

平成 24 年度
学士学位論文

環境音による騒音抑制

Environmental sound to noise masking

1130345 隅田 大地

指導教員 福本 昌弘

2013 年 3 月 1 日

高知工科大学 情報学群

要 旨

環境音による騒音抑制

隅田 大地

騒音は人体に対してストレスや睡眠妨害などの悪影響を与える。ノイズキャンセラは能動的に騒音を制御する技術であり、騒音と逆位相の音を生成し騒音を消音できる。身近なものとしては自動車のマフラーや工場の排気ダクトに使用されているが、限定的でない空間での実現は困難である。また、耳栓やイヤーマフなどによって騒音を遮断することは可能であるが、耳栓の装着に嫌悪感を抱く人や周囲との会話が必要な場合問題となる。音楽など別の音によってマスキングし騒音を聞こえにくくする方法もあるが、音楽そのものが騒音になる可能性も問題視される。マスキングとは、ある音によって別の音が聞こえにくく、または完全に聞こえなくなる現象の事である。例えば会話中に近くを大きな音で電車が通る時などに会話を続ける事が困難になることがあり、これをマスキングという。

本研究では、騒音として認知されづらい環境音をもって騒音のマスキングが可能であるかの検証を目的とする。環境音を日常的に聴取して自然な音として、マスキングに用いる。スペクトルマスキングに着目し騒音の周波数特性と類似した環境音を同時に提示し騒音をマスクする。周波数特性および時間波形の点から騒音がマスクされる事を確認し、被験者実験により評価している。主観評価の結果は、環境音によって騒音がマスクされるが、騒音が聞こえるという評価結果であった。

キーワード マスキング スペクトルマスキング 騒音 環境音

Abstract

Environmental sound to noise masking

Daichi SUMIDA

The noise becomes the cause of a stress and a sleep disturbance to the human. The technology, by control a noise actively such as a noise canceller, can suppress a noise by adding an antiphase noise. Noise canceller can be used for a car and a factory exhaust air ducts. However, it is impossible to realize a cancellation on unlimited area. On the other hand, an earplug and an earmuff can shut out a noise on any field. However attaching an earplug makes repulsion and breaks into a conversation. On non-attaching method, a sound masking can realize noise suppression but the sound may become a noise itself. Where the masking means a phenomenon that an original sound is hidden by the another sound. For example, the conversation can't continue while through a train on big sound.

In this research, I have confirmed a possibility of noise masking by using an environmental sound. In this method, an environmental sound plays as a common background sound for masking a noise. An environmental sound that similar to the noise frequency characteristic is used for masking from spectrum masking point of viewing. The effectiveness of an environmental sound masking is evaluated by subjective experiment. As a result, a noise is masked by an environmental sound but still can recognize a noise.

key words Masking, Spectrum masking, Noise, Environmental sound

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の目的と背景	1
1.2	本論文の構成	3
第 2 章	音の特性とマスキング	4
2.1	はじめに	4
2.2	音の物理的特性	5
2.3	音のラウドネス曲線	5
2.4	マスキング	6
2.4.1	純音同士のマスキング	8
2.4.2	マスキング範囲	8
2.4.3	継時マスキング	8
2.4.4	スペクトルマスキング	9
2.5	環境音をマスキングに用いた騒音抑制	10
2.6	まとめ	12
第 3 章	環境音による騒音抑制	13
3.1	はじめに	13
3.2	騒音抑制	13
3.3	使用音源	14
3.3.1	実験環境	15
3.3.2	主観評価	19
3.4	考察	24
3.5	まとめ	26

目次

第 4 章	結論	27
4.1	本研究のまとめ	27
4.2	今後の課題	27
謝辞		29
参考文献		30
付録 A	被験者実験による評価結果	31

目次

2.1	等ラウドネス曲線	7
2.2	マスキング範囲	9
2.3	スペクトルマスキング概念図	10
2.4	時間波形：例 1	12
2.5	時間波形：例 2	12
3.1	葉擦れ音・周波数	16
3.2	対象騒音のバイク・周波数	16
3.3	救急車のサイレン・周波数	17
3.4	水が流れる音・周波数	17
3.5	雑踏音・周波数	18
3.6	空調模擬ノイズ・周波数	18
3.7	バイクを吹かす音，時間波形	18
3.8	葉擦れ音，時間波形	19
3.9	救急車のサイレン，時間波形	19
3.10	水の流れる音，時間波形	19
3.11	雑踏音，時間波形	19
3.12	空調模擬ノイズ，時間波形	19
3.13	実験環境	20
3.14	被験者実験に使う評価用紙	21
3.15	騒音・気になるかどうか	23
3.16	騒音・マスキングできているか	23
3.17	環境音・気になるかどうか	24
3.18	環境音・好みかどうか	24

表目次

3.1 被験者実験の対象者	20
A.1 海の波の音結果	31
A.2 ショパン結果	32
A.3 モーツァルト結果	32
A.4 森の音結果	33
A.5 水の音結果	34
A.6 鳥のさえずり結果	35

第 1 章

序論

1.1 研究の目的と背景

日常生活の中では周囲から発生する騒音がある。騒音は人間が不快と感じる音、大きすぎる音、嫌悪感を抱く音色の音、突発的な音などの総称で、一般的に大きな音を騒音と呼ぶ [1]。騒音に長時間曝される事で人体へ様々な影響がある。具体的には、疲労の増大、心理的不快感、ストレス、集中持続の困難、不安感、吐き気、睡眠妨害などがある [2]。騒音に長期間曝されていると人体に対してさらに影響がある。子供には、風邪を引きやすい、食欲が乏しくなるなど虚弱体質になることや友達づくりに手間取るなどコミュニケーション能力の低下などの影響がある。また、妊婦の方では、低出生体重児出生率、早産児出生率が高くなるなどの影響がある。騒音に長期間曝されていると 4kHz を中心とした高音域の聴力損失が発生し、さらに 2kHz, 1kHz における聴力低下がおき日常生活に支障が出る。そのような問題点があり国や自治体などでは、防音対策として道路の材質を変えて車から発生する騒音を低減させたり、高速道路に設置してある遮音壁を設置するなどしている。しかし、そのような工事が不可能であったり、個人によって発生する騒音に対しては国や自治体が対処する事は困難である。

そこで個人で騒音を除去するためにノイズキャンセラなどの能動的に音を制御する技術がある。ノイズキャンセラはマイクで拾った騒音とは逆の位相の音波成分を発生させてお互いを消し合いノイズを低減させるという技術である [3]。逆の位相の音波成分とは、ある音の波形の正負が逆になった波形の音である。ノイズキャンセラ機能付きイヤホンなどの製品化もされており、個人で音楽を楽しむために使用される事が多い。ノイズキャンセラは既に自

1.1 研究の目的と背景

自動車のマフラーや工場の排気ダクト，自動車内におけるエンジン音やロードノイズの低減などに使用され，騒音を消音する．騒音制御を行う空間が限定されている場合はこの技術を用いることができるが，限定されていない空間では実現は困難である．

騒音が遮断されればよいという目的のみであれば，耳栓やイヤーマフなどによって周囲の音を遮断する方法がある．この方法であれば騒音を遮断することはできるが，耳栓の装着に嫌悪感を抱く人や会話が必要となる環境では周囲の音が聞こえなくなることは問題である．また，イヤーマフは鉱山での発破音や戦争時における爆音に対処するために作られており締め付ける力が強い．そのため長時間の使用では締め付けによる頭痛が発生する可能性がある．

室内であれば，外からの騒音に対してカーテンや防音シート，防音壁などによって騒音対策はできる．完全に騒音を聞こえなくする事は困難であるが気にならない段階まで騒音を遮断する事は可能である．しかし，大掛かりな工事が必要でアパートなどの賃貸物件では個人のものではないためその方法はとれない．また，室内という条件付きである．

そのような問題に対し，騒音に対して音楽のような別の音を重ねるマスキングの手法がある．マスキングとは，周波数，音の大きさ，2つの音の時間的要素などの要素が関係し，マスクされた音が聞こえにくくなる，完全に聞こえなくなる現象である [4]．マスキングによって騒音が聞こえにくくなる，または完全に聞こえなくなる事で騒音が気にならなくなる．それによって人体への影響を低減させ快適な環境を作成する事が可能となる．マスキングに用いる音が届く範囲が広ければその分騒音が聞こえにくくなる範囲が広がり有効な手段であると言える．そのマスキングを用い騒音の抑制を行う方法があるが，マスキングに用いる音自体が騒音になってしまう可能性も問題視される．

そこで，本研究では生活の中で存在していても騒音と認識されにくい環境音をマスキングに用い，騒音を聞こえにくくすることができるかの検証を行う事を目的とする．ここでの環境音とは，音声・音楽を除いた音で日常的に聴取して自然な音とする．環境音を周波数特性，時間波形の観点からマスキングできる音であるかの判断を行う．また，主観評価によって騒音の聞こえにくさ，環境音として適している音を求める．これにより環境音によって騒音の

1.2 本論文の構成

マスキングができるかの検証を行う。

1.2 本論文の構成

本論文の構成を示す。

第2章では、音の物理的特性やマスキングとはどういった原理で発生するかを説明する。その説明から本研究で設ける環境音の選定条件を述べる。

第3章では、選定条件をクリアする環境音を用いマスキングできる音であるかの判断を行う。また、被験者実験による主観的評価の結果を示し、その結果から環境音によってマスキングできているかを検証する。

