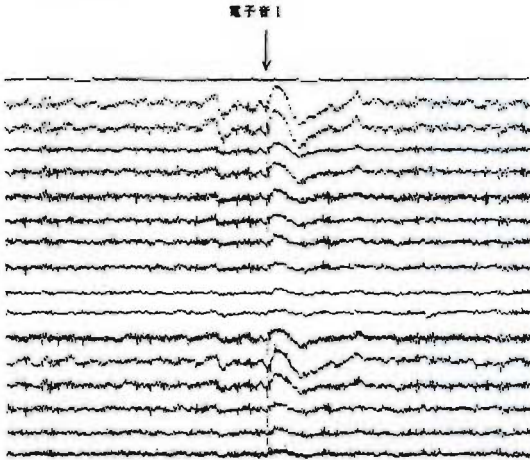


図6 脳波変化例（被験者A，電子音1）

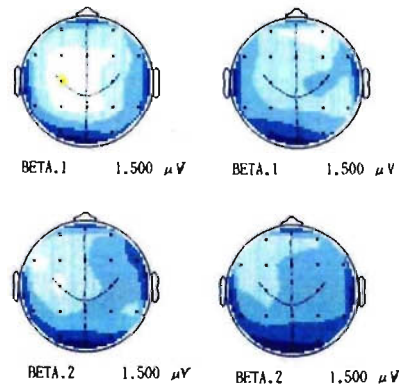
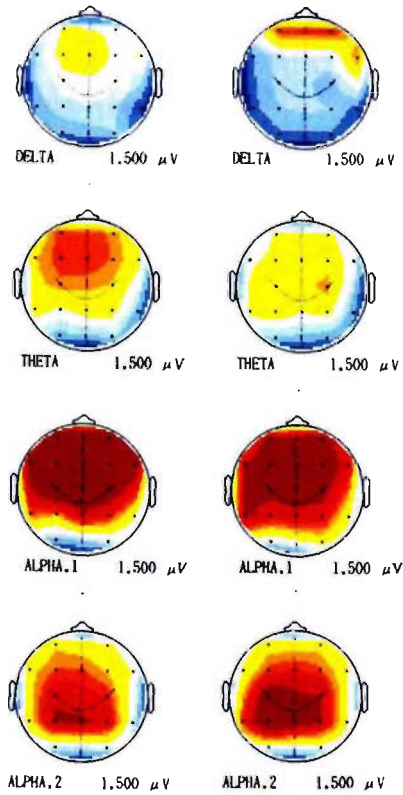
イ) 脳波マッピング

図7は、図6に示した被験者の脳波を音刺激前後において各周波数成分別に分析し、その電圧（振幅値）を色の濃淡で表したもので、「マッピング」といわれるものである。

なお、周波数分析にあつたては、国際用語委員会の分類に従い

- ・ 4 Hz未満を δ （デルタ）波
- ・ 4 Hzから8 Hz未満を θ （シータ）波
- ・ 8 Hzから10 Hz未満を α （アルファ）1波
- ・ 10 Hzから13 Hz未満を α 2波
- ・ 13 Hzから20 Hz未満を β （ベータ）1波
- ・ 20 Hzから30 Hz未満を β 2波とした。

図7の音刺激後の図では、音刺激により前頭極すなわち目の上部に眼球運動等による δ 波成分が増加していることが認められる。これは、音刺激により驚いたために現れたものと考えられる。



音刺激前 音刺激後
図7 脳波マッピング（被験者A電子音1）

㉞) α 波変動

図8及び図9は、実験1における音刺激後の電位変化率を α 1波及び α 2波を対象に分析し、1回目のベル、電子音1、ブザー、電子音2、2回目のベル、電子音1、ブザー、電子音2の順に示したものである。ここで α 1波及び α 2波を対象とした理由は、安静閉眼時によく見かけられる脳波であることからである。

