JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	聴覚探索における背景音と目的音の時間変動の類似性が目的音検知に与える影響について
Author(s)	草場，美紗
Citation	
Issue Date	2008-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/4352
Rights	
Description	Supervisor:鵜木祐史，情報科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修 士 論 文

聴覚探索における背景音と目的音の時間変動の類似性が目的音検知に与える影響について

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

草場 美紗

2008 年 3 月

修 士 論 文

聴覚探索における背景音と目的音の時間変動の類似性が目的音検知に与える影響について

指導教官　鵜木 祐史 准教授

審査委員主査　鵜木 祐史 准教授
審査委員　赤木 正人 教授
審査委員　小谷 一孔 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

610033 草場 美紗

提出年月: 2008 年 2 月

Copyright © 2008 by Kusaba Misa

概 要

本論文では、背景雑音中の目的音知覚を聴覚探索問題と捉え、目的音と背景音の振幅包絡の時間変動の違いが、目的音の検出しやすさにどのような影響を与えるのかを調査した。この実験では、純音と帯域制限した 6 種類の狭帯域雑音 (1/2-oct、1/4-oct、1/8-oct、1/16-oct、1/32-oct、1/64-oct の帯域幅をもつ雑音) を、それぞれ目的音と背景音として利用した。ここで、純音の周波数は、200 Hz、525Hz および 1380 Hz の 3 種類とした。また狭帯域雑音の中心周波数は、純音の周波数として、同じく 3 種類とした。これらの 3 種類の周波数はそれぞれ 1 オクターブ以上離れているように選ばれた。背景音の中から目的音をどれだけ正確に検知できるかを調べるために、次のような 2 種類の試行を行った。一つは、背景音の中に目的音がある場合で、被験者に目的音の判断の有無を判断させる正試行 (Positive Judgment) であり、もう一つは、背景音のみで目的音が存在しない場合に、目的音の有無を判断させる負試行 (Negative Judgment) である。実験では、これらの試行をランダムに行った。また、目的音の検知能力として、被験者の判断に要する時間 (反応時間) と正答率、ならびに両試行の結果から得られる d'(目的音の検出しやすさの尺度) を調べた。はじめに、純音と狭帯域雑音ををそれぞれ目的音、背景音とする場合について検討した。その結果それぞれの周波数が同じ値をとるとき、振幅包絡が時間的に変動しない純音よりも時間的に変動する狭帯域雑音の方が目的音として検知されやすいという結果を得た。これは阿瀬見らの結果と一致するものであった。次に、目的音と背景音ともに振幅包絡の時間的に変動する場合について、類似性を尺度として目的音の検知能力を調べた。その結果、目的音と背景音の類似性が低くなるにつれ、目的音を検知しやすくなる傾向があることが分かった。以上のことから、雑音環境下において妨害音となる背景に対して、類似性が低くなるような目的音を利用することで、目的音が検知されやすくなるような状況を作り出せることが示唆された。

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　はじめに 1
1.1.1　研究の動機 2
1.1.2　本論文の構成 2

第 2 章　研究の背景 **4**
2.1　背景 4
2.1.1　報知音知覚に関する研究 4
2.1.2　聴覚探索に関する研究 5

第 3 章　研究手法 **8**
3.1　アプローチ 8
3.2　手法 9
3.2.1　解析手法 9

第 4 章　狭帯域雑音と純音を用いた実験 **11**
4.1　実験の目的 11
4.2　実験方法 11
4.2.1　刺激音 12
4.2.2　実験系と手続き 12
4.2.3　被験者 13
4.3　実験結果 14
4.4　考察 35

第 5 章　結論 **37**
5.1　本研究により明らかにされたこと 37
5.2　残された課題 37

図 目 次

2.1 妨害音が狭帯域雑音、目的音が純音での聴覚探索のイメージ図. 6
2.2 妨害音が純音、目的音が狭帯域雑音での聴覚探索のイメージ図. 6
2.3 妨害音が純音、目的音が狭帯域雑音での聴覚探索のイメージ図. 7

3.1 反応時間の実験結果の予想と被験者の判断から得るｄ’の狙い. 10

4.1 狭帯域雑音の刺激生成手順. 12
4.2 狭帯域雑音の帯域幅のイメージ図. 13
4.3 聴覚探索実験における実験環境. 14
4.4 実験刺激と実験条件と反応時間の測定 16
4.5 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときの反応時間 (被験者平均) . . 17
4.6 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときのエラー率 (被験者平均) . . 18
4.7 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときの d’ の変化 (被験者平均) . 19
4.8 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときの反応時間 (被験者平均) . . 20
4.9 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときのエラー率 (被験者平均) . . 21
4.10 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときの d’ の変化 (被験者平均) . 22
4.11 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 A) 23
4.12 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 A) 24
4.13 変動のあるもの同士での d’ の変化 (被験者 A) 25
4.14 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 B) 26
4.15 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 B) 27
4.16 変動のあるもの同士での d’ の変化 (被験者 B) 28
4.17 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 C) 29
4.18 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 C) 30
4.19 変動のあるもの同士での d’ の変化 (被験者 C) 31
4.20 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者平均) 32
4.21 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者平均) 33
4.22 変動のあるもの同士での d’ の変化 (被験者平均) 34

表 目 次

4.1　実験に使った機器の一覧と説明 13
4.2　実験に用いた使用ソフトウェア 14

第1章　序論

1.1　はじめに

報知音は、日々の活動中において人の注意を引きつけるために使用されている人工音である [1]。例えば、電子レンジの「チーン」といった報知音があり、この音はレンジの中が調理を終えたこと知らせる音である。しかし、この音自体に電子レンジの意味が含まれているわけでもなく、本来電子レンジとは無関係の音である。我々はこの「チーン」という人工音が、電子レンジの調理終了を知らせる音だと学習しているために電子レンジを見て確認しなくても、この報知音が聞こえる範囲にいれば、電子レンジが調理を終えたことを一瞬にして知ることができる。この場合、報知音は終了音として使われたことになる。また、報知音は、この終了音の他に、報知音は機器の開始音や操作音としても利用されている。インターホンの呼び出し音、電子機器のメロディ音および危険を知らせる火災警報音などにも利用されている。このように、報知音の使用目的は多岐に渡っており、終了音や危険を知らせる注意音としての役割だけでなく、我々の生活をより便利にする役割も果している。

しかし、報知音が様々なところで多用されることによって、報知音の音の種類が増加し、似たような別の報知音によって誤認や混乱が起きるといった問題も起こっている。現在までに、このような報知音の問題を解決するため倉片らを中心に盛んに行われている [2, 3]。その一方で、倉片らは、近年報知音が主に利用している周波数を調べ、高齢者の可聴域にも配慮した報知音設計指針も立てられており、万人にとって分かりやすく知覚しやすい報知音を目指した研究が行われている [5]。また、我々の周囲には常に、報知音だけではなく様々な音の中から情報を得ながら生活をしている。したがって、我々の周囲には目的音以外にも様々な雑音が存在し、その中で報知音を目的音として聞くときには、それらの妨害音に報知音がマスクされて報知音知覚が困難になり、場合によっては報知音が対象者に正確に知覚されないという事態が起こりうる。こうしたことは、対象者に危険が及ぶ恐れのある警告音などでは重大な問題である。したがって、雑音環境下においてもマスクされにくく尚且つ瞬時かつ容易に検出されやすい音を検討し、報知音設計に役立てる必要がある。この重要な課題を解決するために、様々な刺激パターンを備えた報知音で、それらが十分に知覚されるかどうかを調査した研究がされている [6]。

1.1.1　研究の動機

本論文では、このように分かりやすく知覚しやすい報知音の研究が注目されている中で、特に雑音環境下での報知音知覚に着目し、これを改善しようと考えた。前項で述べたとおり、報知音は、様々なところで人の注意を与えるために使用されている。したがって、そうした報知音は、いついかなる状況下においても、誰もが正確に知覚できるような音である必要がある。そのためには、雑音環境下でも気付きやすい音を設計するか、雑音によって妨害されにくい音の呈示方法を追求することが雑音環境下でも頑健な報知音設計に近づくことと考えられる。この中で、雑音によって妨害されにくい音の呈示法については本研究室で近年研究が進められおり、中西、内山らによって妨害雑音と目的音との方向差を利用することで目的音が検知されやすくなるという成果が示されている [9, 10] が、雑音環境下でも気付きやすい音を設計することに関しては、まだ研究されていない。そこで、本研究では音自身を工夫することで雑音環境下でも気付きやすい音の設計指針を立てることを目標にした。この音自身を工夫し、気づきやすい音で報知音を設計することができれば、さらに本研究室でこれまで研究を重ねてきた中西、内山らから得られた報知音呈示方法の知見を加えることで、雑音環境下でもより効果的に報知音が知覚できるようになることが期待できる。さらに、この雑音環境下での音を工夫するために、雑音環境下で報知音を聞くことを聴覚探索問題として捉え直すことができると考えた。聴覚探索問題は、複数の妨害音の中から目的音を探す問題のことをいい、このことが雑音の中で報知音を聞くということと同じだと考えることができる。また、複数の妨害音を背景音として一まとめにして考えると、目的音と背景音の二つの関係で、背景音の中から目的音をいかに目立たせるかという問題を明らかにすることで、たとえ、妨害音が複数であっても、雑音環境下の目的音検知能力を向上させることができるのではないかと考えた。このことは、中西、内山らの雑音によって妨害されにく呈示方法では、妨害音と目的音が一対一の関係で別々の方向から到来させることで、目的音検知能力を向上させたが、本論文の考え方であれば、多対一の関係であっても、どんな方向から音が到来していても、背景音と目的音との関係で目的音が背景音の中でも目立たせることができれば、背景音によって目的音が妨害されないことが期待できると考えた。

1.1.2　本論文の構成

本論文は以下のように構成される。第 1 章では、報知音についての説明と近年の取り組みを述べる。第 2 章では、本研究室で近年研究が進められてきた雑音環境下での報知音知覚についての研究を紹介し、報知音の呈示方法についてを述べる。その後、雑音環境下で報知音を聞くことを複数の妨害音の中から目的音を探す聴覚探索問題と捉え直すという本研究のアイデアと、その聴覚探索問題の先行研究である阿瀬見らの研究を紹介する。第 3 章では研究背景からのアプローチを述べ、研究手法について述べる。第 4 章では、実験目的・実験内容の説明などの具体的な研究手法について述べ、第 4 章では、結論として雑

音環境下での音知覚の調査を通して得られた結果から明らかにされたことと、残された課題について述べる。そして、最後の第5章は、付録として実験に用いたプログラムを記載した。

第2章　研究の背景

この章では、背景として、本研究の土台となる雑音環境下の報知音に関する知見と、聴覚探索に関する知見を述べる。また聴覚探索に関する知見の中ではカクテルパーティー効果を例にあげ、複数の音の中から狙った音を分離して知覚するための考察を述べ、本研究の背景とする。

2.1　背景

2.1.1　報知音知覚に関する研究

雑音環境下での目的音検知の先行研究として、報知音と雑音との方向性を手がかりとした信号検出の知見がある。我々は、日常的に様々な方向から到来する音を聞いており、その方向の違いをも利用して周囲の環境を解釈している可能性が考えられる。中西らは、このSRMに両耳の働きが影響していることを調べ、両耳間時間差(ITD)のみを手がかりとしてもSRMが生起するということを調べた[9]。この研究は、目的音と雑音を異なる方向から到来させることによりマスキング量が削減し、目的音の知覚が向上するSaberiらのSpatial release from Masking(SRM) 現象[7]を報知音知覚に応用したものである。その報告では、ITDと両耳間位相差IPD)を効果的に報知音に利用した報知音の設計および呈示方法についての検討を課題として残したが、内山らが、この呈示方法についてITDとIPDがSRMに及ぼす影響を調べ、これらが目的音の分離のしやすさに関係していることを示した[10]。これにより、報知音の呈示方法の観点から雑音環境下での報知音知覚を向上させたといえる。しかし、これは、雑音と目的音がともに音源が固定された場合のものであり、この知見だけでは、日常の様々な方向から音が到来する雑音環境下の報知音知覚においての検討が十分であるとはいえない。そこで、本研究では、呈示法は十分に検討されていると考え、もう一方の音の設計法において、雑音環境下で瞬時かつ容易に検出可能な報知音設計を目指すため、まず、報知音に限らず、音の到来方向に関係なしに雑音環境下でも瞬時かつ容易に検出されやすい音の特性を解明するために、まずヘッドホンによるモノラル呈示を用いて、単純に異なる音が同時に聞こえた場合の目的音の検出しやすさについて検討する。

2.1.2 聴覚探索に関する研究

雑音環境下で報知音を知覚することを複数の妨害音の中から目的音を探索する聴覚探索問題として捉え直すことができる。聴覚探索とは、複数の妨害音の中で特定の音を探索することを示す。この複数の音の中で特定の音を探索する場合、我々は、一般に聴覚に入力される情報のすべてに意識的な注意を向けることはできず、むしろ特定の部分を選択して意識的な分析を行っていると考えられる。複雑な音は、いくつかの流れに分解され、我々はそのときそのときで、これらの流れのうちの一つに着目していると考えられている [12]。このことに関して複数の音が混在する中でも特定の音を選択的に聴取できる聴覚上の効果として「カクテルパーティー効果」とよばれている効果がある。人間は、雑音中でも容易に特定の音だけを知覚し、そのほかの音をある種の背景として聞いている。このカクテルパーティー効果のように、異なる音源から生じる成分を知覚上で分離する際に用いられる物理的な手がかりには、基本周波数、立ち上がりのずれ、先行音との対比、周波数と音の強さの変化、および音源定位などが含まれているとされるが、詳しいことはまだ明らかにされていない [13]。しかし、カクテルパーティー効果を研究する報告の中では音列を構成する要素間で、周波数、振幅、定位あるいはスペクトルに大きな違いがある場合には、背景の音から分離されやすくなるのではないかとの考察が述べられている。したがって、本研究においてはこれらの物理的手がかりに則してカクテルパーティー効果が起きるのであれば、雑音中の聴覚特性を調査することで雑音環境下でもその他の背景音から、目的音である報知音を分離しやすくできると考えた。しかし、我々は常に報知音に注意を向けているわけではなく、報知音を聞いてはじめて注意をむけることになるので、カクテルパーティー効果を利用することは、雑音環境下の報知音の検知能力を向上させることとは聴覚系の分析が異なるのではないかと考えた。

聴覚系が音のどのような特徴に着目して分析を行っているのかの検討では、二つある。一つは、杉田らの妨害音と目的音を１チャネルに混合し、ヘッドホン呈示条件下で１つ以上の複数の狭帯域雑音の中から目的音の純音を探索したものと、また逆に、１つ以上の複数の純音 (pure tone; PT) の中から目的音である狭帯域雑音 (narrowband noise; NBN) を探索する 2 種類の聴覚探索実験がある。そして、もう一つは、阿瀬見らの純音と時間変動音 (temporal fluctuating sound; TFS) として、狭 帯域雑音や周波数変調音 (frequency modulated tone; FMT) および振幅変調音 (amplitude modulated tone; AMT) の全４種類の刺激を用いた聴覚探索実験がある。杉田らは、実験結果から純音と狭帯域雑音とで時間変動によるポップアウトが生じていることを主張した [16]。この主張は、聴覚系に時間変動の検出機構の存在を示唆していると考えられる。これを用いて、阿瀬見らは 4 種類の刺激を用いた実験から、時間変動のある複数の刺激中から時間変動のない一つの純音の有無を検知するよりも (図 2.1)、逆に時間変動のない複数の純音から時間変動のある一つの刺激音 (NBN など) を検知する方 (図 2.2) が容易であることが示した [14, 15]。これは探索する背景音の中に存在する刺激間で、目的音の検知に用いられる基本的な特徴として人間の聴覚システムが音の振幅および周波数の時間変動を利用している可能性を示唆しているものと考えられる (図 2.3)。

図 2.1: 妨害音が狭帯域雑音、目的音が純音での聴覚探索のイメージ図.