第4章ではこれまでの検証結果から本研究の結論と今後の課題について述べる。

第 2 章

音の特性とマスキング

2.1 はじめに

生き物は常に音に囲まれて生活している。周囲の音であったり自らの体内で発生する音など様々な音があり、そのなかで主観的に音を分けると不快と感じる音、快適と感じる音、なにも感じない音がある。そして、不快と感じる音を騒音、快適と感じる音及びなにも感じない音を環境音として捉える事ができる。この音の捉え方の違いには、音の性質の違いや音に対しての慣れ、イメージの違いなどが考えられる。

また、音には可聴音と不可聴音とあり、人の耳では認知できないが物理的には存在する音がある。認知できないとは、人の耳の構造上聞こえない場合であったり、別の音によって目的の音が聞こえにくくなる場合があるが、本論文では後者のみを扱う。この別の音によって目的の音が聞こえにくくなる現象をマスキングという。このマスキングとは、日常生活の中でも発生する事が多々あり、例えば近くを電車が通る時に会話をしている際相手の声が聞き取りにくく、あるいは完全に聞こえなくなる事がある。この時、マスキングに影響する要素は、互いの音の周波数、時間的要素、互いの音の大きさなどいくつかある。それらの要素が影響する項目についての説明を行い、マスキングの原理について述べる。

本研究では、環境音を用いて騒音のマスキングを行うが、環境音の定義は音の捉え方に個人差があり非常に曖昧である。ここでは、音声・音楽を除いた音で日常的に聴取して自然な音を環境音とする。そのため環境音に適している音の調査、マスキングを効果的に発生させる環境音を選定する条件が必要であるため、本章ではこれらについて述べる。

2.2 音の物理的特性

2.2 音の物理的特性

音は空気の振動により発生しているという事は周知の事である．ここでは，JIS Z8106[5]によって明確に定義されているものを示す．

1. 弾性波で正常な聴力を持つ人に聴覚的感觉を起こす周波数範囲のもの．
2. 上の弾性波によって起こされる聴覚的感觉．

上記のように，弾性波（音波）つまり物理的現象としての音と聴覚つまり感覚としての意味の両面を持っている [6]．音には，振幅（音圧），振動数（周波数），波形の物理的特性がある．音波が聴覚器官を刺激すると，これらの物理的特性はそれぞれ，音圧によって音の大きさ，周波数によって音の高さ，そして波形によって音の音色，という心理的特性を音の感覚として生じさせる．この関係をまとめると，

物理的特性		心理的特性	
振 幅〔音圧〕	amplitude	音の大きさ	loudness
周波数〔振動数〕	frequency	音の高さ	pitch
波 形	waveform	音 色	timbre

のように表せる．ただし，この関係は常に 1 対 1 対応があるとは限らない．心理的特性には他にも太さ（volume），明るさ（brightness），母音性（vocality），調性（tonality）などがある [4]．

2.3 音のラウドネス曲線

音には可聴音と不可聴音があり，人の耳で認知できる音と物理的には音が存在しているが認知できない音となる．可聴音と不可聴音を図 2.1 に表す．聴覚の感度は周波数に対して等しくないため図 2.1 のような曲線が描かれる．この図の縦軸は振幅の大きさを音圧レベル（dB：デシベル）で示し，横軸は周波数（Hz：ヘルツ）を示す．図 2.1 の一番下の曲線は最小可聴値（MAF：minimum audible field）を示し，この曲線より下の音は人には聞こえ

2.4 マスキング

ない。

聴覚の感度は周波数に対して平坦ではなく、低周波数では感度が悪く周波数が上昇するにつれて感度は上がり、4KHz 付近で最も感度が良い事が分かる。この図の曲線は 1KHz の純音と等しい大きさに聞こえる他の周波数の音の音圧レベルを示しており、他の音の大きさも周波数によって異なることが分かる。そこである音について、正常な聴力を持つ人がその音と同じ大きさに聞こえると判断した 1KHz の純音の音圧レベルの数値を大きさのレベル (loudness level : 表示は phon) と呼び、ISO 226 として標準化されている。低周波数音に対する聴覚の感度と高周波数音に対する感度の差は、音が大きくなると少なくなる。

小さい音圧レベルでステレオを聴取すると低音がよく聞こえないのに、音圧レベルを上げると低音がよく響くようになるのは聴覚の周波数特性の反映であり。低周波数音は高周波数音と比べて、音圧レベルが上がると急に大きくなることを意味する [6]。図の上の線 (100phon) より大きい音圧レベルでも音は聞こえるが、同時に耳に痛覚が発生する。100phon より大きい音に長時間曝されていると、一時的に最小可聴値が上昇する現象 (一時的閾値移動 : temporary threshold shift : TTS) が発生し、更には永久的な聴力損失 (permanent threshold shift : PTS) になる可能性がある。

2.4 マスキング

ある音があり、可聴音であったとする。その音が別の音によって不可聴音となること、認知できなくなる事をマスキングという。マスキングとはある音 B を聞き取るための最小可聴値が他の音 A (マスキャー) の存在により上昇し、聞こえにくくなる、完全に聞こえなくなる事である。このマスキング現象は日常生活においてもよく経験する事であり、話をしている時に大きな音を立てて電車が近くを通ると、相手の話がかき消されて聞こえにくくなった、完全に聞こえなくなる現象の事である。このように 1 つの音の存在が他の音を聞こえにくくする現象を聴覚マスキングという。

このマスキングの効果はマスクされる音 (test tone : 試験音) の周波数とマスキャー

2.4 マスキング

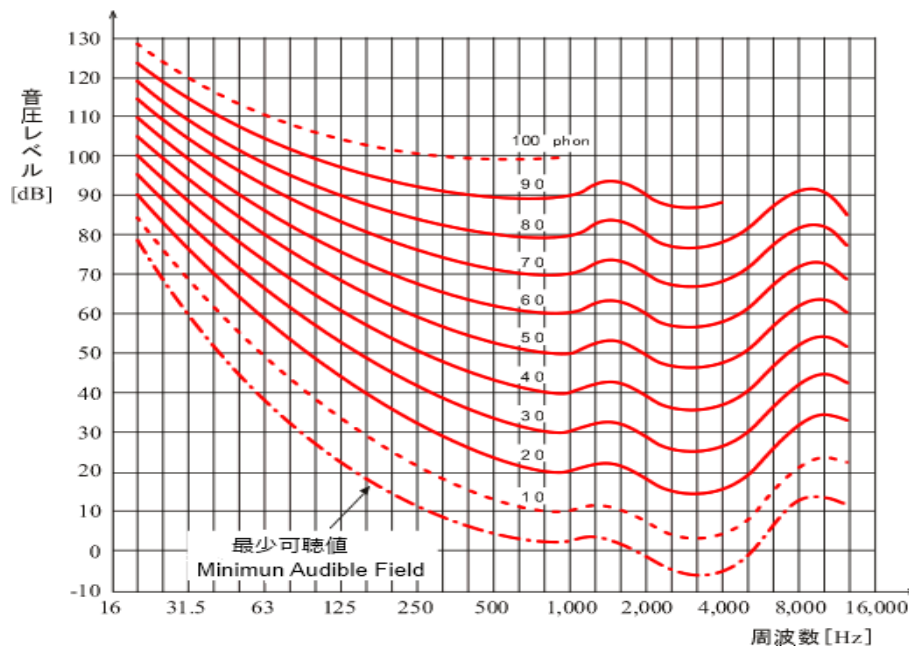


図 2.1 等ラウドネス曲線

(masker) の周波数の関係に大きく関わりがあり，両者の周波数が近いほどマスキングの影響は大きくなる．またマスキングは試験音とマスキャーが同時に発生している場合（同時マスキング）だけでなく，試験音とマスキャーが時間的に重ならない場合も生じる（継時マスキング）．そのマスキングの大きさは，他の音を与えられた時に聞こうとしている音の最小可聴値がどれくらい上昇したかによって表す事が出来る．音 A が音 B をマスクするとして，音 B が単独で与えられた時の音圧レベルの値を I_o として，同時に鳴らした音 A によって上昇した音 B の音圧レベルを I_m とすると，この上昇分がマスキングの大きさである．すなわちマスキング量 (MDB) は，

$$M = I_m - I_o$$

となる [4]．マスキング現象は信号音を遮蔽するので，強い信号によって弱い雑音をマスクする場合は，邪魔な雑音が消されて快適に信号を聴取することができる．また，継時マスキングの場合，例えば音声が入る部屋の壁や天井に当たって跳ね返ってくる反射音の影響を抑え，それだけ信号を明瞭にする．

2.4 マスキング

2.4.1 純音同士のマスキング

純音同士のマスキングの場合からマスキングによって音が聞こえにくくなる傾向を述べる．純音とはサイン波のことで，特定の高さのみからなる基本の音である．純音同士のマスキングの場合，マスキングと試験音の両方の周波数と強さを様々に変えてマスキング量を測定すると，次のような一定の傾向が認められる [7] ．