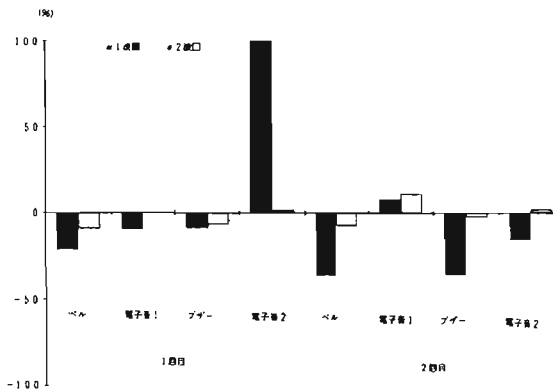


図8 $\alpha 1$ 波及び $\alpha 2$ 波変化
(音刺激後減少例)

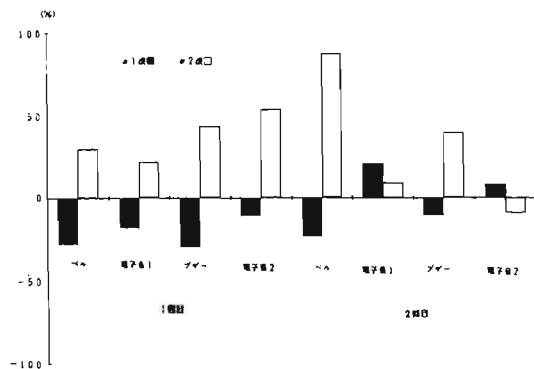


図9 $\alpha 1$ 波及び $\alpha 2$ 波変化
(音刺激後減少上昇例)

図8は、音刺激前よりも音刺激後でほとんどの場合に α 波の電位が減少している例であるが、図9は $\alpha 1$ 波は減少するものの $\alpha 2$ 波は上昇する例であり、このように α 波の変化についてみると千差万別である。しかし、後述する実験2における1回目の音刺激ではほとんどの者が音刺激後で電位が減少している。

(二) 脳波反応強度

表1は、各種音刺激による脳波反応強度を「反応なし」を「0」として最も反応の強いものを「3」とした4段階の強度により分類し分析したもので、測定対象者の脳波から判読した結果の平均値を示したものである。

表1 各種音刺激による脳波反応強度

音刺激種類		反応強度	音刺激	反応強度
1回目	ベル	0.6	ベル	0.8
	電子音1	0.7	電子音1	0.9
	ブザー	0.6	ブザー	0.7
	電子音2	0.7	電子音2	0.9
2回目	ベル	0.2	※1回目と2回目の反応強度を刺激音ごとに合計したもの	
	電子音1	0.2		
	ブザー	0.1		
	電子音2	0.2		

イ 心拍数変化分析結果

図10は、実験1における心拍数変化（RR間隔）の一般的な変化を示したもので、ほとんどがこのような変化をしていた。

精神的作業である単純計算中では、安静時心拍数(80~82拍/分)よりも4~10拍/分高くなるという報告⁷⁾があることから今回の実験でも、音刺激の前に暗算を実行させ、口頭により回答させているため、心拍数が上昇し、したがってRR間隔が短縮していると考えられる。しかし、暗算が終了するとRR間隔はもとに回復するというパターンが認められる。この後に各種の音刺激が実施されるが、出場ベルによる音刺激が他の音刺激よりも大きくRR間隔を変化させ、心拍数が上昇するという事は、この図からでは断定できないので、さらに詳細に分析する。

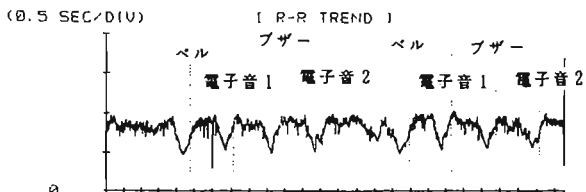


図10 RR間隔変化

表2は、各音刺激前後32拍のRR間隔の平均から心拍数を求めたもので、RR間隔を分析できたものについて示したものである。

心拍数換算値で見ると1回目のベルが最も高

く、70.9拍/分で、続いて高いのは、2回目の同じくベルであり、67.7拍/分であった。

これについては、初めての音刺激が1回目のベルであり、また、2回目のベルの音刺激の前の安静時間が長く、リラックスしたため、刺激反応が大きかったものと考えられる。

表2 心拍数(換算値)