図 2.2: 妨害音が純音、目的音が狭帯域雑音での聴覚探索のイメージ図.

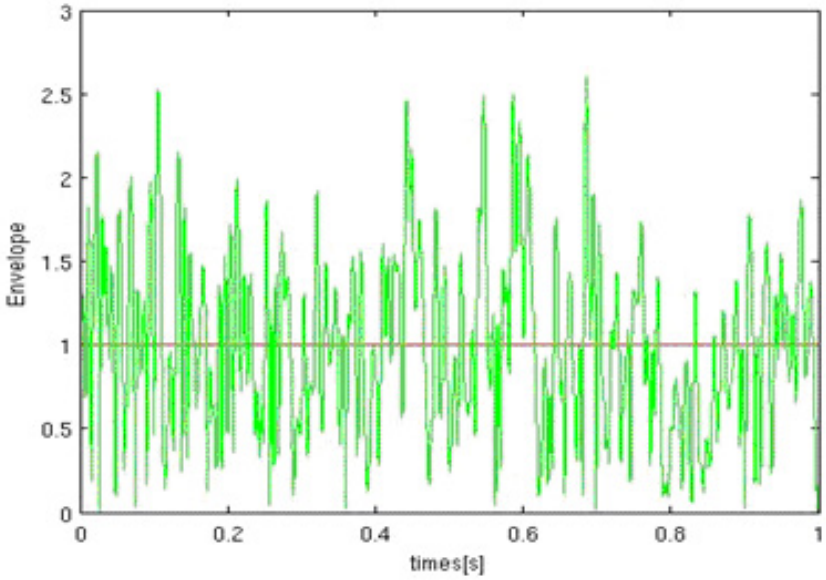

図 2.3: 妨害音が純音、目的音が狭帯域雑音での聴覚探索のイメージ図.

第3章　研究手法

本章では、前章の研究背景から、どのように雑音環境下での目的音検知での問題解決を図るかのアプローチを述べ、具体的な研究手法について述べる。

3.1　アプローチ

本論文では、これらの中西、内山らの雑音環境下での報知音知覚の研究で得られた結果から、雑音環境下での報知音呈示方法についてはある程度の解決をみたと考え、音の呈示方法からではなく、もう一方の音自身を工夫することで、雑音環境下での検知がされやすいような音の設計指針を立てることを目標とした。そのために、報知音という目的音以外の雑音のすべてを背景音として捉え、背景音と目的音の関係で、どのようにすれば背景音から目的音を目立たせることができるのかという問題を考える。また、この雑音環境下で報知音を知覚することは、複数の妨害音の中から目的音を探索する聴覚探索問題として捉え直すことができる。したがって、聴覚探索についての杉田、阿瀬見らの研究結果から、背景音と目的音の関係で、時間変動のある音 (狭帯域雑音) の中で時間変動のない音 (純音) を探すことよりも、時間変動のない音 (純音) の中で時間変動のある音 (狭帯域雑音) を探すことの方が容易であったという結果から、時間変動の有無が背景音の中から目的音を検知するときに検知のしやすさに違いを生じさせていることが分かる。したがって、時間変動がある音が目的音として望ましいことが分かるが、それは、背景音が純音のように時間変動をもたない音に限られる。実環境下においては、むしろ純音のような時間変動のない音が背景音である場合は少なく、狭帯域雑音のように時間変動のある音が背景音である場合が多い。したがって、時間変動のある音の中で、目的音を検知する場合を考えなければならない。その場合に、背景音と目的音とが時間変動のある音同士であるときの知見が必要となるが、こうした研究は現在まで行われておらず、本論文ではこれを調査することにした。

時間変動のある音では、時間変動として「位相の時間変動」や「周波数の時間変動」、「振幅の時間変動」が考えられる。本論文では、その中で振幅変動に着目した。先の阿瀬見らの研究結果から、雑音中でも気づきやすい音には、純音と狭帯域雑音では狭帯域雑音の方が検知されやすいことが分かっている。このことから、純音と狭帯域雑音の音の振幅の時間変動である振幅包絡をみたときに変動がある音の方が検知されやすくなっていることが考えられる。そこでまず、振幅包絡に時間変動のある音を刺激に用いて、背景音に対して目的音となる刺激音の振幅包絡がどのように変化すれば、知覚能力が向上されるのか

を調査する。

3.2 手法

阿瀬見らの実験結果では、時間変動の有無の違いがある狭帯域雑音と純音を用いた実験で、時間変動がある狭帯域雑音の方が目的音として探索されやすいという結果が出ている [14]。このことから、本実験においては信号の振幅包絡の変動での目的音と背景音との違いを調べたときに、目的音と背景音との振幅の時間変動が似ていないときは目的音が探索されやすく、反対に似ているときには探索が困難になるのではないかと予想した。したがって、本実験では被験者に様々な振幅包絡の類似性をもつ背景音と目的音を用意し、目的音を探索させる。この時、集計するのは、被験者が実験刺激に対して、背景音の中から目的音をどれだけ正確に検知できるかを調べるために、次のような 2 種類の試行を行った。一つは、背景音の中に目的音がある場合で、被験者に目的音の判断の有無を判断させる正試行 (Positive Judgment) であり、もう一つは、背景音のみで目的音が存在しない場合に、目的音の有無を判断させる負試行 (Negative Judgment) である。実験では、これらの試行をランダムに行った。また、目的音の検知能力として、被験者の判断に要する時間 (反応時間) と正答率、ならびに両試行の結果から得られる d'(目的音の検出しやすさの尺度) を調べた。

3.2.1 解析手法

信号の検出されやすさの指標となるｄ'は実験の中で測定する被験者の判断を用いて求めることができる。被験者の判断は大きく分類して Hit と Miss と False Alarm と Correct Rejection の 4 つの判断に分けることができる。図 3.1 で、これらの 4 つの判断について述べている。これらの 4 つに分類した判断から、目的音が正しく検出されているか否かを Hit 率と False Alarm 率を求めることでｄ'を算出している。ｄ'の算出法は下記の式のようになる。

$$d' = \frac{M_{S+N} - M_N}{\sigma_N} \tag{3.1}$$

$M_S + N$ はシグナル (S 分布) の確率分布とノイズ (N 分布) の確率分布の平均値を表し、M_N はノイズの確率分布の平均値、σ_N は、N 分布の標準偏差を表している。

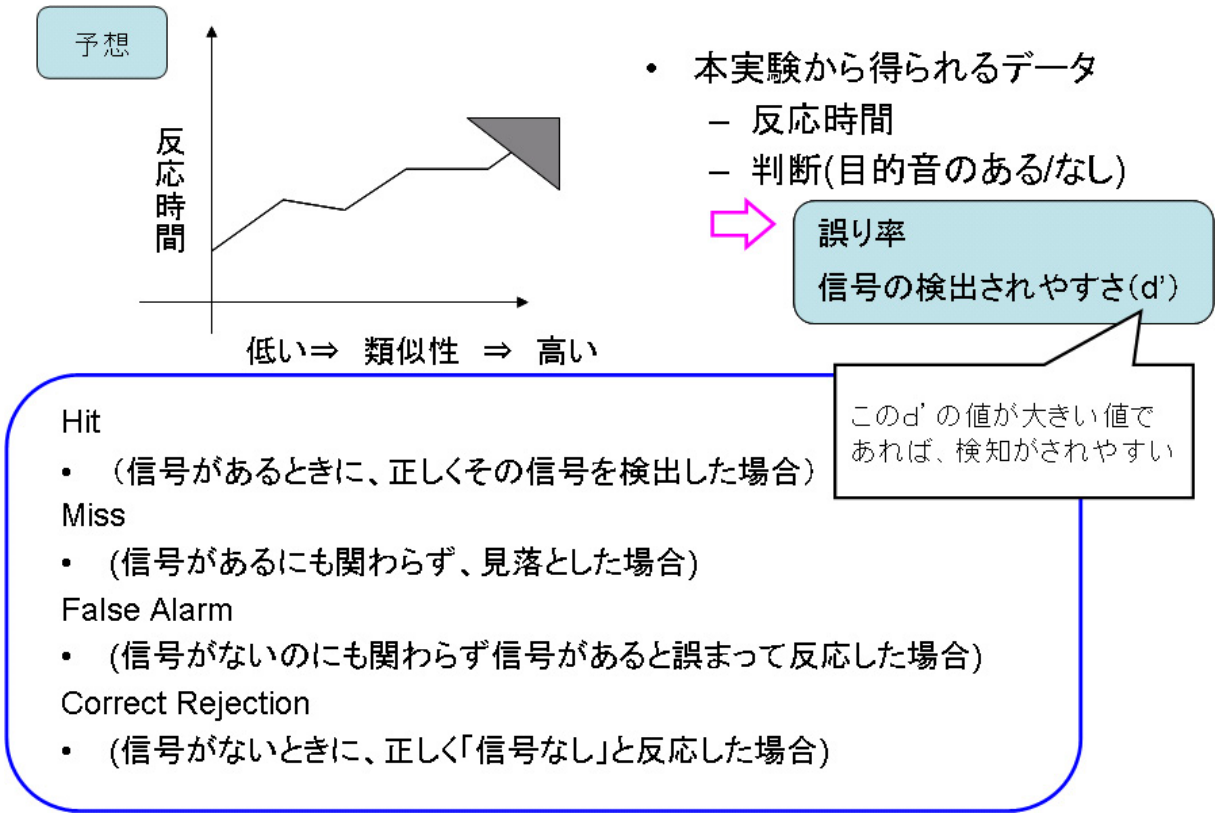

図 3.1: 反応時間の実験結果の予想と被験者の判断から得るｄ’の狙い.

第4章　狭帯域雑音と純音を用いた実験

阿瀬見らの実験結果から、純音と狭帯域雑音では目的音には時間変動のないものよりも、時間変動のある音の方が知覚されやすいことが分かっているが、実環境下においては時間変動のある音の方が多い。このため、時間変動のある背景音から目的音を探索することになるが、それに関する知見はない。このため本研究では、まず時間変動のあるもの同士で、複数の雑音の中から特定の音を探索する「聴覚探索問題」を用いて、目的音の知覚特性を調査し、雑音環境下でも知覚可能な目的音の特性を明らかにする。

4.1　実験の目的

報知音はどんな環境においても早く正確に使用者に知覚されることが重要である。したがって、本論文では雑音環境下でも知覚されやすい音の特性を調べるために、阿瀬見らが用いた狭帯域雑音や純音といった単純な音で、雑音環境下で目的音、背景音がともに時間変動をする場合の目的音の知覚特性を調査する必要がある。そのために、本実験では時間変動をもつ目的音と背景音の振幅包絡の違いで、どのような違いがあれば目的音が検知されやすくなるのかを調査することを目的とする。

4.2　実験方法

本研究では、信号の振幅包絡に着目し、雑音環境下でも知覚されやすい音の特性を調べるためには、信号と雑音の振幅包絡がどれだけ似ているかの類似性を基に様々な刺激を作成し、比較を行う必要があるため、背景音と目的音の振幅包絡 $(e_s(m)\ ,\ e_n(m))$ をそれぞれ求めて相関をとったものを、類似性と定義する。その類似性を求める相関の式は以下を用いた。

$$\mathrm{Corr}(e_s, e_n) = \frac{\sum_{m=1}^{M}(e_s(m) - \overline{e_s})(e_n(m) - \overline{e_n})}{\sqrt{\sum_{m=1}^{M}(e_s(m) - \overline{e_s})^2}\sqrt{\sum_{m=1}^{M}(e_n(m) - \overline{e_n})^2}}, \tag{4.1}$$

m はサンプル点数、M は刺激の持続時間、$\overline{e_s}$ と $\overline{e_n}$ は、それぞれ平均値を表している。

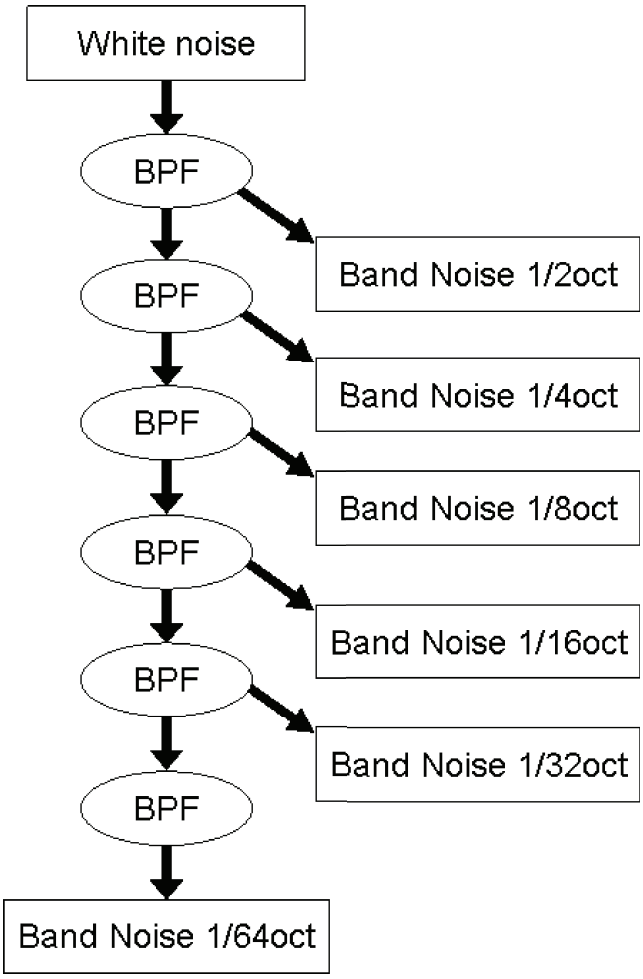

図 4.1: 狭帯域雑音の刺激生成手順.