1. 低周波数音は高周波数音をマスクしやすいが，高周波数音は低周波数音をマスクしにくい．
2. 周波数の近い音ほどマスキング量は大きいですが，あまり近いとうなりが生じる．この場合，うなりによって試験音の存在が検知されやすくなるために，マスキング量はかえって減少する．同様のことは，試験音の周波数がマスキングの倍音付近の場合にも生じる．
3. マスキングの強さが増大するほどマスクされる範囲は広がり，マスキング量も増大するが，その割合は周波数によって異なる．

2.4.2 マスキング範囲

マスキングと試験音が同時に再生されて発生するマスキングを同時マスキング (simultaneous masking) と呼ぶ．この同時マスキングは，マスキングと試験音の周波数が同じ時，もっともマスキング量が大きくなり，試験音がマスキングの周波数より離れるとマスキング量は減少する．また，マスキングより高い周波数の範囲ではマスキング効果が大きいですが，低い周波数の範囲では少ない．このマスキングされる範囲はマスキングの周波数によって異なる．500Hz 付近より低い周波数では約 100Hz の範囲，それを超えるとマスキングの周波数の増加と共にマスキング範囲も増加する．この範囲の遷移を図 2.2 に示す．

2.4.3 継時マスキング

マスキングより先に試験音が提示された場合，およびマスキングの後に試験音が提示された場合にもマスキングは生じ，これを継時マスキングという．前者を逆行マスキング (backward

2.4 マスキング

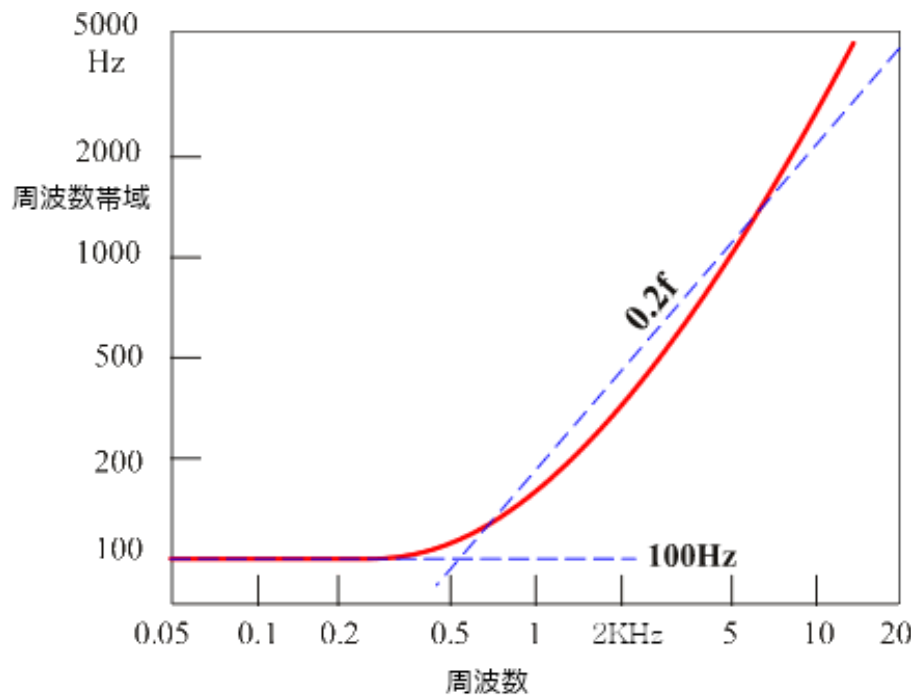


図 2.2 マスキング範囲

masking または pre-masking), 後者を巡向マスキング (forward masking または post-masking) と呼ぶ [6]. この継時マスキングの場合, 試験音とマスキャーの時間感覚, および両者の周波数がマスキング量に影響する. また試験音の持続時間は数 msec. 程度の短いものであることが必要である. このように継時マスキングの場合も同時マスキングと同様に, 帯域雑音であるマスキャーの中心周波数と試験音の周波数が近いときにはマスキングが生じるが, 周波数が異なる場合には試験音はマスキングされにくい.

2.4.4 スペクトルマスキング

マスキングがある音 A によって別の音 B が聞こえにくくなるということは既に述べているが, スペクトルマスキングはマスキングの中でも周波数成分に着目し, マスキング対象の音を含む周波数成分と近い音を重ねた場合に起こる現象である [8]. スペクトルマスキングの概念を図 2.3 に示す. 音 A の周波数図の斜線部がマスキング効果のある範囲である.

2.5 環境音をマスキングに用いた騒音抑制

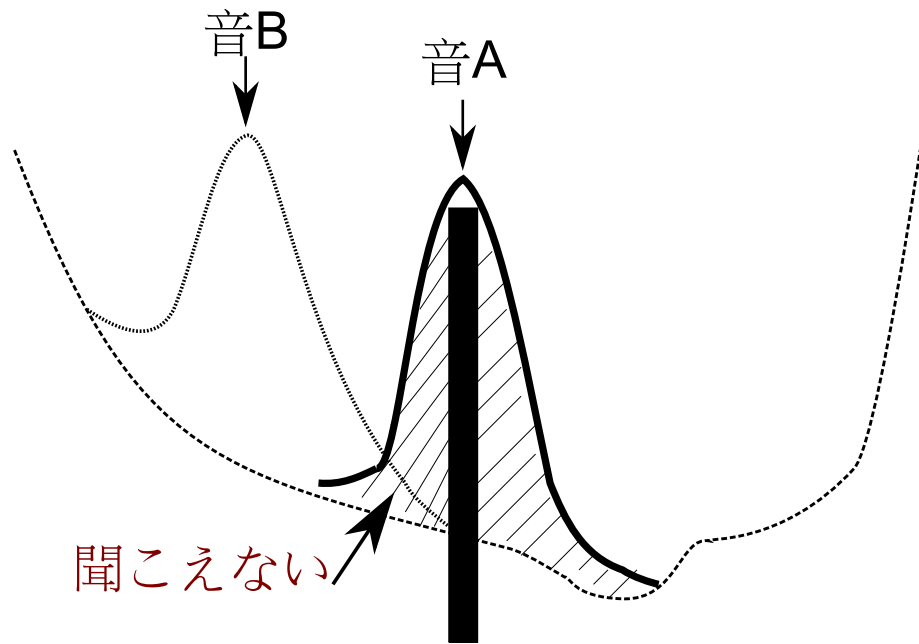


図 2.3 スペクトルマスキング概念図

2.5 環境音をマスキングに用いた騒音抑制

本研究では、環境音によって騒音をマスキングし、聞こえにくくなるかを検証する。そのため、環境音がマスキングに用いる音として適している必要がある。そこで本研究で行う騒音抑制のマスキングに用いる環境音は以下の条件にあてはまるよう選定する必要がある。

- 対象騒音の最も低い周波数（最小可聴値以上の音圧を持つ）から対象騒音のマスクしたい周波数までの範囲の周波数帯域を持つ音。
- 時間波形の音圧が断続的でない。
- 対象騒音と環境音の周波数特性が類似している。

これらの条件設定について説明をする。まず1つ目は、マスキングには低周波数音のほうが高周波数音をマスクしやすいという特徴がある。しかし、マスクしやすいとはいえそのマスキング範囲は徐々に小さくなっていく。マスクしたい音がマスキング範囲より高い（低い）周波数を持つ音であった場合マスキングはできない。そのため、対象騒音のマスクしたい最小可聴値以上の音圧を持つ低周波数から対象騒音のマスクしたい周波数までの範囲に周

2.5 環境音をマスキングに用いた騒音抑制

波数を持つ音源である必要がある。

次に2つ目の条件であるが、先行研究データより対象騒音に対してスピーカから再生する音源に必要な特徴が分かる [10]。実験結果よりマスキングと試験音の時間波形から考察している部分がある。マスキングが鳥のさえずりのときのマスキング量が他の項目と比較して低いことが分かる。これは、鳥のさえずりの時間波形が断続的であるゆえに試験音を断続的にしかマスキングできていないことが考えられると述べている。実際に時間波形の例として、図 2.4 のような時間波形を持つ音で図 2.5 のような時間波形を持つ音をマスキングしようとしても騒音が目立ち、環境音によって断続的にしかマスキングできない事が分かる。この結果から本研究で扱う環境音の設定条件に時間波形の音圧が断続的でない事を提示した。

最後の対象騒音と環境音の周波数特性が類似しているのは、1つ目の条件と似ている部分があるが、時間波形で周波数特性が類似していれば最も効果的にマスキングできる。また、FFT などによる全体の周波数特性を見るとマスクしたい周波数帯域にピンポイントでマスキングできるかどうか判断できる。これらによりマスキングしやすいかどうかの判断ができると考え、条件の1つとしている。

これらの条件下で選定した環境音を用い騒音のマスキングを行い、被験者実験による主観評価によって定量的な結果を求める。人の感覚は精密機器を陵駕する事もあるため、正常な聴力を持つ人物による被験者実験による主観評価を行う。この評価では、環境音によって騒音がマスキングされているかの検証、環境音として適した音であるか、音色によってマスキングに影響があるかを求める。