音刺激種類	心拍数(換算値)	平均RR間隔	心拍数平均値※	
1回目	ベル	70.9拍/分	ベル	69.3
	電子音1	65.0拍/分	電子音1	64.7
	ブザー	64.9拍/分	ブザー	65.0
	電子音2	66.3拍/分	電子音2	66.0
2回目	ベル	67.7拍/分	※1回目と2回目の心拍数を刺激ごとに合計し平均したもの	
	電子音1	64.4拍/分		
	ブザー	65.1拍/分		
	電子音2	65.6拍/分		

エ 皮膚電位反応分析結果

一对の電極の片方(基準電極)を汗腺の少ない前腕部等に装着し、他方(探査電極)を精神性発汗の多い手掌などに装着して、脳波計で時定数を大きくして記録し、刺激を与えてみると、単相性あるいは多相性の波形が記録できるが、これを皮膚電位反応(SPR)という。

今回の実験では、脳波計は低域フィルターとして0.5 Hz、高域フィルター30Hz、入力100MΩ、感度30μV/mmで測定した。今回の実験では、定型的な波形は認められなかった。図11は、体の動きが比較的少なく、音刺激前において変化を生じていない皮膚電位反応の例を示したものである。音刺激により反応が現われている。

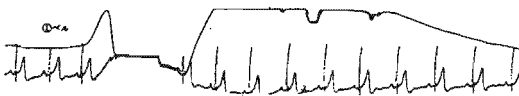


図11 皮膚電位反応の例

音刺激の順番は、①出場ベル、②電子音1、③ブザー、④電子音2であり、2回目も同じ順

番で行ったため、最初の出場ベルでほとんどの被験者に変化が現れている。その後は、ブザーに変化の現れている者や1回目と2回目とに差がある者などがいるが、9人中1人を除いて出場ベルでは、皮膚電位反応に変化が現れている。

表3は、皮膚電位反応からみた反応強度について分析した結果を示したものである。

これは、皮膚電位反応の強度を「反応なし」を「0」として、最も強いものを「3」とした4段階の強度に分類し、測定対象者9人について分析し平均を求めたものである。

表3 皮膚電位反応からみた反応強度

音刺激種類	反応強度	反応強度合計※		
		ベル	電子音	
1回目	ベル	1.2	ベル	2.2
	電子音1	0.6	電子音1	0.9
	ブザー	0.5	ブザー	1.3
	電子音2	0.4	電子音2	0.7
2回目	ベル	1.0	※1回目と2回目の反応強度を刺激ごとに合計したもの	
	電子音1	0.3		
	ブザー	0.8		
	電子音2	0.3		

結果を一連の反応強度で見ると、最高は1回目のベルで1.2、次に2回目のベルで1.0である。また、1回目と2回目の反応強度を刺激音ごとに合計した結果をみるとベルの結果は2.2と高くなっており、次にブザーの1.3、続いて電子音1が0.9、電子音2が0.7となっている。これらのことからベルの反応強度が高く、電子音1、電子音2の反応は低いと考えられる。

(2) 実験2について

ア 脳波分析結果

イ 脳波波形

図12は結果の例を示したもので、実験1の結果と同じように、音の刺激があった瞬間に波形が乱れていることを示している。

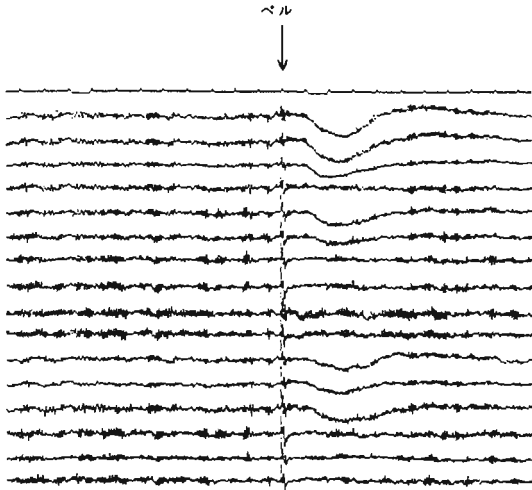


図12 脳波変化例 (被験者N, ベル)