4.2.1 刺激音

刺激は図 4.1 のように作成した狭帯域雑音 (1/2-oct., 1/4-oct., 1/8-oct., 1/16-oct., 1/32-oct., 1/64-oct.) と純音を用いた。狭帯域雑音の帯域幅は、図 4.2 を参照する。この狭帯域雑音 6 種類と、純音とで組み合わせを作り、互いの振幅包絡をとり、その類似性が 0–0.9 の範囲で聴覚探索実験を行った。

4.2.2 実験系と手続き

実験は、図 4.3 のように防音室内で行った。実験で利用した機器に関しては、別表を参照する (表 4.2.2)。刺激音は計算機上で合成され、PC 上で実験室内で呈示するためにリサンプリングを行い、TDT System3 から呈示と被験者の反応を集計した。このとき使用したプログラムは、付録に記す。

実験の呈示刺激は、立ち上がりから時間差なしで合成したものを用い、実験中、被験者

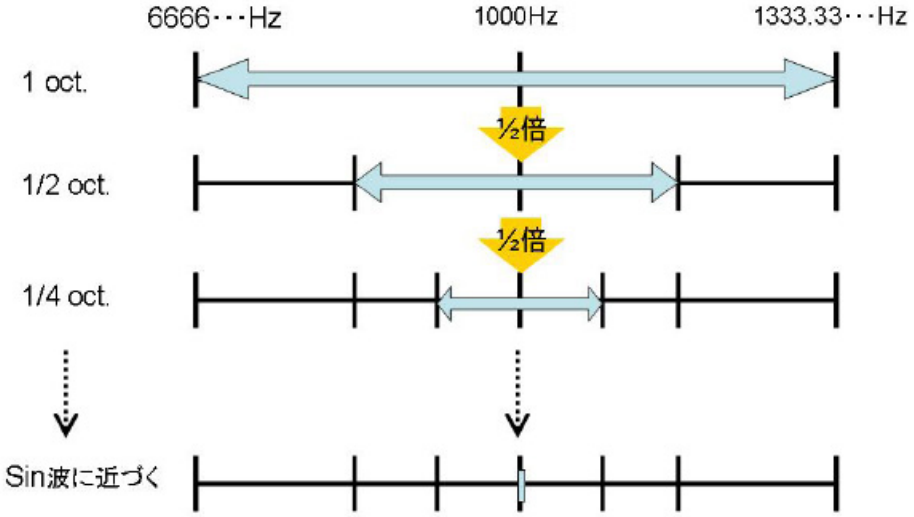

図 4.2: 狭帯域雑音の帯域幅のイメージ図.

使用機器名	用途
TDT RX6-2 Mulutifunction Processor	計算機上で作成した刺激の呈示と反応時間の測定
PC	実験プログラムの実行、データ収集
SANSUI AU-α 907MR Integrated Amplifier	呈示刺激の音圧調整
Response box	被験者の判断のスイッチ反応時間の計測開始・停止
Head phone	実験刺激の両耳呈示

表 4.1: 実験に使った機器の一覧と説明

は応答ボックスの 2 つのボタンを用いて判断をする。合成されランダムに呈示される刺激音を聞き、目的音の有無を判断して押し分ける。その際、スタートボタンで刺激音の再生を被験者がコントロールできるようにした。

本実験で、目的音と背景音の組み合わせは、周波数が互いに 1-oct. 以上離れるように、純音の周波数および狭帯域雑音の中心周波数には、200 Hz、525 Hz、1380 Hz の 3 種類で図 4.3 のように設定した。この 3 つの周波数をもつ全ての組み合わせで、様々な類似性をもつ刺激を作成し、ランダムに呈示した。

4.2.3 被験者

被験者は、いずれも日本人で標準的な聴力検査を行った結果、正常な聴力を有する成人男性 2 名と女性 1 名である。この 3 名には、事前に 1 セットにつき 20 分の訓練を 2 回行い、十分に実験操作に慣れた後に実験を実施した。

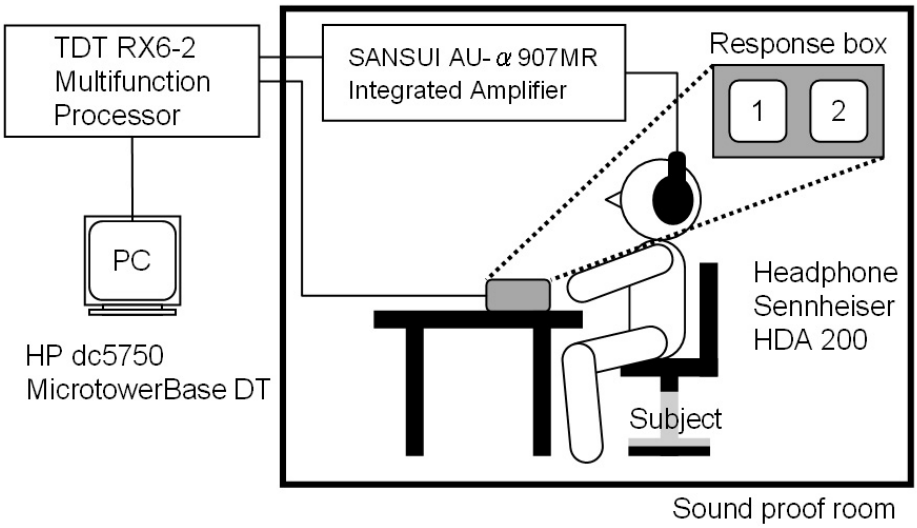

図 4.3: 聴覚探索実験における実験環境.

使用ソフトウェア	用途
Matlab7.1	実験実行プログラムの作成、実験刺激の作成
RPvdsEx	TDT のシステム回路図の設計

表 4.2: 実験に用いた使用ソフトウェア

4.3 実験結果

はじめに、純音と狭帯域雑音ををそれぞれ目的音、背景音とする場合について検討した。純音と狭帯域雑音の組み合わせで得られた実験結果の背景音と目的音の類似性の変化に伴う反応時間 (図 4.5)、エラー率 (図 4.6)、d' の変化 (図 4.7) を示す。 △ が正判断を示しており、 ◯ が負判断を示しており、背景音の中に目的音が含まれていない状態の判断を表している。破線は、どんな傾向を示しているか分かりやすくする目的で回帰直線をひいたものである。以下のグラフは被験者の全員の平均を示している。この結果では、印の色で、目的音と背景音の周波数の違いを表現しているのだが、青が中心周波数および純音の周波数が 200 Hz の場合、赤が 525 Hz の場合、緑が 1380 Hz の場合を示している。緑と青の印の他に赤で塗りつぶされたものがある。これは目的音と背景音とで同じ周波数が使われていることを意味しており、この時は赤が塗りつぶされているので、525 Hz を目的音と背景音ともに使用した刺激であることが分かる。

反応時間 (図 4.5) やエラー率 (図 4.6) のグラフの結果をみると、グラフの結果は緑と青の印と、赤の印とで大きく 2 つのかたまりに分けることが出来る。緑と青の印では反応時間、エラー率ともに一定の値を示しているが、赤に塗りつぶした印は、上にバラつきがある。これらの結果からでは、反応時間やエラー率に類似性で変化が現れているとはいえない。しかし、d' においては、興味深い結果が出た。緑と青の印においては、反応時間やエ

ラー率と同様に一定の値を示している。その一方で、周波数が目的音と背景音とで同一の 525 Hz である赤の塗りつぶしの印においては、横軸の類似性が高くなるにつれ、d' の値が下がるという結果を示した。このような結果は狭帯域雑音を目的音とした反応時間 (図 4.8) とエラー率 (図 4.9)、d'(図 4.10) においても同様のことがいえる。しかし、エラー率において、純音の結果と比較すると、エラー率が純音を目的音とした場合よりも狭帯域雑音を目的音としている方がやや安定して正しく目的音を検知していることが分かる。この結果は、d' により分かりやすく表れており、目的音が純音である場合と目的音が狭帯域雑音の結果をそれぞれ比較すると、緑や青の印においては同じ値を示しているが、赤の塗りつぶしにおいては狭帯域雑音を目的音としたものの方が、目的音が純音であるときよりも d' の値が高い結果を示した。