周波数特性が類似している場合に騒音を不快と感じ、環境音を不快と感じにくい理由としては、2つの事が考えられる。1つ目は音色の違いである。個人差はあれど快適であると感じる音色や何も感じない音色、不快と感じる音色など様々な音色がある。一概には言えないが、おもに川の音や自然界で発生する音などの音色を有する音を不快と感じにくい環境音として扱ってよいのではないかと考える。また、騒音は大きすぎる音や高すぎる音など生活している中で長時間その音に晒される事の少ない音が騒音であると考えられる。

2.6 まとめ

2つ目はその音に対しての慣れと考える．人間は慣れた音であれば不快感を抱く事が減るのではないかと考える．慣れる事で意識する事が減りその音に対しての感情が薄れ気にならなくなると考える．同様の事は匂いや光に対しても言える．最初は不快感を抱いていたとしても時間が経てば徐々に慣れ不快感が薄れていく．この事が環境音と騒音を区別する際に影響がある事ではないかと考える．音色は音の波形によって判断する事ができるが，人が見ただけでは判断が困難である．そこで，音色に関しては人の感覚を利用し，騒音・環境音の判断基準の1つとして用いる．その実験結果を付録 A に示す．この実験は，環境音として適している音色を調査するために行い，結果として水が流れる音が適しているのではないかと判断をした．

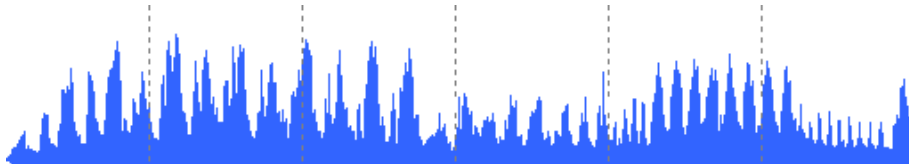


図 2.4 時間波形：例 1

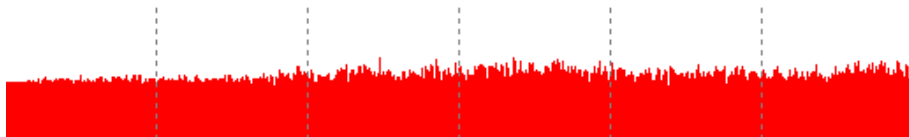


図 2.5 時間波形：例 2

2.6 まとめ

本章ではマスキングの原理について周波数，音の大きさ，時間的要素の観点から説明した．また，環境音によってマスキングをするためにどのような条件が適しているかについて述べた．次章ではその条件に従いマスキングに用いる環境音を作成し，被験者実験による主観評価によって選定条件が正しいのか，環境音によって騒音がマスキングできるかを評価する．

第 3 章

環境音による騒音抑制

3.1 はじめに

第 2 章で述べたようにマスキングに用いる音がどのような音でも良い訳ではない。マスキングに用いる音自体が騒音にならない、騒音をマスキングできる音である必要がある。また、マスキングは音の周波数が近いほど聞こえにくくなる。しかし、騒音は様々あり主な周波数帯域はあっても常に同じ周波数である事はないため、常に類似した周波数を持つ環境音を作成することは困難である。そこで騒音の周波数特性を音声データ解析ソフトウェアによって求め、環境音の周波数特性を騒音に類似させる事で騒音のマスキングを行う。また、選定条件に断続的でないという項目があるため、各音源の時間波形を示し断続的でない事を表す。

本研究の目的は環境音による騒音のマスキングが有効かの検証であるため、被験者実験による主観評価を行う。評価項目は騒音の聞こえにくさ、及びどの程度気になるか、環境音自体が気になるか、好みであるかを調査する。この項目によりマスキングの有効性、環境音として適した音であるか、好みによってマスキングに影響があるかを調査する。被験者は 20 代男性女性の 6 人を対象として実験を行い、結果のまとめ及び考察を示す。

3.2 騒音抑制

2.5 節で述べた環境音の選定条件に基づき環境音を作成する。騒音は時々刻々と周波数が変化し一定ではないため、周波数を類似させる事は困難である。本実験では騒音の周波数特性を音声データ解析ソフトウェアによって求め、環境音の周波数を類似させスペクトルマス

3.3 使用音源

キングを発生させる事で騒音をマスクする．音声データ解析ソフトウェアには FFFFT というフリーソフトを利用している．各音源の周波数特性は次節で示す．

3.3 使用音源

使用する音源は騒音・環境音それぞれ 3 つずつの計 6 音である．騒音 1 つに対して環境音 1 つを用い，環境音の周波数特性を騒音に類似させる事でマスキングは発生する．各音源が 15 秒程度の長さを持っているため時間波形が間欠的でない環境音を用いる事で連続的にマスキングする事が可能である．この事を満たした環境音である事を前提としている．

マスキングの対象となる騒音は，バイクを吹かす音，救急車のサイレン，雑踏音の 3 つで，マスキングとなる環境音は葉擦れ音と水の流れる音，空調模擬ノイズの 3 つである．3 つの騒音を選択した理由としては，身近な騒音と感じているからである．高知工科大学がある土佐山田町では，バイクを吹かす音がよく聞こえる．また，救急車のサイレンは場所を問わず様々な場所で耳にする事が多く，命の危険が伴っているために発生する音である．そのため救急車のサイレンを快適な音と感じる人は少ないと考え，騒音と扱いマスキング対象としている．また，雑踏音は人が集まるところであれば規模の違いはあれど場所を問わず発生する．そこで，身近な騒音として本研究のマスキング対象音とした．

環境音の選択理由を説明する．葉擦れ音は先行研究の論文中に周波数が約 1KHz 付近の音に対してマスキング効果が高いと記述されていたためである [9]．水が流れる音は，高知県は川が流れている環境が多くあり，馴染みの深い環境音になるのではないかと考え環境音の 1 つとした．また，環境音として適している音を調査するアンケートの結果から快適度が高く環境音として適していると判断した．最後の空調模擬ノイズは対象被験者が学生ということで研究室や大学内等にいる事が多くあると考え，大学内は空調音が流れている環境が多くある事から，環境音としては適しているのではないかと考え環境音の 1 つとした．次に各音源についての説明をする．

まず，バイクを吹かす音の周波数特性について説明する．図 3.2 を見ると，いくつかの

3.3 使用音源

音圧レベルの山があることが確認できる．330Hz 前後に最も音圧レベルが大きく 550Hz・890Hz に山のような形で音圧レベルが大きくなっている．このバイクを吹かす音には，葉擦れ音を用いてマスキングを行う．葉擦れ音の周波数特性は図 3.1 に示す．ただし，何も手を加えず再生すると提示した条件に当てはまらないため，葉擦れ音を 1 オクターブと 6 半音上げてバイクを吹かす音と同時に再生する．

救急車のサイレンは図 3.3 で 800Hz と 1KHz 付近で音圧の急上昇が確認できる．救急車のサイレンはバイクを吹かす音に比べて音圧の波が少ない．この音に対しては，水の流れる音を用いてマスキングを行う．水の流れる音の周波数特性を図 3.4 に表す．

最後の騒音である雑踏音の周波数特性を図 3.5 に示す．人の会話や生活音により構成されており，環境音は既に製品化されているサウンドマスキングシステムにも使われている空調模擬ノイズを使用する．サウンドマスキングとは，ある音を継続的にスピーカーから再生する事で会話や気になる音を聞き取りづらくし気にならないようにするシステムである．おもにオフィスでのスピーチプライバシーの保護，集中阻害の防止に効果がある [11]．製品ではオフィス空間を対象としているが，本研究では被験者が建物内にいて，騒音が建物の外から聞こえる環境を想定しており，本当に効果があるのかどうかもかねて実験を行う．実験に用いる環境音である空調模擬ノイズの周波数特性が図 3.6 である．100Hz 付近で空調模擬ノイズの音圧が高いがそれ以外の部分では概ね類似しているといえるため，マスキングについて期待できると考える．

3.3.1 実験環境

被験者実験の対象者を表 3.1 に示す．また，実験を行う環境を図にまとめたものが図 3.13 である．なお，本実験では対象者の約 8 割が目的の回答であった際に有効的であると判断する．騒音・環境音が気になるかは「気にならない」環境音の好みは「どちらでもない～好みである」の項目が最良であるとする．騒音・環境音が気になるかについては，騒音を聞こえにくくし気になりにくい環境にする事が本研究の目的だからである．環境音の好みについて