一般的には、最初の音刺激であるブザーで波形の乱れが生じているが、出場ベルの刺激でもなんらかの波形の乱れが常に生じている。

一方、電子音では、波形の乱れが生じていない者もいる。

実験2では、暗算を実施しなかったため、また、非番日のため睡眠不足の職員は「うとうと」したために、2回目の音刺激直前で脳波の振幅がかなり減少してしまい、音刺激により「我に帰った」状態になり、振幅が増加している者が多かった。

(イ) マッピング

図13は、図12に示した脳波を音刺激前後において各周波数成分別に電位変化について示したものである。

図7では $\alpha 2$ 波が減少していたが、この例では音刺激により $\alpha 1$ 波の成分の減少が著しい。

(ウ) α 波変動

図14及び図15は、実験2における音刺激後の電位変化率を $\alpha 1$ 波及び $\alpha 2$ 波を対象に分析した結果を示したものである。

図14に示したように1回目の各音刺激に対しては $\alpha 1$ 波、 $\alpha 2$ 波別にみると19.4%(14回/72合計刺激回数)で電位の上昇が認められるが、ほとんどの場合(81.6%(58回/72合計刺激回数))に電位の減少が認められる。

図15に示すように2回目では、音刺激によ

り電位が上昇している場合が多いが、これは被験者が睡眠不足であったり、実験中のリラックス音楽により「うつらうつら」状態になっている時に各種音刺激があったために「我に帰った」という覚醒状態に戻ったことが考えられる。

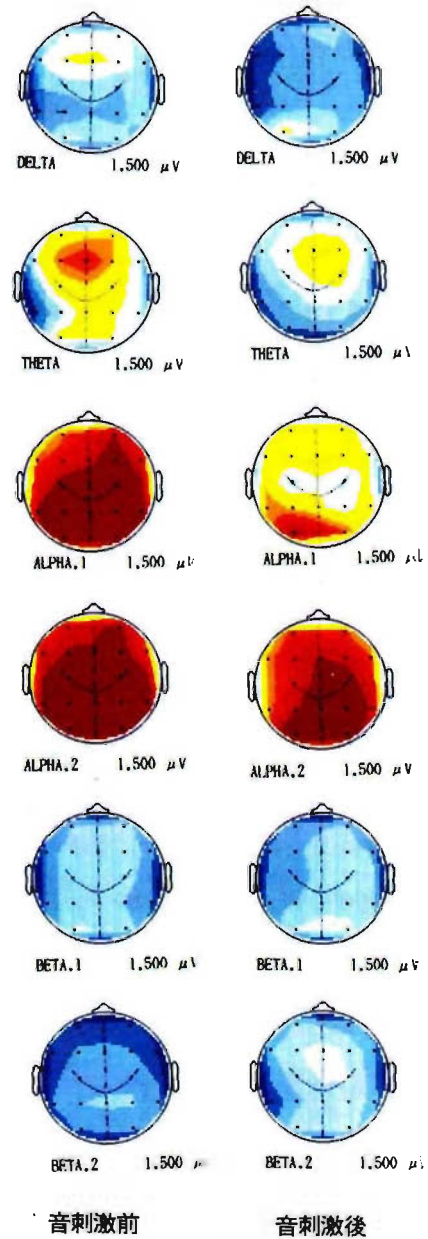


図13 脳波マッピング (被験者N, ベル音)

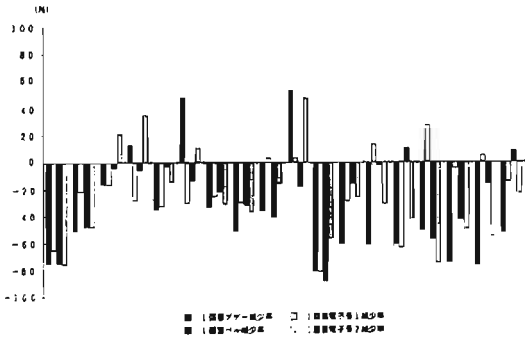


図14 α 1波及び α 2波変化(1回目)