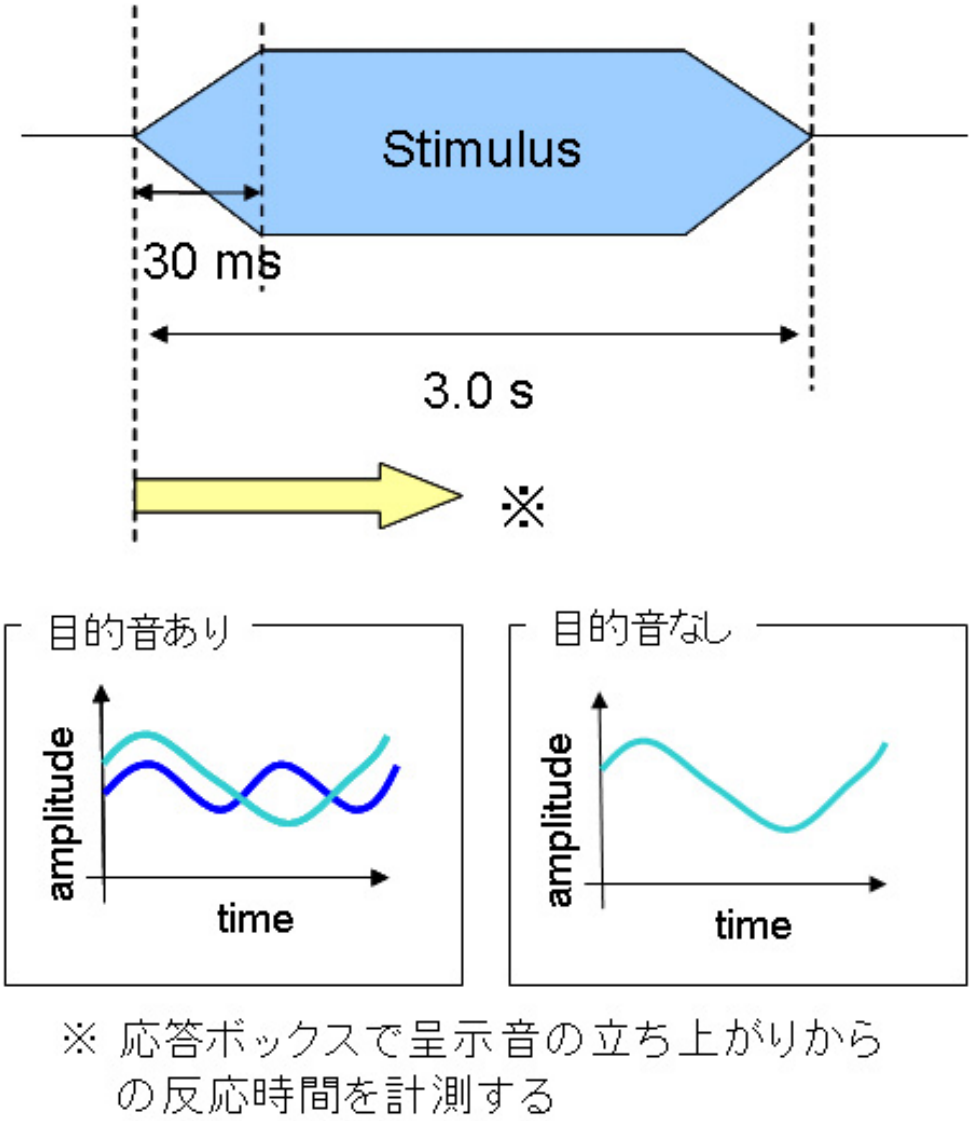

図 4.4: 実験刺激と実験条件と反応時間の測定

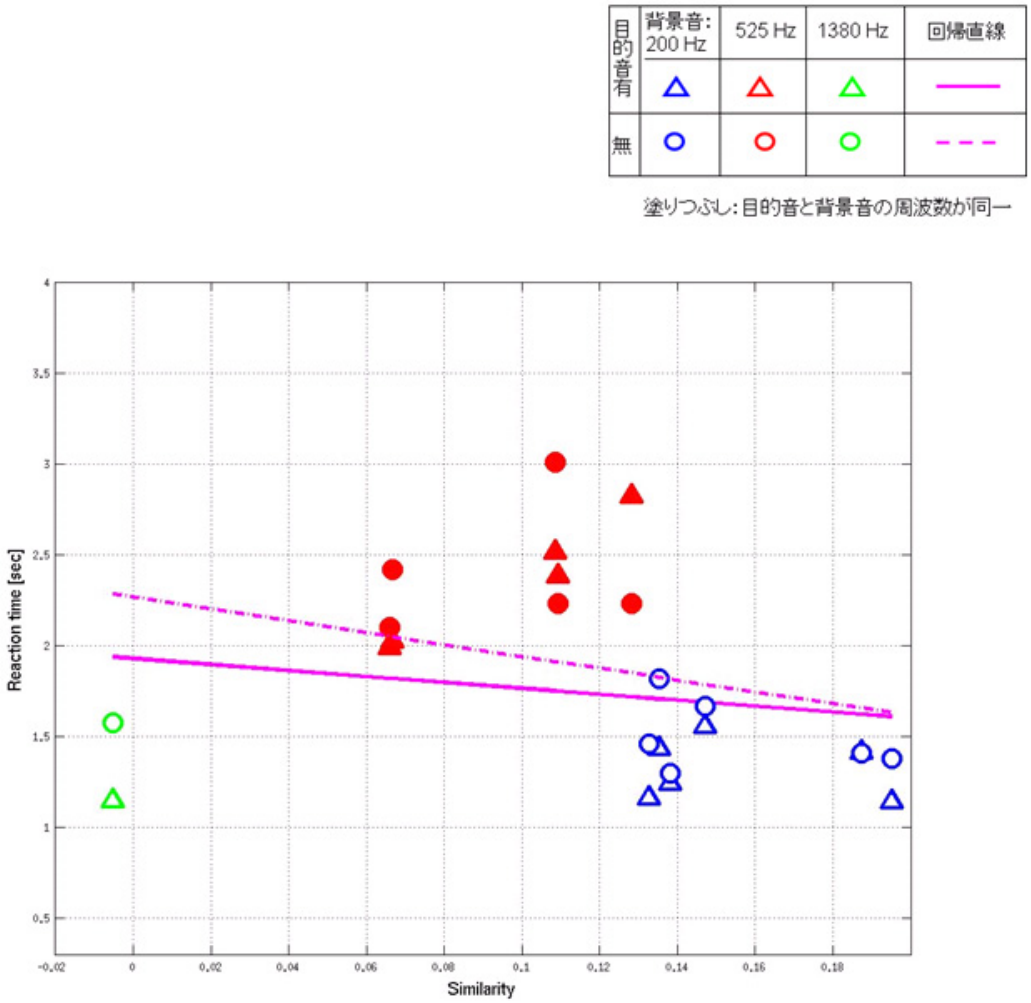

図 4.5: 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときの反応時間 (被験者平均)

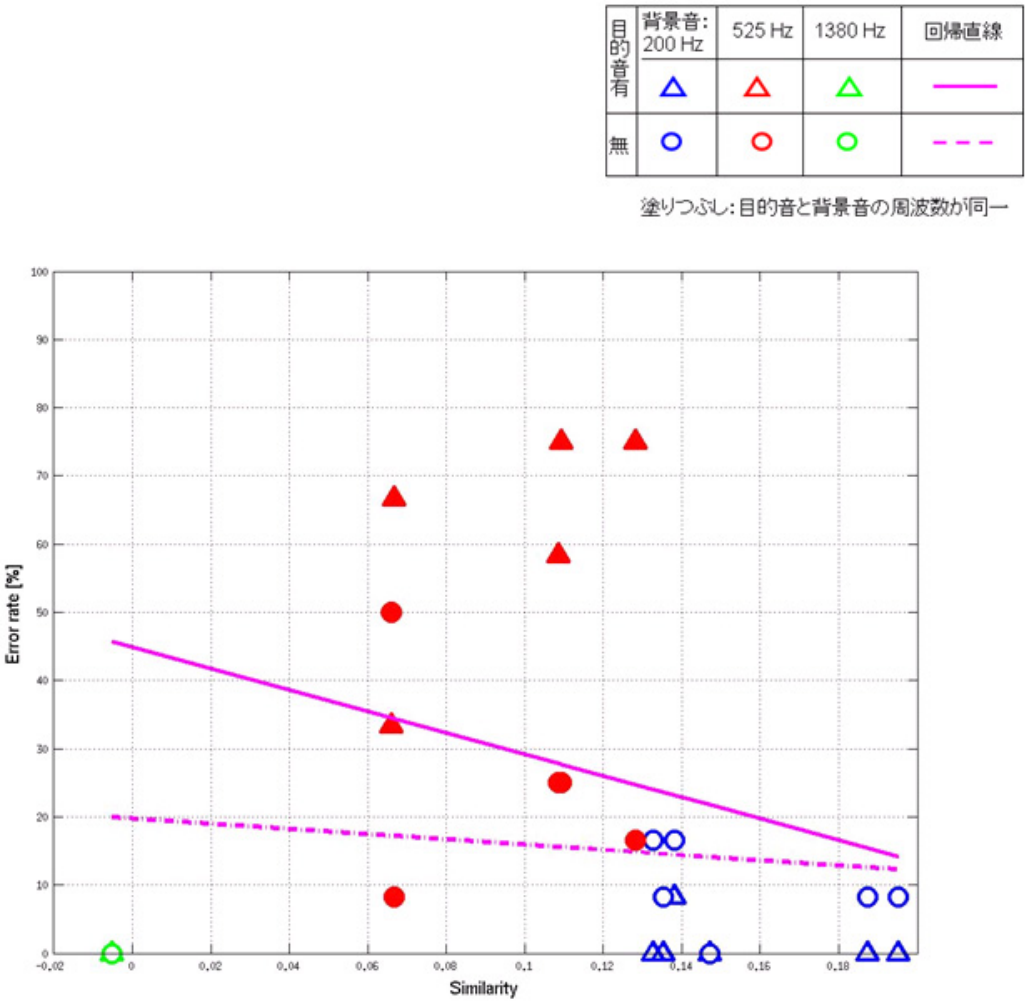

図 4.6: 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときのエラー率 (被験者平均)

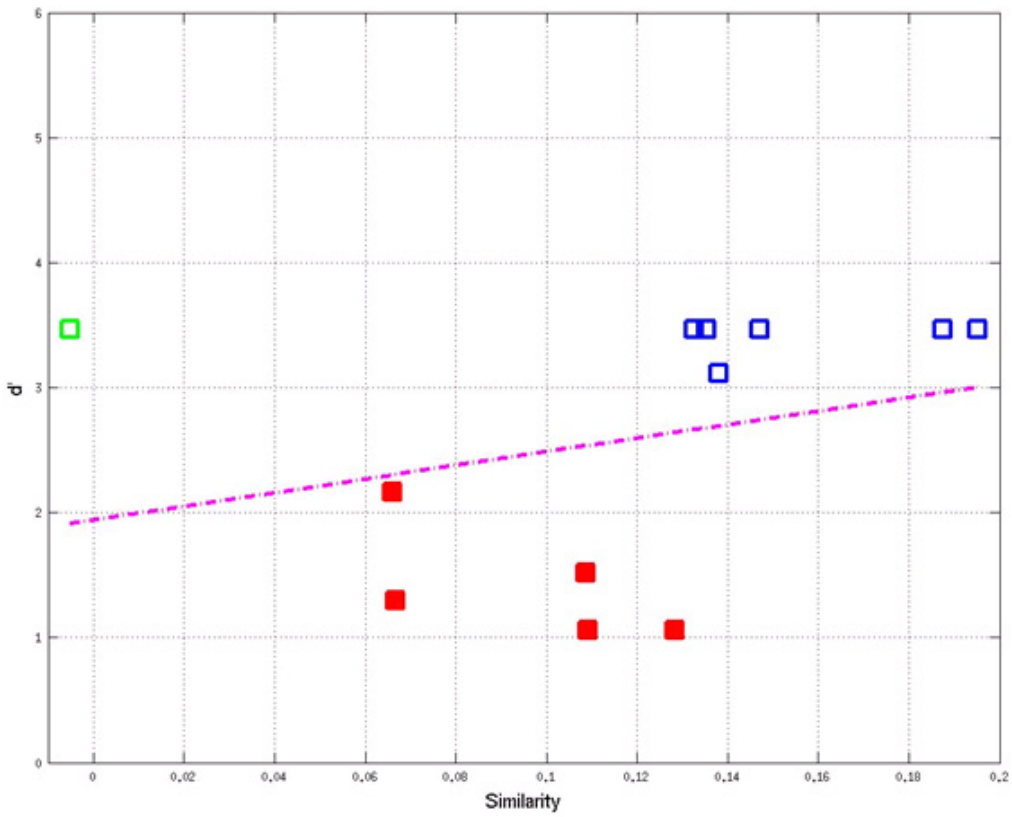

図 4.7: 目的音を純音、背景音を狭帯域雑音としたときの d' の変化 (被験者平均)

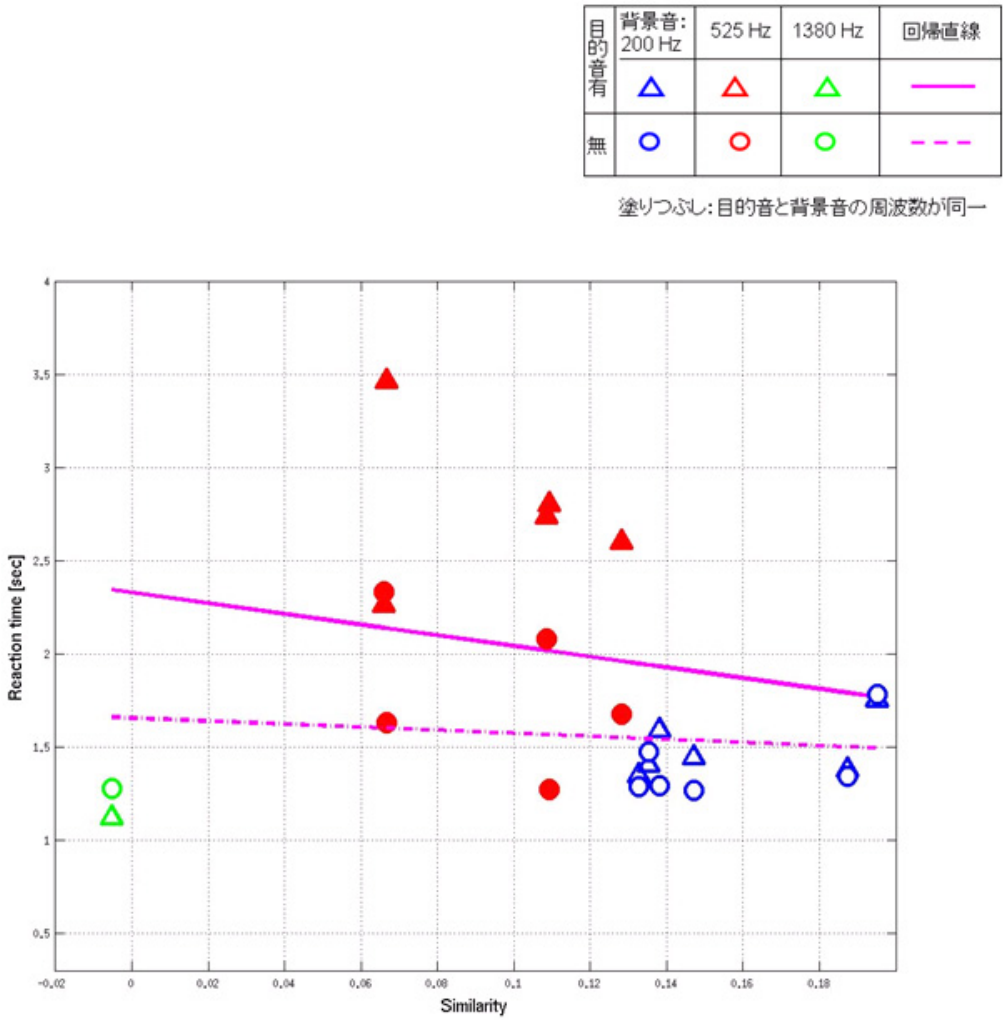

図 4.8: 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときの反応時間 (被験者平均)

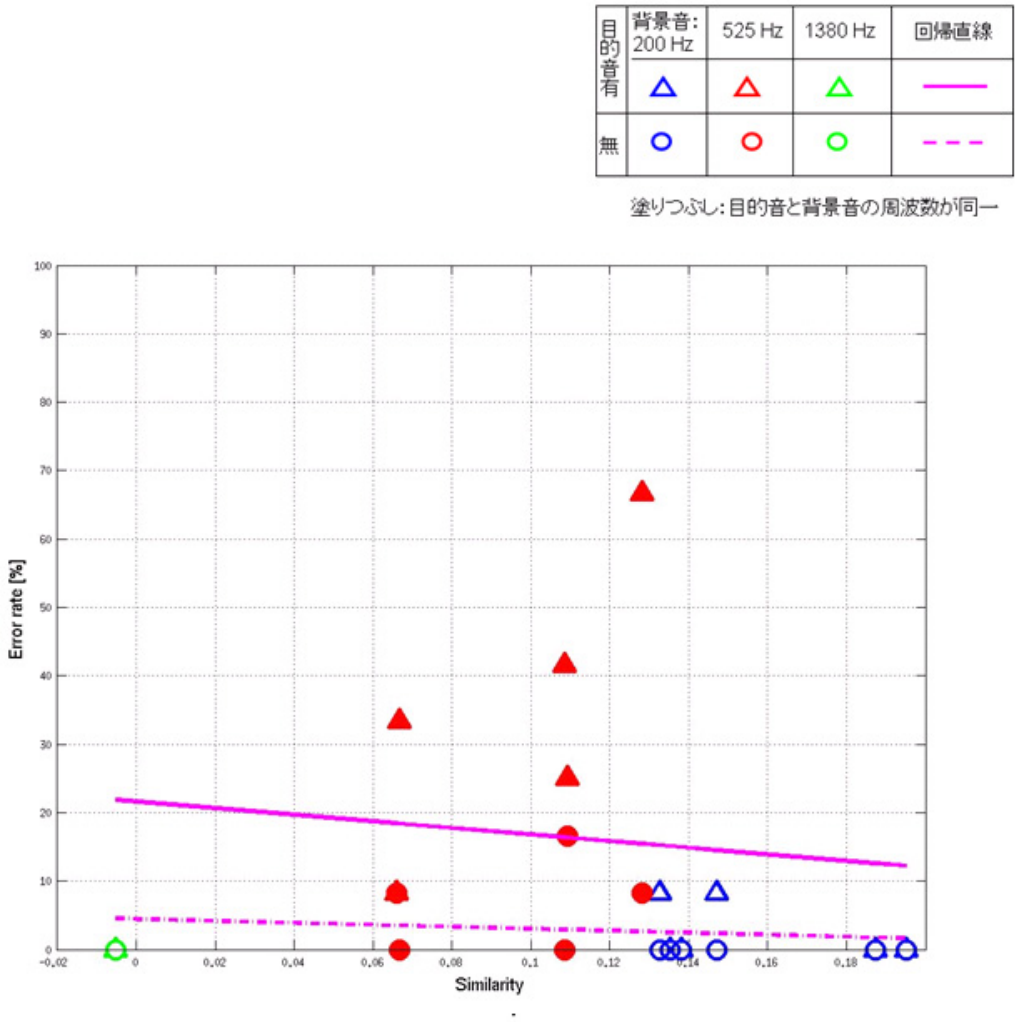

図 4.9: 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときのエラー率 (被験者平均)