3.3 使用音源

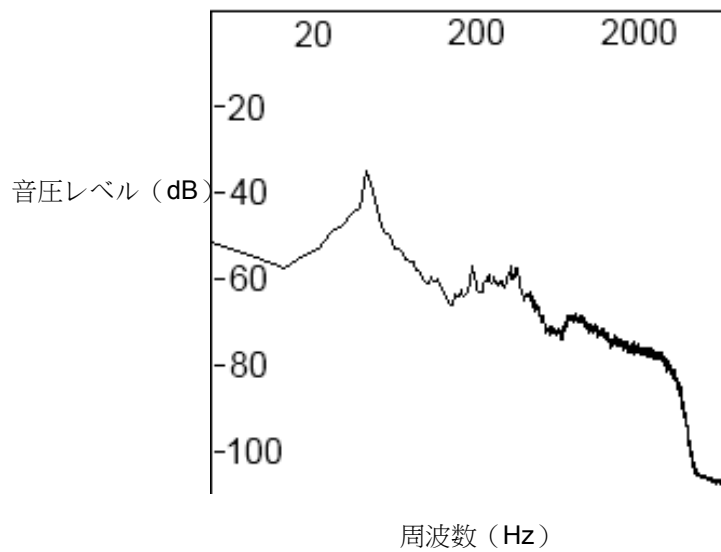


図 3.1 葉擦れ音・周波数

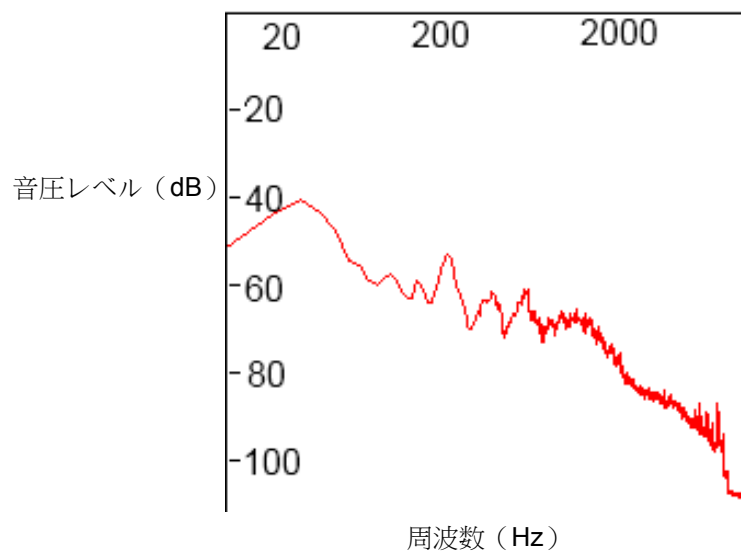


図 3.2 対象騒音のバイク・周波数

は、好みでない場合環境音自体が騒音と認知されたと判断できるため、本研究の目的から外れるためである。評価項目は図 3.14 にもあるように騒音・環境音を同時に再生したときに騒音が気になるかどうか、環境音単体で再生し環境音が気になるかどうか、また環境音が好みであるかどうか、の 3 点を 5 段階評価によって評価する。各項目は騒音が環境音によって気にならなくなるか、マスキングする際に環境音が騒音となっていないか、好みによってマ