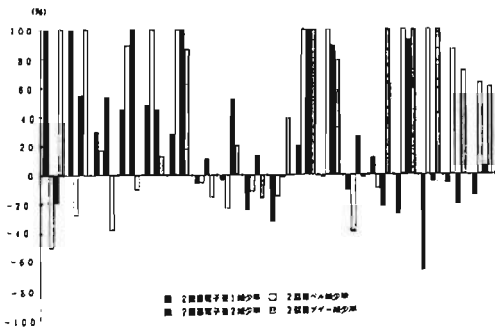


図15 α 1波及び α 2波変化(2回目)

(二) 脳波反応強度

表4は、脳波の反応強度を実験1と同様に「反応なし」を含め4段階の強度に分類し、分析可能な脳波について平均値を求めたものである。

表4 脳波反応強度

音刺激種類		反応強度	反応強度※	
1回目	ブザー	1.1	ブザー	1.4
	電子音1	0.6	電子音1	1.6
	ベル	1.2	ベル	2.5
	電子音2	1.0	電子音2	1.8
2回目	電子音1	1.0	※1回目と2回目の 反応強度を刺激音 ごとに合計したもの	
	ベル	1.3		
	電子音2	0.8		
	ブザー	0.3		

イ 心拍数変化分析結果

図16は、実験2における心拍数変化(RR間隔変化)の一例を示したものである。

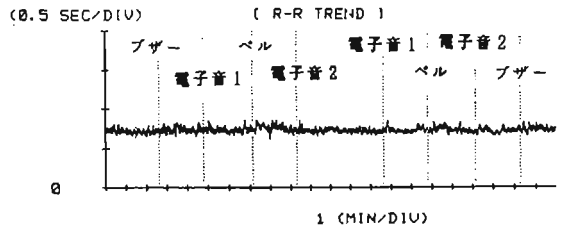


図16 RR間隔変化

音刺激のあった後にRR間隔の変化が現れ心拍数も上昇している者もいるが、この図からは明白には認められないので、さらに詳細に検討する。

表5は、各音刺激前後32拍の平均心拍数を測定したもので、RR間隔を測定できたものについて示したものである。

一連の心拍数換算値でみると2回目のベルが61.5拍/分で最も高く、続いて、1回目のベルの58.1拍/分であり、ベルの心拍数が高い結果となっており、驚愕度合が大きいものと考えられる。これに対してブザーは、3番目に平均心拍数が高くなっているが、2回目では56.2拍/分と一連のうちで最低の心拍数となっており、一定の順位を示していない。このことから、ブザーはベルの次に驚愕度合が大きい順位であるとは断定できないと考えられる。

表5 心拍数(換算値)

音刺激種類	心拍数(換算値)	平均RR間隔	平均心拍数※		
			1回目	2回目	
1回目	ブザー	58.0拍/分	1034.3msec	ブザー	57.1
	電子音1	57.2拍/分	1049.4msec	電子音1	56.2
	ベル	58.1拍/分	1033.0msec	ベル	59.8
	電子音2	56.7拍/分	1057.7msec	電子音2	57.3
2回目	電子音1	55.2拍/分	1087.6msec	※1回目と2回目の 心拍数を刺激音ご とに合計し平均し たもの	
	ベル	61.5拍/分	975.0msec		
	電子音2	57.9拍/分	1036.0msec		
	ブザー	56.2拍/分	1067.4msec		

ウ 皮膚電位反応分析結果

図17は、実験2における皮膚電位反応の一般的な傾向を示した例である。

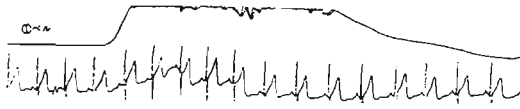


図17 皮膚電位反応の例

実験1と異なり、ほとんどの者がほとんどの音刺激により皮膚電位反応に変化を現している。心拍数変化（RR間隔）で比較的大きな変化を示した者は、1回目のベルの音刺激時には、陰性波の後に陽性波成分が現れている。しかし、ベルで一般的に陰性波と陽性波が現れているわけではない。

表6は、皮膚電位反応からみた反応強度について分析した結果を示したものである。

これは、皮膚電位反応の強度を実験1と同じように「反応なし」を含め4段階に分類し、測定対象者9人について分析し平均を求めたものである。

一連の反応強度でみると、最高が1回目のベルで1.9、次に2回目のベルで1.8となっており、ベルの反応強度が高くなっていることが認められる。

次に、1回目と2回目の反応強度を刺激音ごとに合計した結果でみると、ベルの結果は3.7となっていて、その他の刺激音との差は認められるが、ブザー、電子音1、電子音2の刺激音どうしの差は認められない。