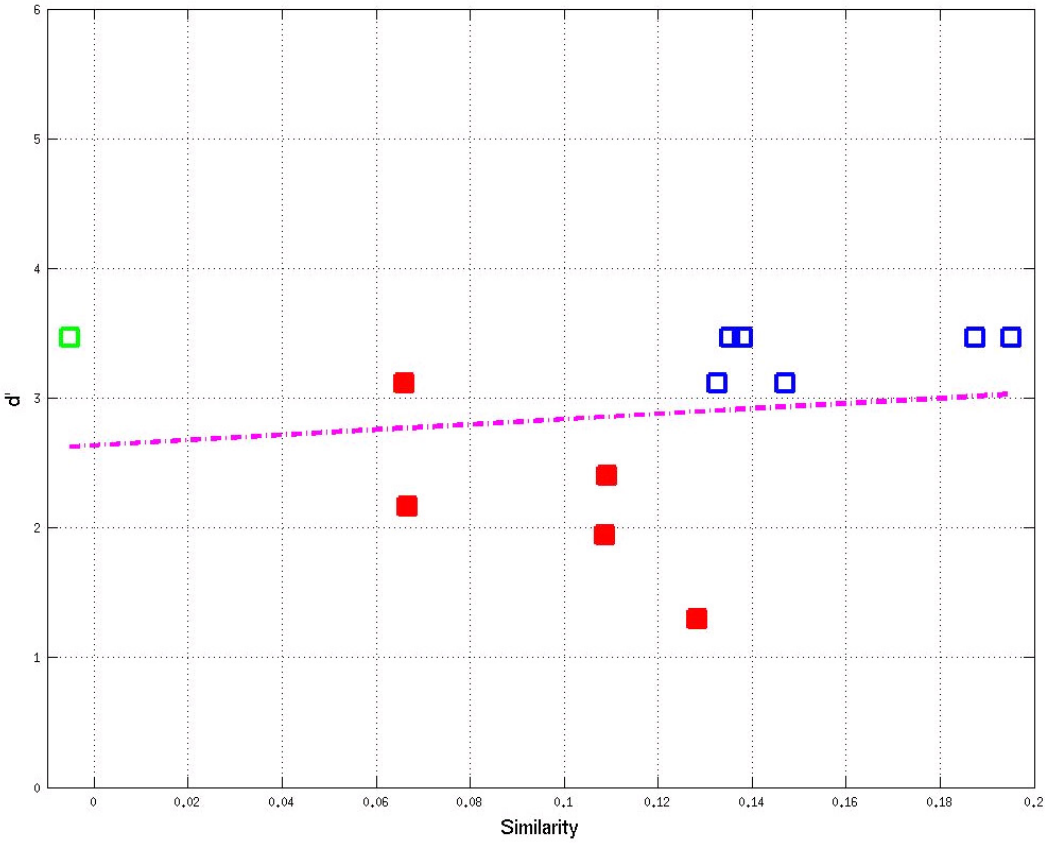

図 4.10: 目的音を狭帯域雑音、背景音を純音としたときの d' の変化 (被験者平均)

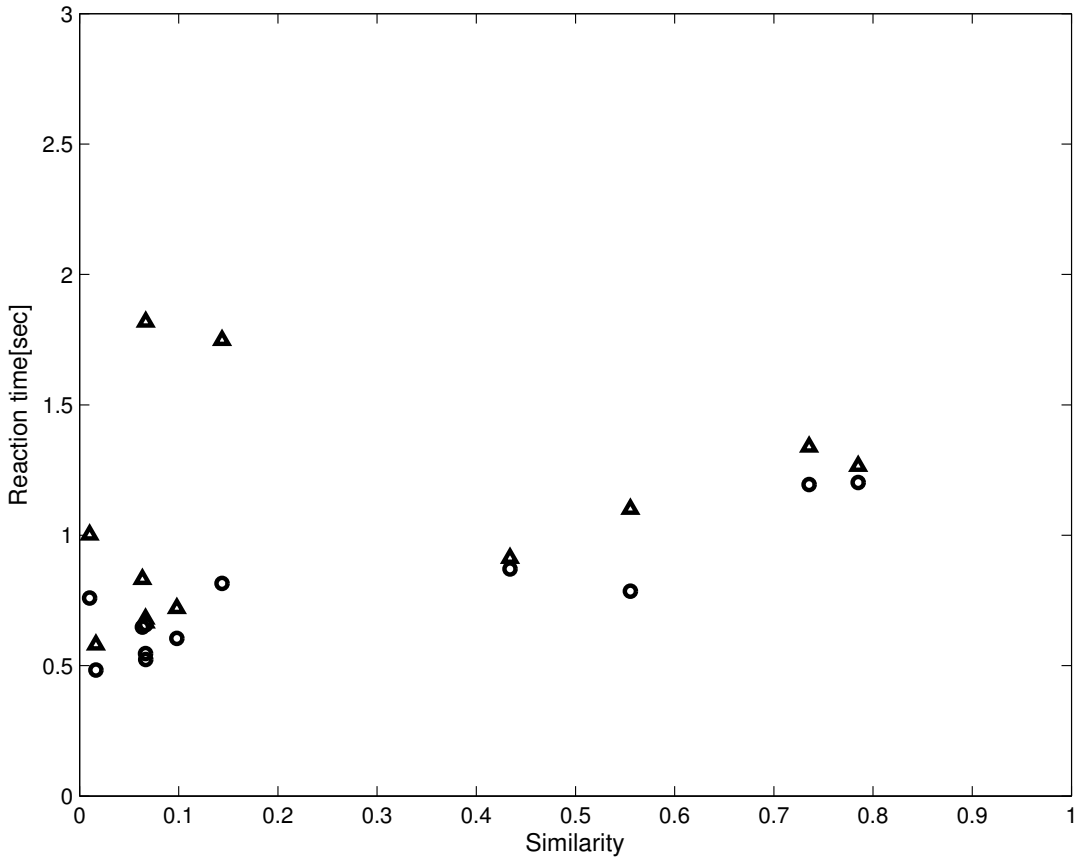

図 4.11: 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 A)

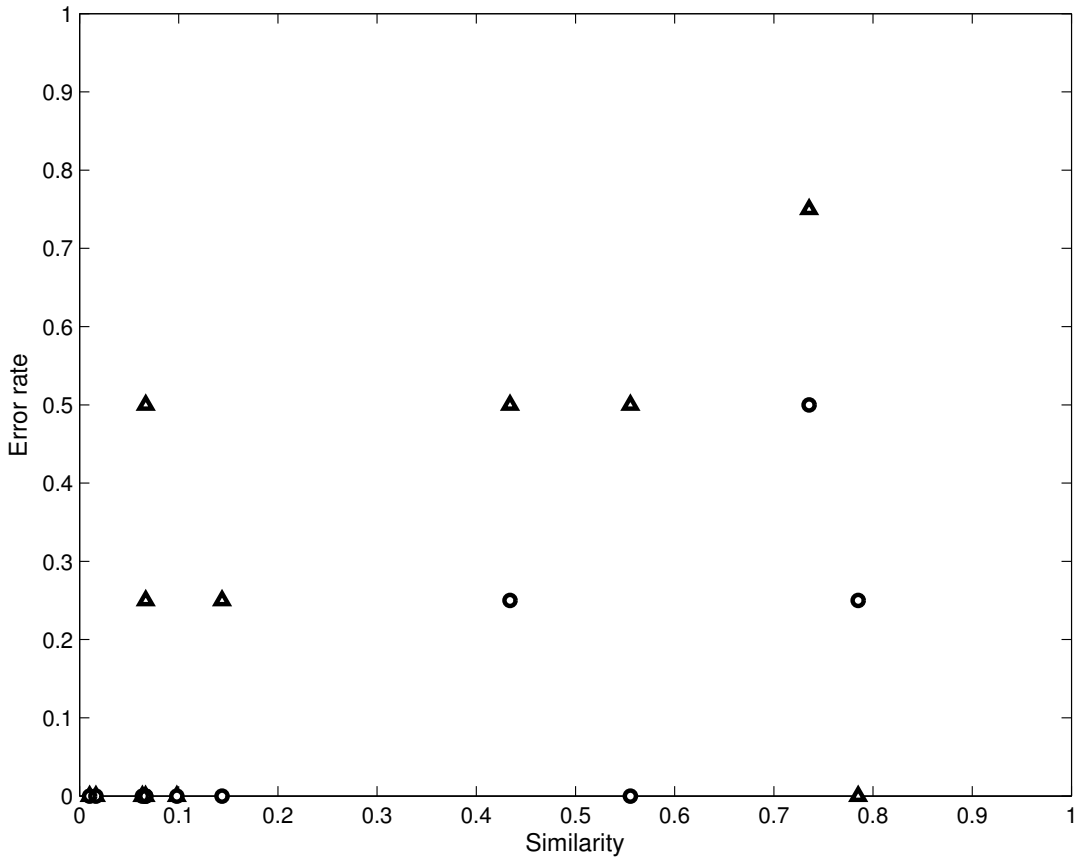

図 4.12: 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 A)

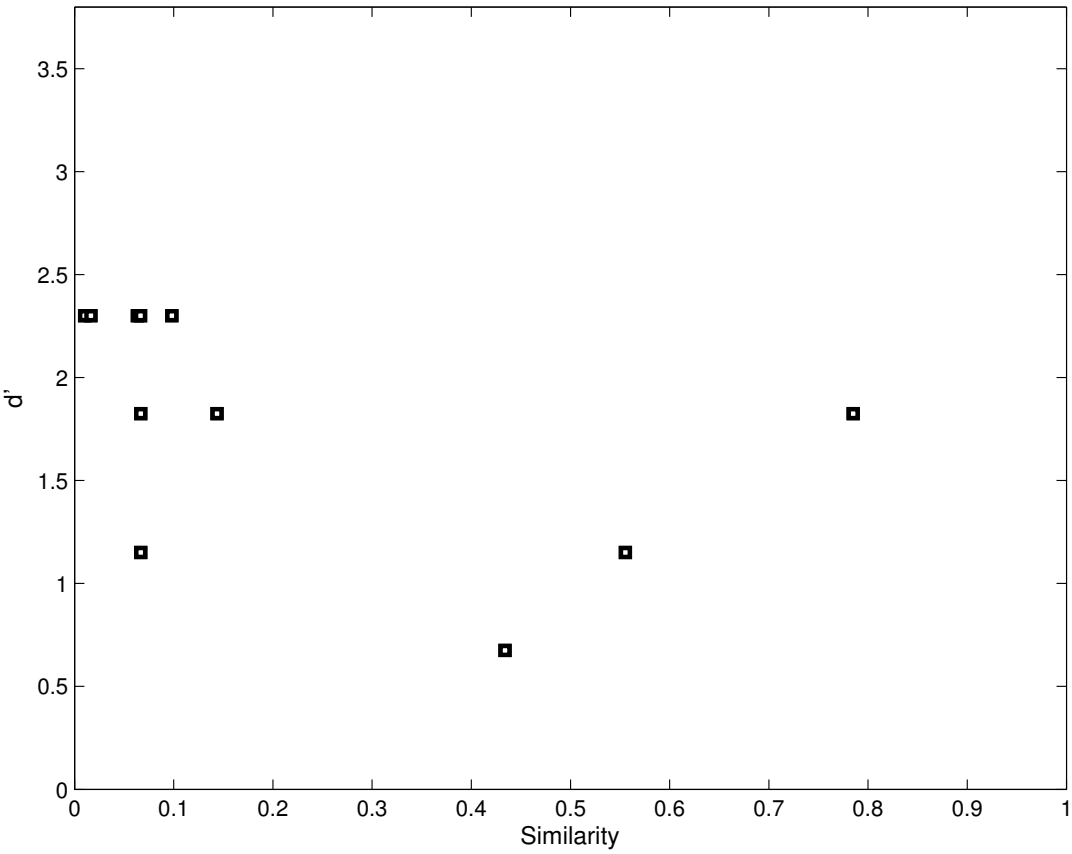

図 4.13: 変動のあるもの同士での d' の変化 (被験者 A)