3.3 使用音源

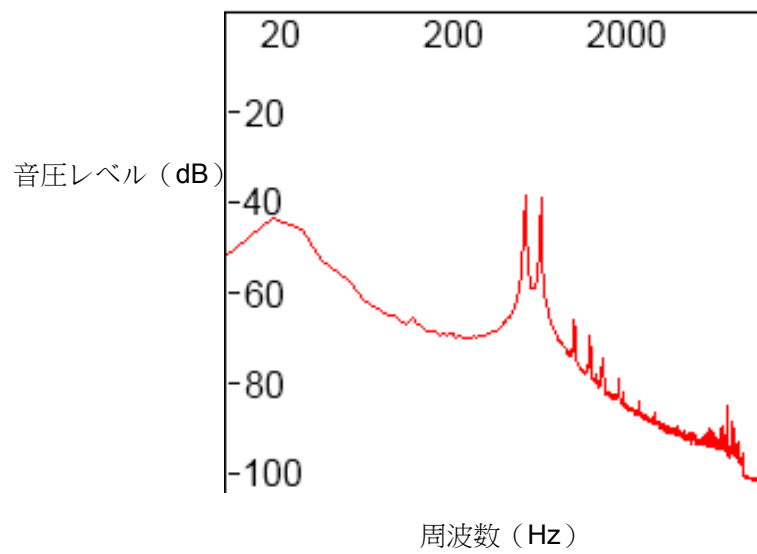


図 3.3 救急車のサイレン・周波数

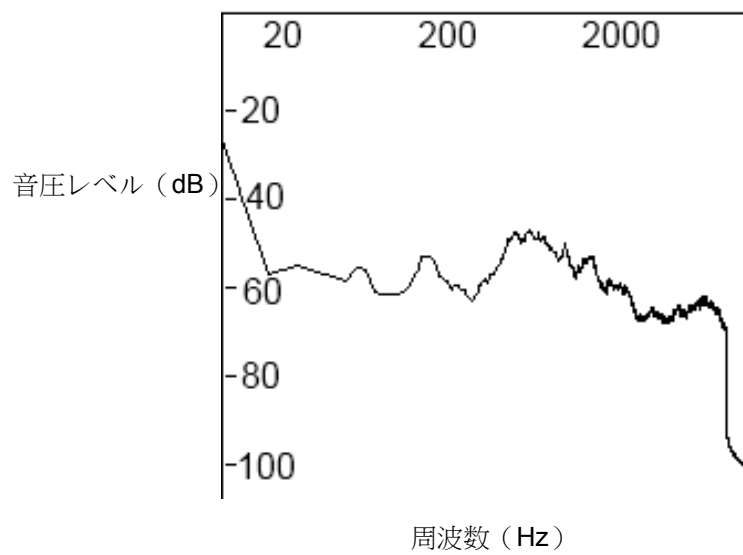


図 3.4 水が流れる音・周波数

スキングに影響がないかどうかの判断基準にするため設けている。

3.3 使用音源

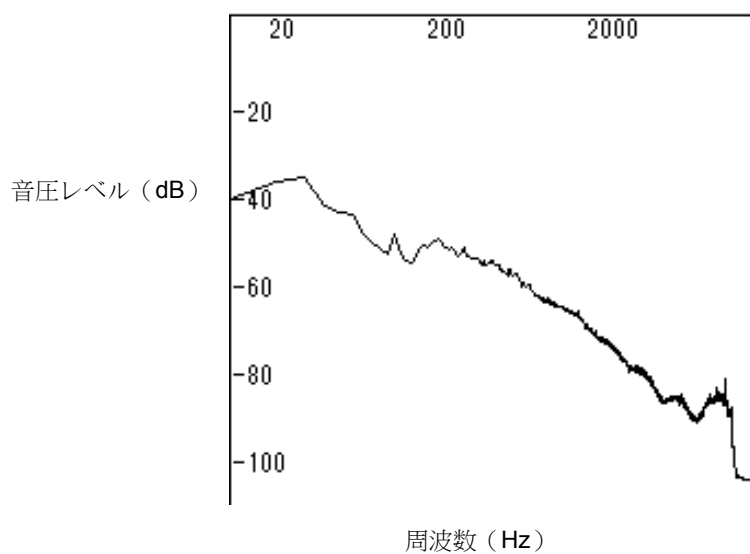


図 3.5 雑踏音・周波数

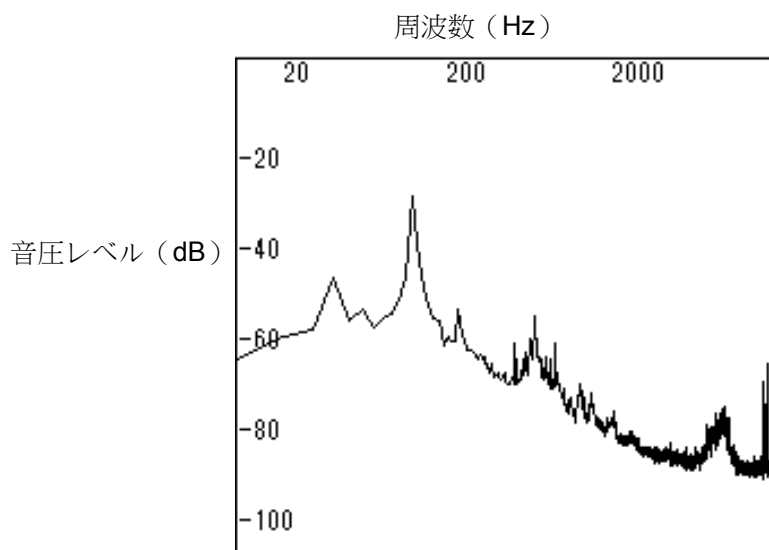


図 3.6 空調模擬ノイズ・周波数

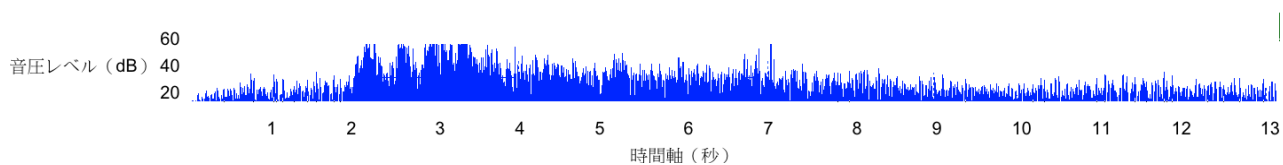


図 3.7 バイクを吹かす音，時間波形

3.3 使用音源

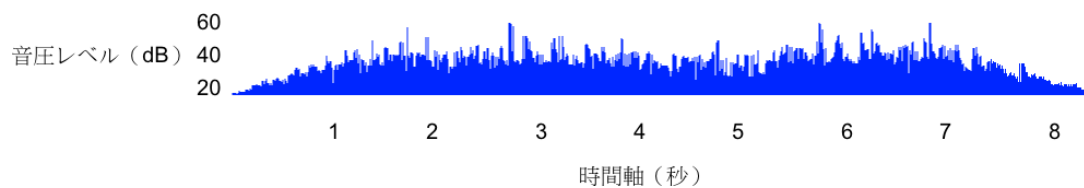


図 3.8 葉擦れ音，時間波形

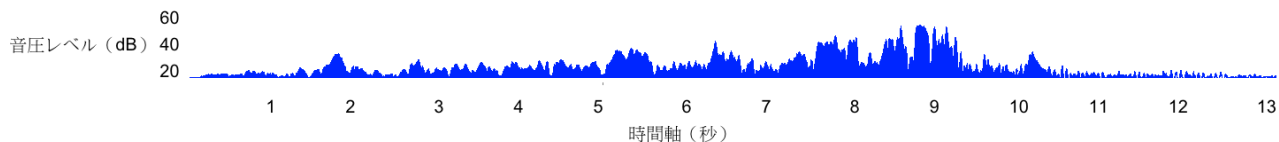


図 3.9 救急車のサイレン，時間波形

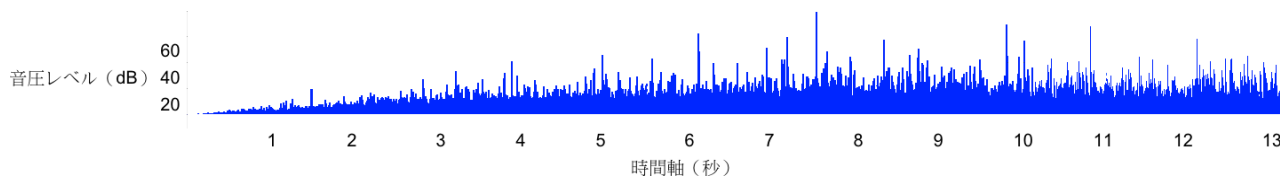


図 3.10 水の流れる音，時間波形

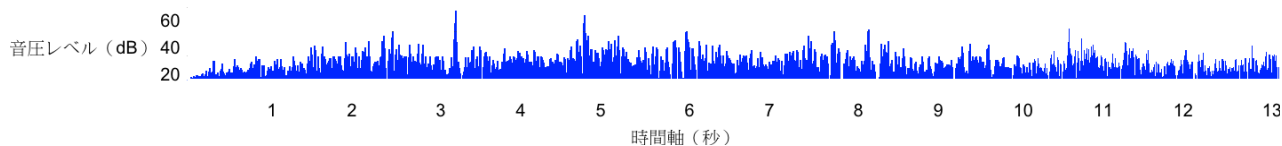


図 3.11 雑踏音，時間波形

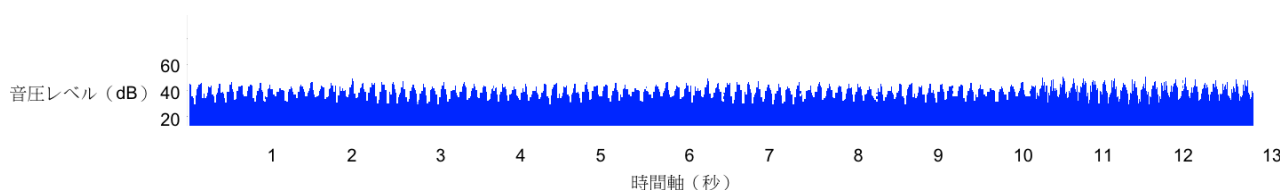


図 3.12 空調模擬ノイズ，時間波形

3.3.2 主観評価

3.3.1 で説明した実験環境において被験者実験による評価の結果を図 3.15，図 3.16，図 3.17，図 3.18 に示す。

3.3 使用音源

表 3.1 被験者実験の対象者

被験者人数	6人
年齢	20歳代学生
性別	男性女性

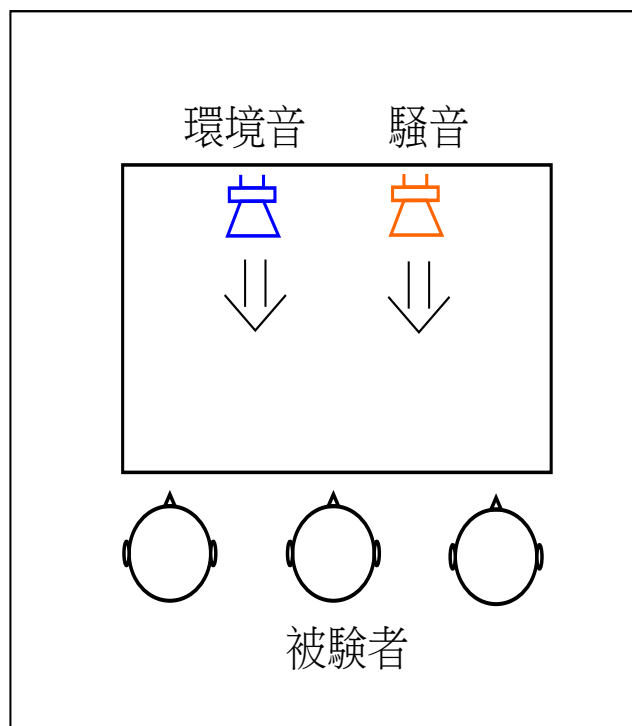


図 3.13 実験環境

実験を行う前での予測値としては、各項目でマスキングがかなり行われて不快と感じにくい結果が出ると予想していた。しかし、結果は予測値とはかなり異なっていた。これには、環境音へのイメージが挙げられると考える。また、騒音が聞こえにくくなっているとする判断基準も個人に任せているため、定量的な評価にばらつきが発生したのではないかと考える。実験の際に騒音を意識して聴くと騒音が気になり、何も意識せずに聴けば騒音が気になる事は減ったのではないかと考える。今回の実験では特に意識する対象を限定していなかったため、このような結果につながったのではないかと考える。また、音に対しての慣れも結果に影響する項目の1つではないかと考える。音源を製作・編集していたため私は音源を聴

3.3 使用音源

騒音、環境音それぞれについて評価してください。自宅や学校など建物のなかにいることを想定して回答をお願いします。まずは騒音についてです。騒音が気になるかどうかについて5段階評価のうち最も近いものに丸をつけてください。

気 に な る	少 し 気 に な る	い ど え ち な ら い と も	気 そ に れ な ほ ら ど な い	気 に な ら な い
1	2	3	4	5

次に環境音についてです。環境音が気になるかどうか、好みの音であるかどうかについて最も近いものに丸をつけてください。

気 に な る	少 し 気 に な る	い ど え ち な ら い と も	気 そ に れ な ほ ら ど な い	気 に な ら な い
1	2	3	4	5
好 ま し く な い	好 ま し く な い	好 ま し く な い	少 し 好 ま し い	好 ま し い
1	2	3	4	5

図 3.14 被験者実験に使う評価用紙

3.3 使用音源

く機会が被験者と比較してかなり多い．理論上の音源作成および予測値を立てる際に希望的観測が含まれていた可能性もある．そして，音源に対して慣れてしまった事と音源に対してのイメージが被験者と異なるために予測と差が発生したのではないかと考える．被験者の感想をいくつか挙げると，