(4) 実験3について

ア 脳波分析結果

イ) 脳波波形

図18及び図19は、測定した結果の一例を示したものである。

徐々に電圧を上げた「緩和ベル」では、急激な反応は認められないが、通常使用しているスイッチを入れるだけの方式である「急激ベル」では急激な波形の乱れが生じていることが認められる。

表6 皮膚電位反応からみた反応強度

音刺激種類		反応強度	反応強度合計※	
1回目	ブザー	1.7	ブザー	2.8
	電子音1	1.6	電子音1	2.9
	ベル	1.9	ベル	3.7
	電子音2	1.6	電子音2	2.9
2回目	電子音1	1.3	※1回目と2回目の 反応強度を刺激音 ごとに合計したもの	
	ベル	1.8		
	電子音2	1.3		
	ブザー	1.1		

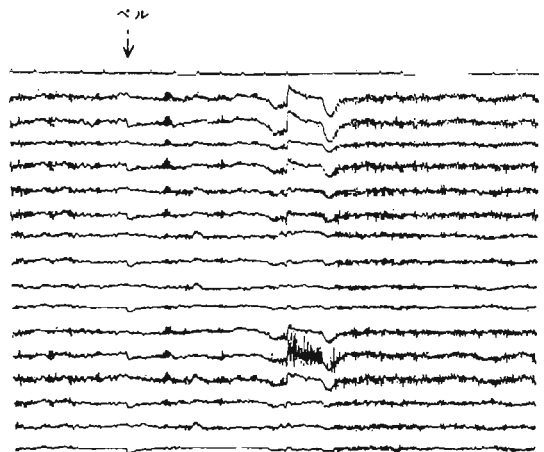


図18 「緩和ベル」による脳波変化例

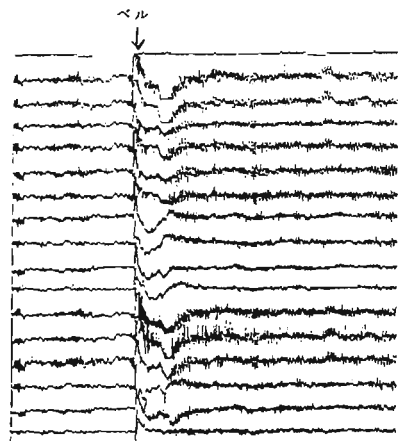


図19 「急激ベル」による脳波変化例

(イ) 脳波反応強度

表7は、実験を行った2人の脳波の反応強度を実験1、実験2と同じように分類し、平均した結果である。

表7 脳波反応強度

音刺激種類	反応強度	反応強度※	
		「緩和ベル」	「急激ベル」
1回目「緩和ベル」	1.0	「緩和ベル」	1.0
2回目「緩和ベル」	1.0	「急激ベル」	1.5
1回目「急激ベル」	1.5	※平均値	

実験3では、2人の被験者を対象にしているため、表7から一般的な傾向として断定することはできないが、急激な音刺激に対しては被験者から「驚いた」という回答もあり、反応が大きいと考えられる。

イ 心拍数変化分析結果

図20は、実験中のR-R間隔を示したものである。

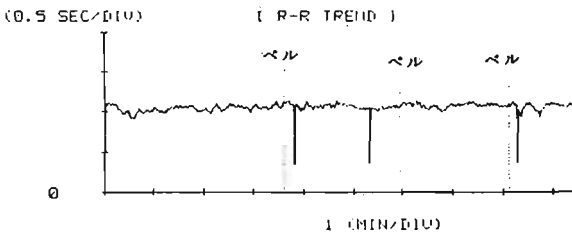


図20 R-R間隔変化

実験中の平均R-R間隔は1042msecで、心拍数換算値は57.6拍/分である。

表8は、音刺激前後32拍の平均心拍数を示したもので、R-R間隔を測定できた1人の値を示している。

「急激ベル」における心拍数換算値は59.3拍/分、他の「緩和ベル」よりも高い。

表8 平均心拍数

音刺激種類	心拍数(換算値)	平均R-R間隔	心拍数※	
			緩和ベル	急激ベル
1回目「緩和ベル」	55.6拍/分	1080msec	緩和ベル	56.2
2回目「緩和ベル」	56.8拍/分	1056msec	急激ベル	59.3
1回目「急激ベル」	59.3拍/分	1012msec	※平均値	