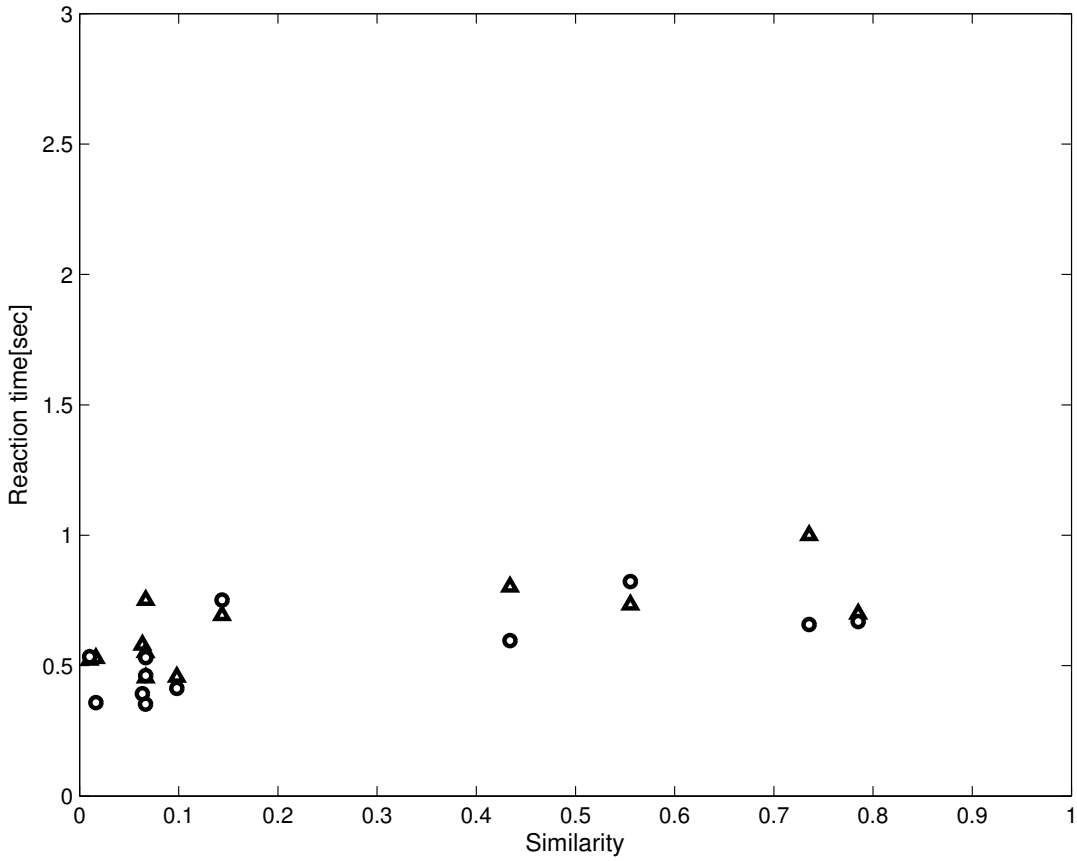

図 4.14: 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 B)

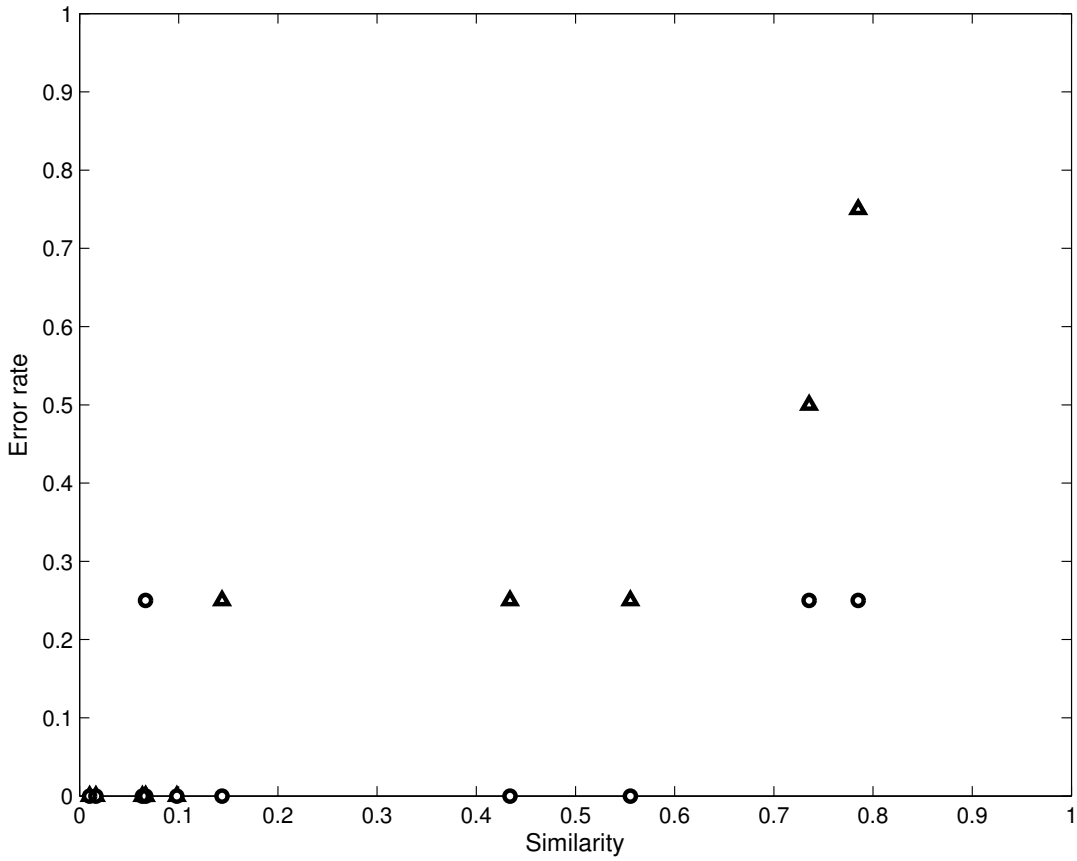

図 4.15: 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 B)

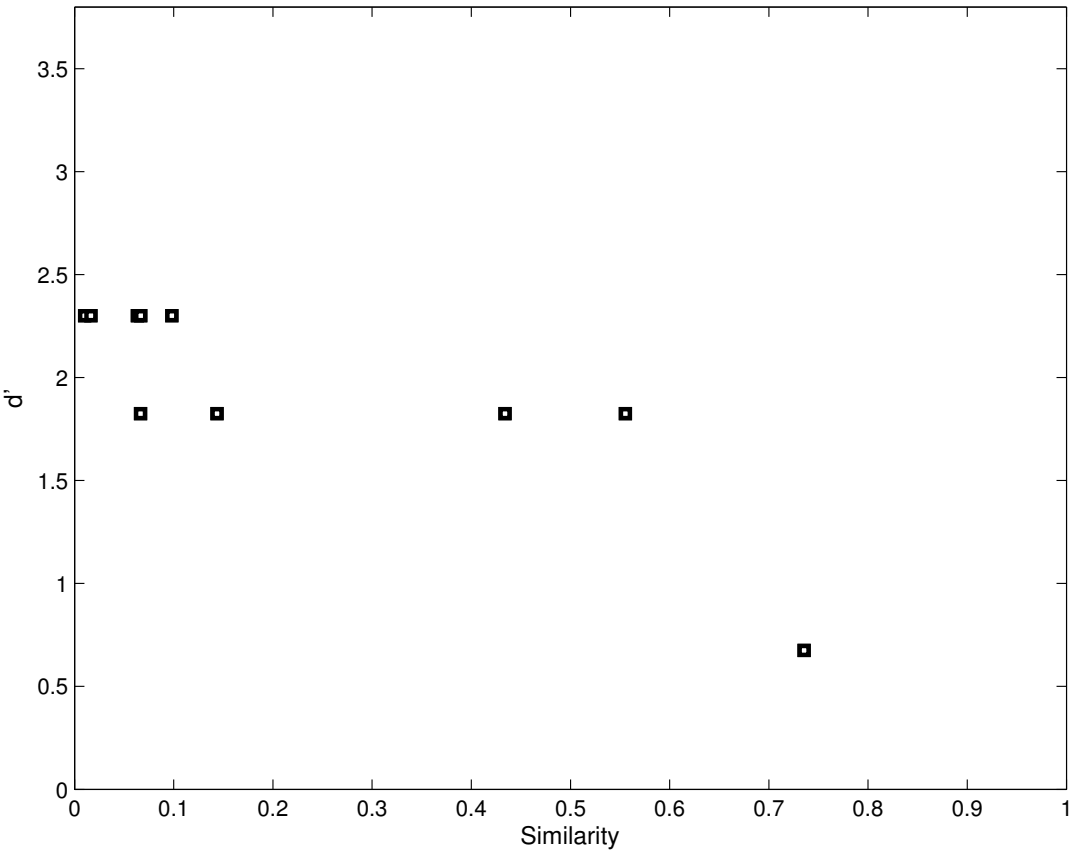

図 4.16: 変動のあるもの同士での d' の変化 (被験者 B)

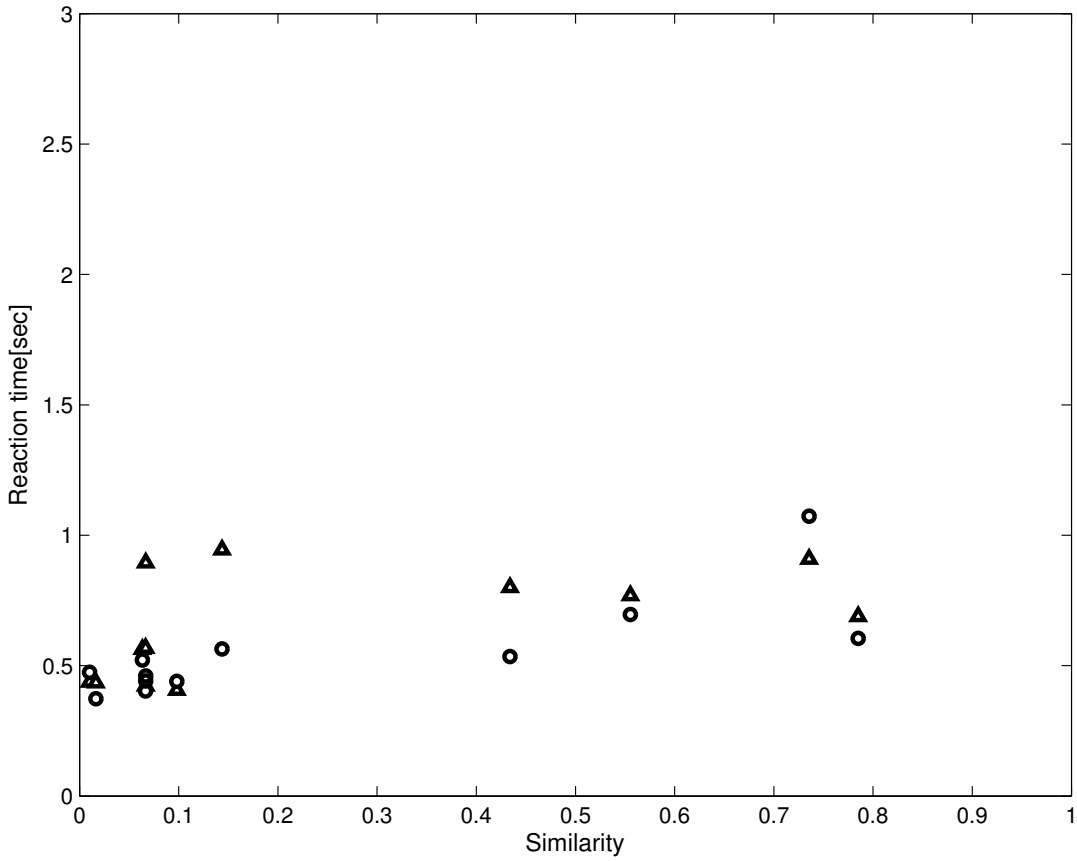

図 4.17: 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者 C)

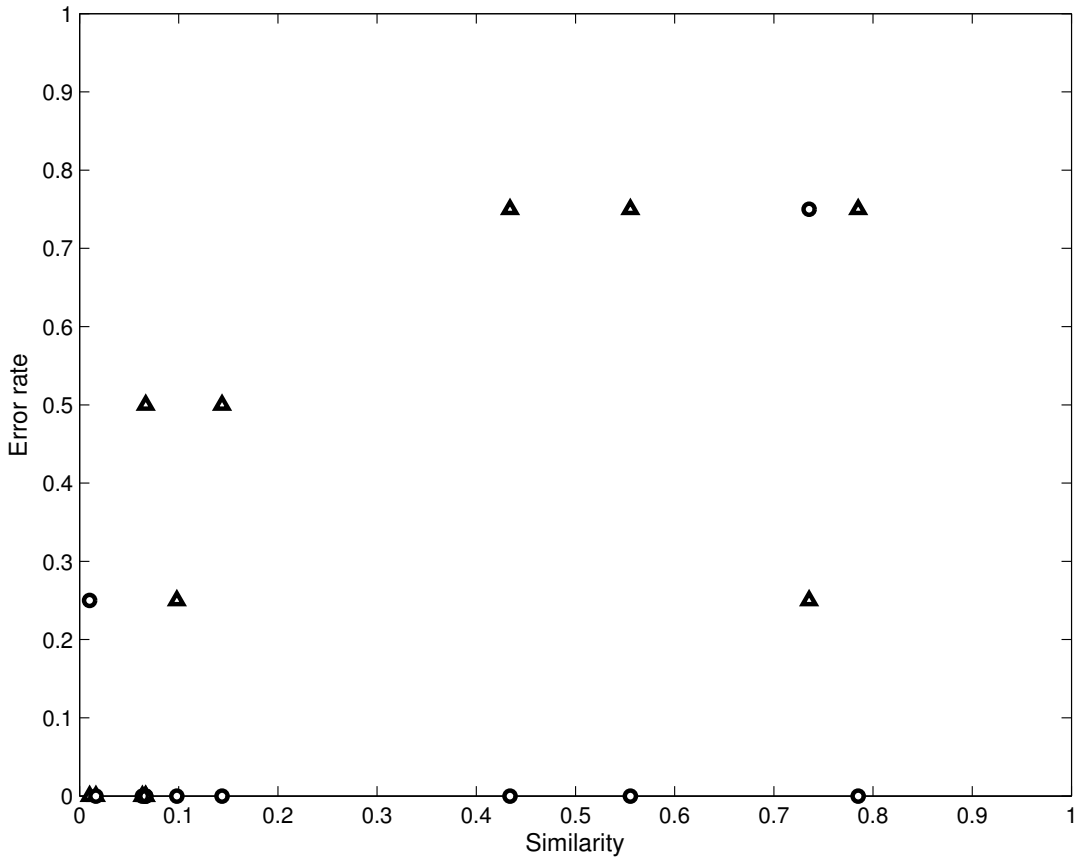

図 4.18: 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者 C)