- 騒音に関して

- － 救急車のサイレンは誰かが乗った可能性があるのではないかと考え気になってしまふ

- 環境音に関して

- － 葉擦れ音らしくなく環境音としての馴染みがなく騒音に聞こえた
- － 水が流れていると「流しっぱなしになってる，止めにいかないと」と思い気になる

のような感想があった．この事から音に対してのイメージや，音が提示されている環境に違和感がないなどといった条件下ではまた異なった結果が出たのではないかと考える．

3.3 使用音源

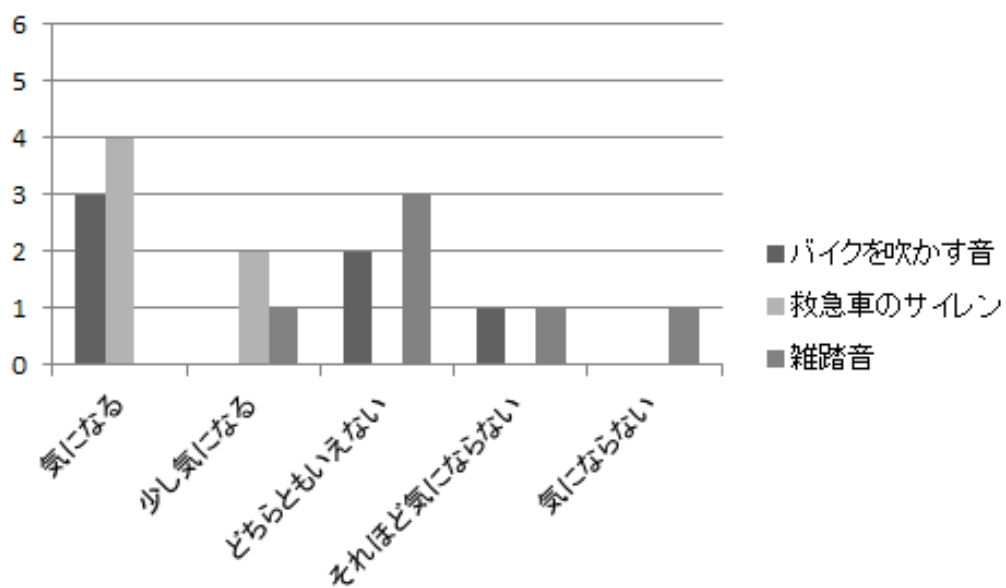


図 3.15 騒音・気になるかどうか

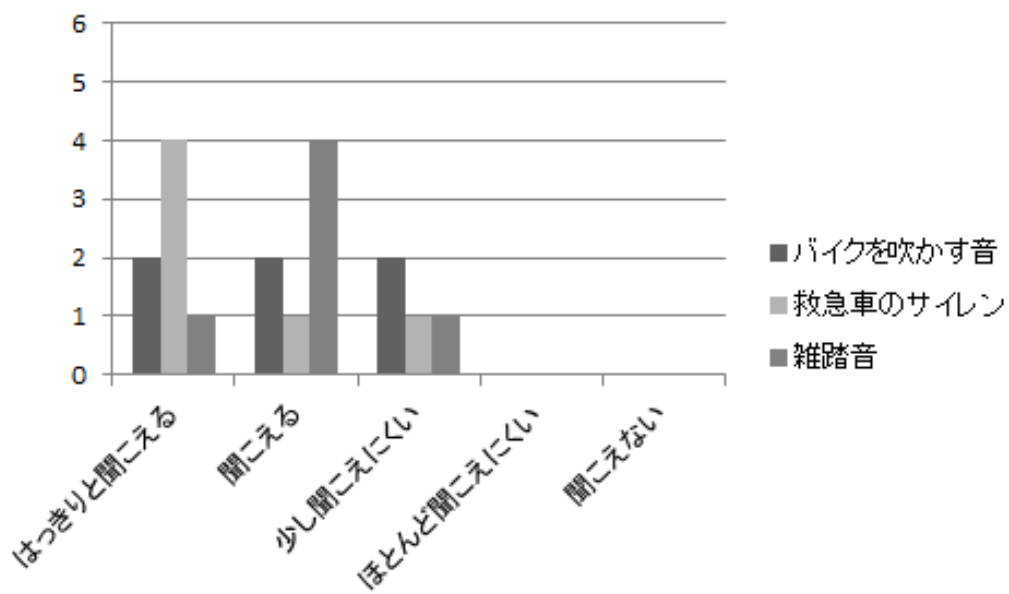


図 3.16 騒音・マスキングできているか

3.4 考察

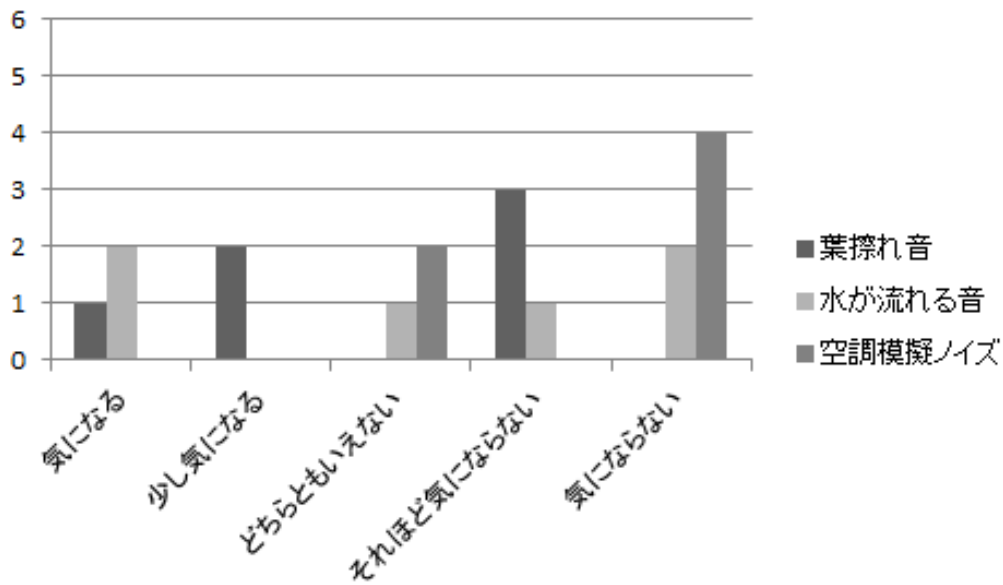


図 3.17 環境音・気になるかどうか

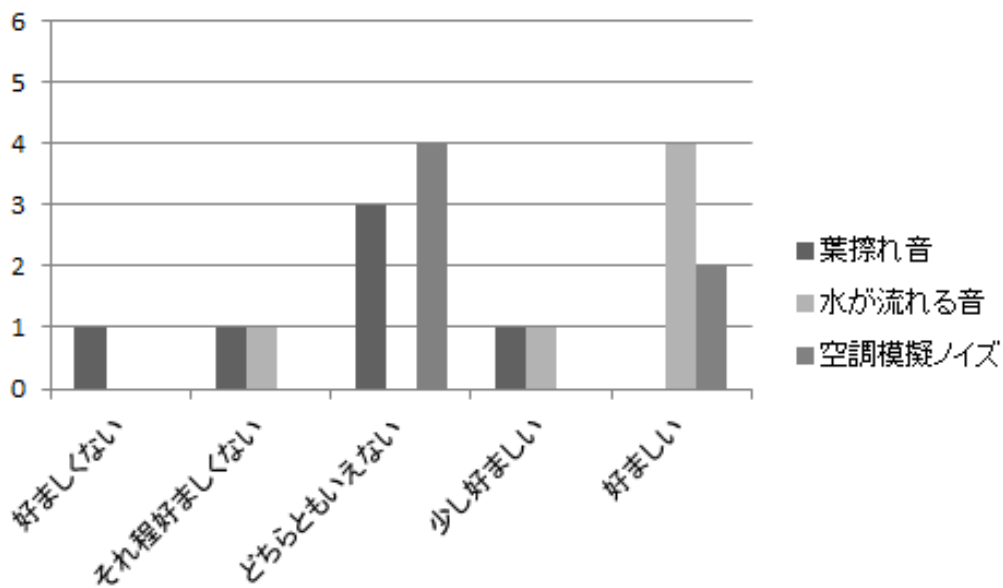


図 3.18 環境音・好みかどうか

3.4 考察

実験結果としては、騒音がマスキングにより可聴領域が上昇し環境音によって騒音が抑制されている事を確認したが、図 3.16 のような結果であり聞こえるという評価であった。こ

3.4 考察

の結果に影響している事として実験の際にどの音に注目するかの違いが考えられる．実験では騒音と環境音を同時に提示し騒音が気になるか，聞こえにくくなっているかを評価してもらった．そのため意識としては，騒音に向いており耳が自動的に騒音を選択して聴取しているのではないかと考える．故にマスキングの結果としてはっきりと聞こえる，聞こえるが多い結果となったのではないかと判断する．

また，環境音の結果からは，個人差があるため結果のばらつきはあるが，概ね環境音として適しているのではないかと考える．葉擦れ音は周波数を元の音より上げていて普段耳にする事が少ない音になっており，慣れていないことから他の音と比較して気になるという解答が多いと考える．それに対して空調模擬ノイズは被験者が学校にいる事の多い学生が対象となっており，音に対しての慣れが関係しているのか気になるという評価はなかった．この事から環境音は慣れ及び音を提示する環境に適しているかによって判断が変化するのではないかと考える．

慣れている音，苦手意識を持つ音など様々な音があるが，個人に発展する事は可能であると考え．ただし，それは条件が限定的である場合に限る．その音を全体が慣れて騒音として認知されない場合など騒音として認知されない音がありその音で騒音をマスキングできるならば個人で利用しても周囲に悪影響を与えないため利用は可能であると判断する．ただし，可能性としてはあるが，現実的には困難である．

ノイズキャンセラとマスキングの併用は困難であると考え．ノイズキャンセラによって個人単位で騒音を制御する，ノイズキャンセラを使っている際に発生する逆位相の音が周囲に伝搬し，その空間における一部の人にとって騒音となる可能性がある．その音を別の音によってマスキングし聞こえにくくする事で実現自体は可能であると考え．しかし，ノイズキャンセラとマスキングが同時に必要な環境が私には想定できない．カクテルパーティ効果といって騒がしい環境下であっても会話が成立する現象がある．これは，人が意識した音を耳が自動的に取得しそれ以外の音を遮断する．このように人が意識して聞き取りたいと考える音が他の音によって聞こえにくくなったとしても人の耳でその音を聞き取る事が可能な場合があるため，ノイズキャンセラとマスキングを併用する環境の想定が困難であり，そのよ

3.5 まとめ

うな環境があったとしても適した環境音の選定が困難であるため，実現は困難であると考ええる．

3.5 まとめ

本章では第2章で述べた環境音の選定条件をクリアした環境音によって騒音のマスキングを行いその実験結果をまとめた．結果としては，周波数特性や時間波形から予測した結果と差が生まれマスキングが効果的に行われていない結果となった．この結果にいたった原因としては，音に対するイメージ，慣れや個人の判断基準に任せたなどといった様々な要素が考えられる．個人で好みの音を再生し騒音が聞こえにくい環境を作成する事は可能であると考えるが，その環境に複数の人がいた場合全員にとって快適な環境を作成する事は困難である．共通の環境で生活することが多くそこで発生しても違和感のない環境音があれば，全体的に快適だと言える環境を作成できるのではないかと考える．