ウ 皮膚電位反応分析結果

図21及び図22は、実験3における皮膚電位反応の例である。「緩和ベル」では反応が認められないが、「急激ベル」で反応が認められる。

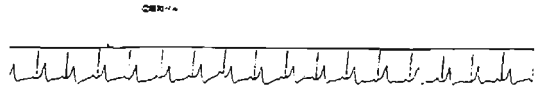


図21 皮膚電位反応例「緩和ベル」

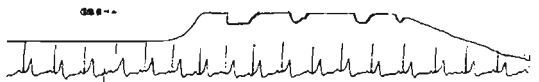


図22 皮膚電位反応例「急激ベル」

表9は、図21、22で示した皮膚電位反応の結果を実験1、実験2と同じように4段階の反応強度に分類し、示したものである。

表9 皮膚電位反応からみた反応強度

音刺激種類	反応強度	心拍数※	
		緩和ベル	急激ベル
1回目「緩和ベル」	2.0	緩和ベル	1.5
2回目「緩和ベル」	1.0	急激ベル	2.5
1回目「急激ベル」	2.5	※平均値	

2人についての分析結果であるが、「急激ベル」の反応強度が、他の「緩和ベル」の値よりも高く、「急激ベル」の刺激が大きかったことが認められる。

5 まとめ

(1) 各音の周波数特性について

ブザー及び電子音1の周波数特性は600Hzをピークとした山型の分布をしているが、電子音2は時間とともに変化する。

一方、実験で使用したベル音は、前方1mの位置で91.2dB(A)の音圧レベルがあり、大きな音であると同時に、他の音に比べ測定周波数範囲内全域で高レベルのため、騒音の中から聞き取りやすい。

(2) 反応強度について

ア 脳波の反応強度についてみると、実験1で

は、暗算を実施した精神作業が影響したため、各音間の差は認められないが、音刺激に集中することができる環境で、さらに刺激が一定の順序とならないよう配慮した実験2では、ベル音の反応が大きい。

イ 心拍数変化では、ベル音の反応が大きい。

ウ 皮膚電位反応でも、ベル音の反応強度が大きい。

エ 研究員2人に対して徐々に電圧を上げ、音を大きくした「緩和ベル」と通常のスイッチを入れた「急激ベル」の実験結果、「緩和ベル」の反応強度が小さかった。

6 おわりに

音の特性から、ベルのように騒音の中においても聞き取ることのできる周波数特性を持ち、また、電子音のように生理的には影響が少ない音が指令音として好ましい。

さらに実験から、音量については徐々に大きくする方法が望まれる。

なお文献から、音源を分散設置することで、必要以上の音量を使用しないことができるとされており、設置方法の検討も必要である。

謝 辞

測定分析にあたり御指導をいただいた、日本大学文理学部心理学研究室・山岡 淳、村井 健祐両教授、並びに測定にご協力いただきました各消防署の職員の方々に厚くお礼申し上げます。

(参考文献)

- (1)「安全工学講座9 騒音・振動」 徳山久雄他 海文堂出版
- (2)「新建築学大系10・環境物理」中村泰人他
- (3)「新建築学大系11・環境心理」乾 正雄他 共に彰国社
- (4)「新訂・騒音と振動のシステム計測」北村恒二 コロナ社
- (5)「新脳波入門」時実利彦他 南山堂
- (6)「皮膚電気活動」新美良純 星和書店
- (7)「心拍数の科学」山地啓司 大修館書店
- (8)「音楽工学」平岡正徳 誠文堂新光社
- (9)「音をつくる」持田泰典 日本工業新聞社
- (10)「臨床脳波ハンドブック」木下真男
メディカル・サイエンス・インターナショナル