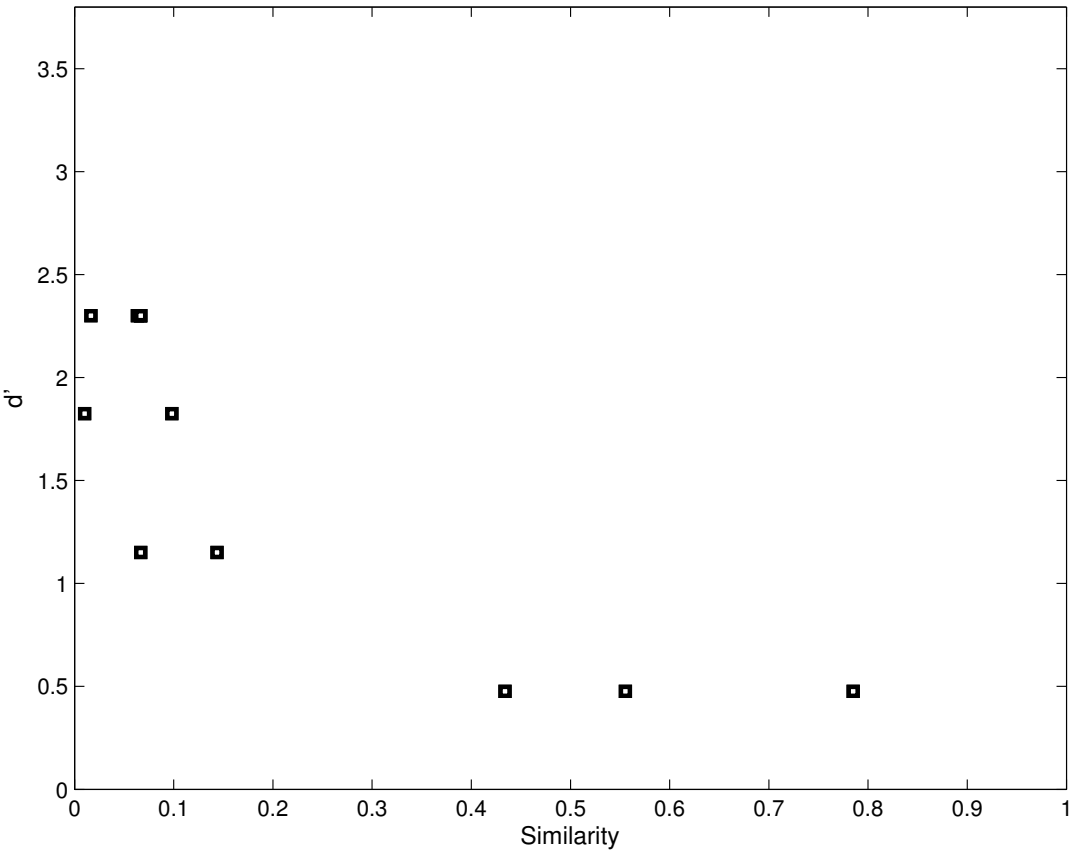

図 4.19: 変動のあるもの同士での d' の変化 (被験者 C)

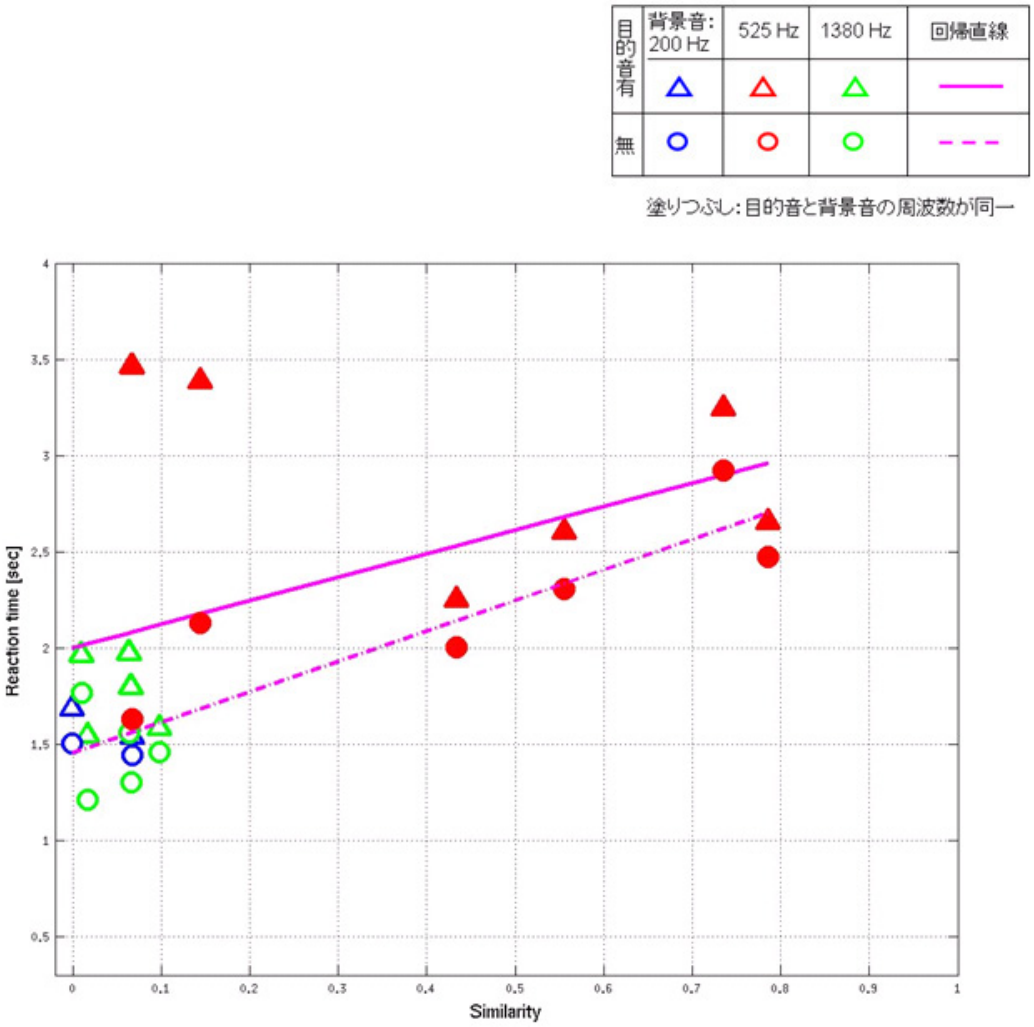

図 4.20: 変動のあるもの同士での反応時間 (被験者平均)

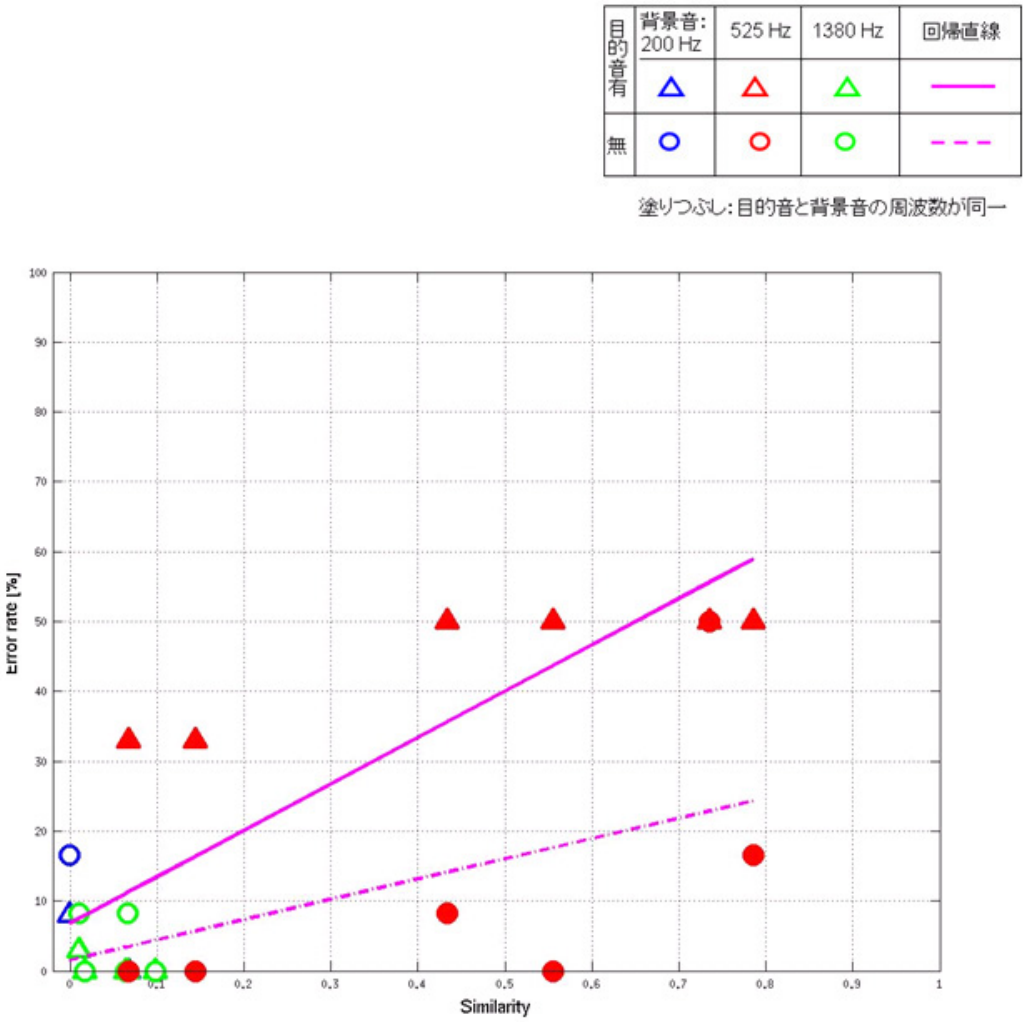

図 4.21: 変動のあるもの同士でのエラー率 (被験者平均)

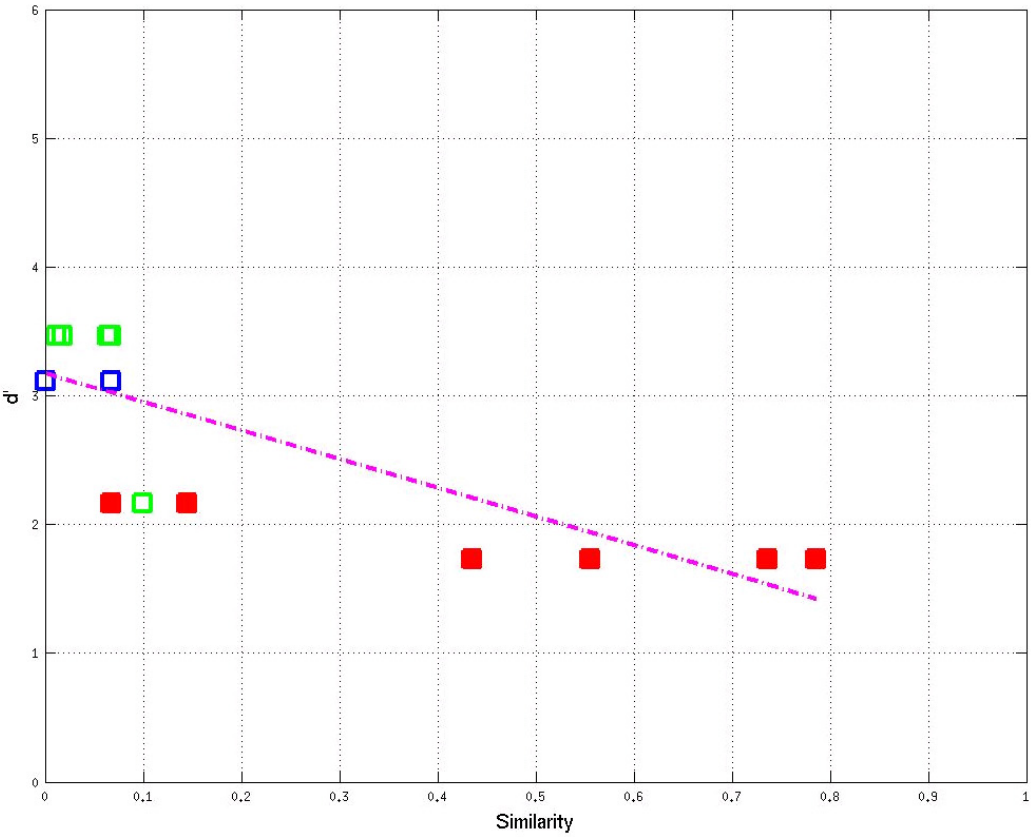

図 4.22: 変動のあるもの同士での d' の変化 (被験者平均)

次に、目的音と背景音ともに振幅包絡の時間的に変動する場合について、類似性を尺度として目的音の検知能力を調べた。次の結果は、目的音を目的刺激：fc = 525 Hz 狭帯域雑音 1/4-oct に固定したとき、目的音と背景音が両方ともに様々な時間変動をもつ音であるときの反応時間 (図 4.11, 図 4.14, 図 4.17, 図 4.20) とエラー率 (図 4.12, 図 4.15, 図 4.18, 図 4.21) と d'(図 4.13, 図 4.16, 図 4.19, 図 4.22) の結果である。まず被験者別の結果をみると、被験者 A においては、類似性の変化で反応時間の違いはあまり見られないが、エラー率と d' に関しては類似性に従って、背景音と目的音との時間変動の類似性が高くなるにしたがって目的音の検知がされにくくなる傾向がみられる。一方で、被験者 B と被験者 C においては、正試行判断において、背景音と目的音との類似性が高くなるにつれて、ゆるやかに反応時間の増加がみられた。しかしエラー率と d' では、類似性の 0.4 を超えたあたりから、より顕著に目的音が検知されにくくなっていることが分かった。

被験者全体の平均では、回帰線に注目すると反応時間とエラー率が、類似性が高くなるにつれて反応時間は長く、またエラー率は高くなる傾向を示した。また、その一方で信号の検出されやすさの指標となる d' は、類似性が高くなるにつれ、d' の値が下がる傾向を示した。最後に結果をまとめると、本章の実験結果から、まず先行研究で聴覚探索実験と

して行われていた純音と狭帯域雑音の組み合わせに着目すると、反応時間やエラー率においては、当初立てた予想と異なり、類似性が低いときには反応時間は短く、エラー率においてはエラーが少ないという結果は顕著には表れなかった。そして、類似性の変化で生じる影響が分かりにくくグラフに出ていた。しかし、信号検出理論を用いた信号の検出しやすさの指標となるｄ’においては目的音と背景音とが同じ周波数であるときに、d' の値が、背景音が狭帯域雑音で目的音の純音を探すよりも、背景音が純音で目的音が狭帯域雑音を探す方が高くなり、変動のないものよりもあるものの方が探索されやすいという阿瀬見らの結果が同じ類似性の値をもつような関係で明確に確認できた。