第 4 章

結論

4.1 本研究のまとめ

騒音を聞こえにくくする，完全に聞こえなくする方法としてマスキングを用いた．マスキングとは，ある音 A によって別の音 B が聞こえにくくなる，完全に聞こえなくなる事である．本研究ではスペクトルマスキングという周波数に着目し騒音と環境音の周波数特性を類似させる事でマスキングし騒音を聞こえにくくする方法を用いた．

環境音の選定条件としては，騒音のマスキングしたい周波数帯域を持つ音，時間波形の音圧が間欠的でない，騒音の周波数特性と類似している事とした．選定した環境音を用いて被験者実験による主観評価を行った．結果は音に対するイメージや慣れの違いから，予測と異なり騒音が気になるという結果であった．また，環境音自体が騒音と判断される事もあり，実験環境自体に問題がある場合もあった．今回の実験では，スペクトルマスキングに着目し環境音の周波数特性を騒音と類似するよう調整したが，実際に聴いてみると音の大きさの問題であったり，似た音色のため環境音と騒音の区別が困難であったりとマスキング以前の問題が発生した．瞬間的に音が大きくなる騒音を用いた環境音によってマスキングすることは困難であるという結果であった．

4.2 今後の課題

今回の研究では，周波数に着目しスペクトルマスキングを行った場合を考え，その他の時間的要素や音源と耳の場所に関する項目などに関しては着目せずに実験を行った．そのた

4.2 今後の課題

め、最大限にマスキングできているとは考えにくい。また、環境音が適した音であるかも問題である。そこで、今後の課題としては、それらの時間的要素などの項目についても考慮しマスキング量を高めるための方法の検討を行う必要がある。また、環境音の選定条件を選びなおす必要がある。環境音が騒音よりちいさな音量でマスキングできる方法の検討が必要であると考える。

謝辞

本研究を行うにあたり、要領が悪い私をご指導して頂き、様々な助言をしてくださった福本昌弘教授に深く感謝致します。また、本研究の副査をしていただきました妻鳥貴彦准教授、吉田真一講師にも感謝致します。研究発表の際的はずれな回答をしてしまい申し訳ありませんでした。今回の失敗を活かし次からは十分に準備をしておくようにします。

また、研究活動やイベントなど様々な事でお世話になりました、佐伯幸朗助教と福富英次助手にも深く感謝致します。ときには徹夜でご指導頂いた事もあり、本当にお世話になりました。また、英語が全然ダメな私にご指導頂き誠にありがとうございました。同研究室の橋奥大樹氏にも深く感謝致します。忙しいときに質問しても真面目に返事してくださり、大変助けになりました。本当にありがとうございます。研究発表の際にはインフルエンザを引いてしまい同研究室の皆様には迷惑をかけてしまい申し訳ありませんでした。同じ研究室であった大藤氏、元気にしているでしょうか。卒業はできるというのは風の噂で知りました。

また、坂本研究室の大倉慈之氏にも深く感謝致します。くだらない事をいって迷惑をかけてしまい申し訳ありませんでした。時には話についていけない事もありましたが、楽しい時間をありがとうございました。研究活動をする中でアンケートにご協力してくださった方々にも感謝致します。データが無ければこの研究を終える事はできなかったと思います。本当に有難うございました。

最後になりましたが、私の大学生活を支えて頂いた家族や先生方に加え、関わったすべての方にご迷惑をおかけした事をお詫びすると共に、深く感謝致します。

参考文献

- [1] 建機プロ.com, “ 砕石用語辞典 ”, <http://kenkipro.com/>
- [2] 田中啓介, 浜田卓, 坂本昭太, 野原春花, フイフイ, 柳橋邦彦, 坂田祐壺, 三成寿作, 元山靖啓, 渡辺祥夫, “ 騒音について, 騒音のいろいろな影響 ”
- [3] 日本カスタム, “ ノイズキャンセラとは ”
<http://www.kyastem.co.jp/technical/NoiseCan-technical.html>
- [4] 重野純, “ 音の世界の心理学 ”, ナカニシヤ出版, 2003
- [5] JIS Z 8106, 音響用語 (一般)
- [6] 難波精一郎, “ 音の環境心理学 いい音悪い音 ”, NEC クリエイティブ, 2001
- [7] ツヴィッカー, 山田由紀子訳, “ 心理音響学 ”, 西村書店, 1992
- [8] 小野測器, “ 音質評価とは ”, 株式会社小野測器, 2012
- [9] 小松正史, 加藤徹, 桑野園子, 難波精一郎, 近藤明, 井上義雄, 山口克人, “ 樹木葉擦れ音の物理特性 ” 日本騒音制御工学会, 2000
- [10] 小林秀彰, 嶋田泰, 赤尾伸一, “ オフィス空間へのサウンドマスキングの適用に関する研究 ”, 日本音響学会建築音響研究委員会, 2011
- [11] サウンドマスキングシステム, <http://www.kokuyo-eng.co.jp/>, コクヨ

付録 A

被験者実験による評価結果

被験者実験による評価の結果を記述する．実験を 4 つに区分しそれぞれが別の被験者に行ってもらっているため，結果の数値が前後している事は了承してもらいたい．また，この結果は環境音としてどういった音が適しているかの目安程度に利用している．この結果より環境音は水が流れる音が良いのではないかという結論にいたった．

表 A.1 波の音と各騒音をミックスし、被験者実験の結果

海の波の音	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-9	-5	-6	-3	-8	-8
-27dB	-9	-5	-3	-2	-7	-3
-25.33dB	-7	-3	+3	+5	-8	-4
-24dB	-7	-4	0	+2	-6	-4
-22.23dB	-4	0	+4	+7	-5	-3

表 A.2 ショパンと各騒音をミックスし、被験者実験の結果

ショパン	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-10	-10	-5	+2	-11	-10
-27dB	-10	-9	-4	+2	-11	-10
-25.33dB	-11	-9	-3	0	-10	-7
-24dB	-6	-8	0	+5	-10	-9
-22.23dB	-7	-5	-1	+7	-10	-6
-21dB	-7	-4	+1	+5	-10	-7
-20.46dB	-7	-6	+2	+10	-9	-7
-18dB	-7	-2	+2	+6	-6	-3

表 A.3 モーツァルトと各騒音をミックスし、被験者実験の結果

モーツァルト	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-11	-10	-3	+4	-12	-11
-27dB	-11	-9	-3	+5	-12	-10
-25.33dB	-8	-10	0	+5	-12	-10
-24dB	-8	-8	+1	+5	-11	-9
-22.23dB	-6	-8	+3	+6	-10	-9
-21dB	-7	-7	+3	+4	-10	-9
-20.46dB	-6	-6	+3	+2	-9	-9
-18dB	-5	-4	+5	0	-8	-8

表 A.4 森の音と各騒音をミックスし、被験者実験の結果

森の音	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-11	-9	-1	+3	-12	-9
-27dB	-11	-8	0	+4	-12	-9
-25.33dB	-8	-4	+2	+4	-9	-7
-24dB	-10	-7	+2	+6	-10	-8
-22.23dB	-6	-3	+5	+7	-8	-7
-21dB	-6	-4	+3	+5	-9	-8
-20.46dB	-3	-2	+4	+6	-8	-7
-18dB	-3	-2	+6	+6	-7	-7
-15.69dB	-3	-3	+6	+3	-6	-4
-15dB	0	-3	+6	+1	-7	-8
-14.46db	-3	-4	+6	+2	-4	-4
-12dB	+2	-3	+7	+2	-5	-8
-10.92dB	0	-6	+8	+1	-2	-5

表 A.5 水が流れる音と各騒音をミックスし、被験者実験の結果

水の音	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-6	-4	0	+3	-7	-7
-27dB	-7	-4	+2	+4	-7	-8
-25.33dB	-5	-1	+3	+5	-7	-7
-24dB	-5	-1	+7	+5	-6	-4
-22.23dB	-2	-2	+6	+5	-6	-6
-21dB	0	+2	+7	+5	-4	-2
-20.46dB	+1	-1	+8	+6	-3	-3

表 A.6 鳥のさえずりと各騒音をミックスし、被験者実験の結果

鳥のさえずり	工事現場		雑踏音		車の合成音	
	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計	騒音・計	快適・計
-30dB	-10	-10	-7	-1	-12	-9
-27dB	-10	-9	-4	-1	-12	-9
-25.33dB	-10	-9	-4	-2	-12	-9
-24dB	-10	-7	-4	0	-12	-9
-22.23dB	-8	-9	-3	+1	-11	-9
-21dB	-8	-7	-2	+1	-9	-8
-20.46dB	-7	-8	-3	+2	-9	-8
-18dB	-5	-6	-1	0	-10	-8
-15.69dB	-5	-6	-1	-1	-8	-7
-15dB	-4	-5	0	-1	-8	-7
-14.46db	-2	-4	+2	-3	-8	-7
-12dB	-3	-4	+3	-4	-7	-7
-10.92dB	0	-4	+3	-5	-6	-8
-9dB	-1	-5	+4	-6	-6	-8