4.4　考察

本章での実験では、様々な時間変動の類似性をもつ背景音と目的音の組み合わせで、類似性の違いが目的音検知にどのような影響を与えるのかを調査した。その結果、純音と狭帯域雑音の結果においては、阿瀬見らの時間変動の有無によって、時間変動のないものよりも時間変動のあるものの方が同じ背景音と目的音の 2 種類の刺激でも、背景音と目的音とで立場を入れ替えることで、検知のされやすさが異なるという結果を得た。実験結果からは、異なる周波数帯域の刺激同士では確認することができなかったが、同一の周波数帯域をもつ刺激での同じ類似性の部分では、これを確認することができた。この同一周波数帯域をもつときと、同一周波数をもたないときで結果が異なることから、振幅の時間変動を手がかりとするよりも前に、周波数という手がかりが、背景音の中から目的音を検知する際に強い手がかりとして用いられている可能性が考えられる。そのため、背景音と目的音が同一の周波数を含んだ音である場合には、目的音の検知が難しくなっているのではないかと考えられる。

一方で、変動のあるもの同士においては、当初の予定では、例えば、1/4-oct. の狭帯域雑音の 200 Hz と 1/4-oct. の狭帯域雑音の 525 Hz の刺激であれば、たとえ刺激の周波数が異なっていても同じ種類の刺激であれば、その類似性は、周波数が異なっても時間変動のない純音と同じように、まったく同じ変動をもつので値は 1 になるものと考えていたが、実際に同じ刺激であっても周波数が異なると、類似性も時間変動がまったく一致するような値をとらないことが分かった。そして、各被験者で個人差が見られるものの、反応時間もエラー率においても類似性に従い増加する傾向を示した。このことは背景音と目的音の時間変動の違いによって、目的音の検知の難しさが反応時間としてもエラーとしても、信号を正しく検知できているかに関しても影響していることを示唆しているものと考えられる。また、時間変動の有無の違いによる先の結果と異なり周波数が同じか、そうでないかによる違いは生じなかった。これは、周波数の手がかりよりも、振幅変動の手がかりが重く被験者に扱われた結果によるものと考えられる。しかし、被験者別の実験結果では、反応時間やエラー率、ｄ’の変化に個人差が見られた。これは、反応時間は、個人差の影響が見られているものと考えられるが、エラー率やｄ’の変化においては実験回数が少なく一回のミスが実験全体の結果に影響していることが考えられる。したがって、これらの

問題を解決するためには、より多くの被験者に実験を実施することと、実験回数を重ねる必要がある。

また、それぞれの実験結果では、目的音と背景音が同一の周波数であるときに、明確に類似性での違いによる影響を示しているが、これらは刺激の生成において本実験では各種類の刺激の組み合わせで時間変動の違いを調べており、21 種類の刺激の時間変動を制御し統制をとっていないために、周波数ごとの影響が関係しているかを示すことはできない。しかしながら、これらの結果は、変動のあるなしに関わらず、目的音と背景音との時間変動の違いに着目した場合に、目的音と背景音の振幅の時間変動で類似性が低く、互いに変動が似ていない場合に背景音からの目的音検知がしやすくなる可能性を示唆している。

第5章　結論

5.1　本研究により明らかにされたこと

本論文では, 雑音環境下で目的音を検知することを聴覚探索問題として捉え直し、阿瀬見らの変動のあるなしによって目的音検知に違いが生じるという研究結果を利用して、目的音と背景音との時間変動に着目した。時間変動においては振幅の時間変動に着目し、目的音と背景音との時間変動の類似性の違いによって、背景音からの目的音検知にどのような影響が与えられているのかを調べるため、純音と 6 つの狭帯域雑音をそれぞれ 3 つの周波数に分けて 21 種類の刺激を用いて被験者に対して聴覚探索実験を行った。この結果、純音と狭帯域雑音の組み合わせにおいては、周波数が同一のものでのみ、また変動のあるもの同士の実験結果においては、21 種類のどの目的音においても d' においては明確に、そして反応時間やエラー率においても一定の類似性の影響があることが明らかになった。

この純音と狭帯域雑音の組み合わせに限定したものでは、同一の周波数のものにおいて d' の値が同じ類似性において純音を目的音としたときよりも狭帯域雑音を目的音としたときの方が値が高かったことから、阿瀬見らで得られた「変動のないもの (純音) よりも、変動のあるもの (狭帯域雑音) の方が目的音探索がされやすい」という知見になんら矛盾していないことが分かった。しかしながら、世の中に存在する多くの音は時間変動のある音であることから、目的音と背景音の振幅の時間変動の関係で、目的音と背景音がともに時間変動をもち、類似性の違いで目的音検知にどのような影響が及ぼされるのかを調べ、上記の結果を得た。

したがって、以上のことから雑音環境下において妨害音となる背景に対して、類似性が低くなるような目的音を利用することで、目的音が検知されやすくなるような状況を作り出せることが示唆された。これら結果は、反応時間やエラー率に関わらず、信号の検出しやすさに時間変動の類似性が影響しており、目的音を検知するための手がかりとして使われている可能性を示唆しているものと考えることができる。

5.2　残された課題

本論文では、目的音と背景音の類似性の違いが目的音検知に影響を与えていることを示すことができた。しかしながら、雑音環境下においての目的音検知をよくするためには、より細かい分析が必要である。残された課題としては、大きく分けて二つの分類ができる。まず聴覚探索問題としての課題である。本論文の聴覚探索問題において、ラウドネス

は統制していない。したがって、実験結果においてはその影響が生じている可能性が否定できず、これを統制すれば時間変動での違いをより実環境に適した形で調査することができる。また時間変動の制御においては、本実験において位相が直行する場合を考慮していない。位相により時間変動の違いによっても、背景音に対して目的音の検知がされやすくなる可能性が考えられる。また、本論文の実験の中で、周波数での違いによって類似性の影響がみられたものと、あまり見られなかったものが分かれている。これらは、組み合わせによって時間変動の様々な違いを持たせたために生じた問題と考えられるが、本実験においては類似性の違いが目的音検知に影響を与えていることを示すにとどまったために、周波数による影響は調査していないその一方で、阿瀬見ら同様に時間変動の有無で本研究の実験結果を分類し分析したところ、同一の周波数をもっているか、もっていないかの違いによって、明らかに目的音検知に差が見られた。しかしながら、背景音も目的音も時間変動する場合に分析範囲を広げてみると、この同一の周波数を含むか否かの問題で、目的音検知のしやすさが変わる結果は得られなかったことから、時間変動の有無の違いが分かれている場合には、周波数の影響が少なからずあるのではないかと考えることができる。しかし、これを示すためには更に追試が必要である。

また聴覚探索問題の課題の一方で、この後の報知音研究の課題も残されている。報知音研究の課題としては、まず構成音数の問題が挙げられる。本実験の中では、目的音に対して、背景音も１であるときのみを実験条件としていた。しかし、実環境下においては、より複雑な多くの音が予想不可能に混合していることが考えられる。本実験では、その複雑な音を一つの大きな背景音として、その中で目的音検知の調査を行ったが、実環境に適した報知音であるためには、複数の妨害音の中でも時間変動を手がかりとして目的音の検知ができるかどうかは調べなければならない。また、その一方で、報知音においては、音のリズムも知覚されやすい報知音の要素として重要である。なぜなら、音のリズムも、背景音に対しての時間変動の違いが生じるからである。したがって、背景音に対して、目的音に音のリズムをつけることで目的音の検知がよくなる可能性も考えられる。

これらを調査することで、騒がしい雑音環境下においても頑健な報知音の設計を可能とさせることが期待できる。

謝辞

北陸先端科学技術大学院大学の鵜木 祐史准教授には、指導教員として本研究を行う機会を賜り、御多忙の折にも関わらず、全く専門外であったので初歩的なことから研究者としての心構えなど、終始全般的な御指導をいただいた。特に本論文を仕上げるにあたって、数多くの御助言をいただき深謝申し上げる。また、北陸先端科学技術大学院大学の赤木正人教授には、本論文の審査委員として、研究室セミナーの場においても、日ごろより数多くの有益な御意見や御助言をいただき感謝を申し上げる。同じく本論文の審査委員として、小谷 一孔 准教授にも、発表の折より有益な御意見をいただいき、本研究を遂行することができた。また、党 建武 教授においても、日ごろのセミナーなどの場で有益な御助言を頂いた。このお二方には、心より感謝申し上げる。それから、本研究を遂行する上で、先行研究を行っていた現ブラザー工業株式会社の阿瀬見 典昭氏には、突然のお願いだったにも関わらず、快く貴重な資料をご提供いただき、また数多くの御助言をいただいた。この場をお借りして厚く御礼申し上げる。

そして、被験者として、多忙な中、快く御協力いただいた鵜木研究室ならびに赤木研究室の修士１年の方々に心より感謝を申し上げる。また同じく多忙な折にも関わらず、実験系の構築を手伝っていただいた羽二生 篤氏、浜田 大樹氏、手塚 崇史氏、木谷 俊介氏にも心より感謝申し上げる。これらの方なしに、本研究の実験を遂行することはできなかった。その他においても、数多くの方々の支えによって、本研究を遂行できた。研究生活の中で、様々な話題について議論できたことで、本研究の中での行き詰まりを解消できたことは、本研究室で過ごした研究生活を何物にも変えがたく充実したものにできた。本研究室で共に過ごした時期のある方々に深く感謝を申し上げる。

最後に、本研究室での貴重な研究生活を暖かく見守り、またその機会を与えてくれた両親、兄、そして、これまで遠く地元から応援してくれた友人たちに、ここに心より御礼と深く感謝の意を表したいと思う。

参考文献

[1] JIS S 0013, 高齢者・障害者配慮設計指針 ー消費生活製品の報知音, 2002.

[2] 山内 勝也, 高田 正幸, 岩宮 眞一郎, “サイン音の機能イメージと擬音語表現,” 日本音響学会誌 59 巻 4 号 (2003), pp.192-202

[3] 倉片 憲治, “音のユニバーサル・デザイン,” 日本音響学会誌 58-6, (2002), pp.360-365

[4] E. G. Cherry, Some experiments onthe recognition of speech with one and with two ears, *J. Acoust. Soc. Am.*, **25**(5), 975–979, Sept. 1953.

[5] 倉片 憲治, 久場 康良, 口ノ町 康夫, “高齢社会における家電製品の報知音-高齢者にも聞き取りやすい音とは？-,” 人間工学関連技術シンポジウム資料集, 1996(3)-11.

[6] 水浪 田鶴, 下迫 晴香, 松下 一馬, 倉片 憲治, “JIS S 0013 における報知音 (終了音・注意音) の推奨 ONOFF パターンの追検討,” 日本人間工学会誌, 40(5), 264–271, 2004.

[7] K. Saberi, L. Dostal, T. Sadralodabei, V. Bull, and D. R. Perrot, “Free-filed release from masking,” J. Acoust. Soc. Am.,90 (3), 1355-1370,1991.

[8] M. Ebata, T. Sone, and T. Nimura, “Improvement of hearing ability by directional information,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **43**, 289–297, 1968.

[9] J. Nakanishi, M. Unoki, M. Akagi, “Effect of ITD and Component Frequenies on Perception of Alarm Signals in Noisy Environments,” Jounal of Signal Processing, 2006, Vol.10-4, pp.231-234.

[10] 内山 英昭、鵜木 祐史, 赤木 正人, “自動車環境下の報知音知覚に関する検討,” 日本音響学会講演論文集, 2–Q–20, 2007–3.

[11] Hideaki Uchiyama, Masashi Unoki, and Masato Akagi, “Improvement in detectability of alarm signals in noisy environments by utilizing spatial cues,” IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, October 21–24, 2007, New Paltz, NY, pp74–77.

[12] Brian C. J. Moore , 大串 健吾 監訳, “聴覚心理学概論,” 誠信書房

[13] 赤木 正人, “カクテルパーティ効果とそのモデル化,” 電子情報通信学会誌 vol.78, No.5 pp.450–453, 13(1994).

[14] Noriaki Asemi, Yoichi Sugita, Yoiti Suzuki, “Auditory search asymmetry between pure tone and temporal fluctuating sounds distributed on the frontal-horizontal plane,” Acta Acustica United With Acustica vol.89(2003), 346–354.

[15] 阿瀬見 典昭, 杉田 陽一, 鈴木 陽一, 曽根 敏夫, 中村 慶久, “純音と狭帯域雑音による聴覚の探索非対称性について,” 日本音響学会聴覚研究会資料, H–99–2.

[16] Yoichi Sugita, Yoiti Suzuki, and Toshio Sone. “Auditory search asymmetry. Proceedings of 20th Annual International Conference,” IEEE/EMBS, 3126–3128, 1998.

[17] 佐瀬 真人, 阿瀬見 典昭, 鈴木 陽一, “聴覚探索の反応時間とその非対称性に目標刺激のラウドネスが及ぼす影響,” 日本音響学会講演論文集, 1–2–6, 2002–9.

[18] 佐瀬 真人, 鈴木 陽一, 杉田 陽一, “目的音の周波数及び空間注意条件下の聴覚探索,” 日本音響学会聴覚研究会資料、Vol.33, No.9, H–2003–104, 609–614.

[19] Noriaki Asemi, Yoichi Sugita, Yoiti Suzuki, “Auditory search asymmetry between normal Japanese speech sounds and time-reversed speech sounds distributed on the frontal-horizontal plane,” Acoust. Sci. and tech. 24,3 (2003), 145–147.

[20] 阿瀬見 典昭, 林 良子, 筧 一彦, “日本語母語話者による英語音声探索,” 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol.37, No.1, H–2007–2.

発表リスト

Misa Kusaba, Masashi Unoki, Masato Akagi, “A study on detectability of target signal in background noise by utilizing similarity of temporal envelopes in auditory search,” Proc. Nonlinear Circuits and Signal Provessing ’08 in Brisbane in Australia. (to be appear)