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

Title	自動車走行雑御中の報知音知覚に関する研究
Author(s)	内山，英昭
Citation	
Issue Date	2007-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/3579
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

自動車走行雑音中の報知音知覚に関する研究

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

内山 英昭

2007 年 3 月

修 士 論 文

自動車走行雑音中の報知音知覚に関する研究

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

510015 内山 英昭

提出年月: 2007 年 2 月

Copyright © 2007 by Hideaki Uchiyama

概 要

自動車の報知音の役割は、危険、故障、交通渋滞をはじめとする様々な情報を音によってドライバーに認識させることである。しかし、車室内ではエンジン音、風きり音といった様々な雑音が存在するため、これらの雑音によって、報知音がマスクされてしまう可能性がある。危険を知らせる報知音であった場合は、重大な事故を引き起こす要因になる恐れがある。そこで車室内のような雑音環境下でも、正確かつ効率よくドライバーに知覚されやすい報知音の呈示が求められる。一方で、マスキング量を軽減させる現象の一つとして、Spatial Release from Masking (SRM) がある。SRM とは、信号音と同方向から到来する雑音によるマスキング量に対して、信号音と雑音の到来方向が異なる場合に、マスキング量が減少する現象である。もし SRM が車室内においても起こるのであれば、報知音がマスクされにくくなる報知音源と雑音源の位置関係が存在する。これにより、走行中の車室内において、知覚されやすい報知音の設計に指針を与えることができる。本研究では、異なる成分周波数から成る報知音を用いて、自動車走行雑音中の報知音のマスキング閾値を測定した。報知音の両耳間時間差 (Interaural Time Difference: ITD) を変化させた場合と、雑音の ITD を変化させた場合の両方のマスキング閾値の測定を行なった。その結果、二つの実験結果は同様の傾向を示したことから、報知音源と雑音源の到来方向による方向差が知覚特性に影響している。また報知音を呈示すると成分周波数によって両耳間位相差 (Interaural Phase Difference: IPD) が生じていることから、報知音を知覚するとき ITD と両耳間位相差 (IPD) の影響を受けている。両者の結果は、正確かつ効率よく知覚させる報知音の呈示方法は、雑音の到来方向を考慮し、報知音の ITD と成分周波数の IPD について考察する必要があることを示唆する。

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　はじめに 1
1.2　研究の背景 2
1.2.1　報知音の知覚に関する研究 2
1.2.2　雑音中の音知覚に関する研究 2
1.2.3　中西らの研究 3
1.3　本研究の目的と手法 4
1.4　本論文の構成 5

第 2 章　報知音のマスキング閾値の測定方針 **7**
2.1　マスキング閾値の測定全体の枠組み 7
2.2　本研究におけるマスキング閾値の測定方針 7

第 3 章　白色雑音におけるパルス音と報知音の知覚特性 **10**
3.1　パルス音の知覚特性 10
3.1.1　目的 10
3.1.2　被験者 10
3.1.3　両耳間時間差の設定 10
3.1.4　実験システム 11
3.1.5　実験手続き 12
3.1.6　刺激音 12
3.1.7　実験結果および考察 13
3.2　報知音の知覚特性 13
3.2.1　目的 13
3.2.2　被験者、両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き 14
3.2.3　刺激音 14
3.2.4　実験結果 15
3.2.5　考察 15

第 4 章　報知音の成分周波数による両耳間時間差と両耳間位相差の影響 **20**
4.1　目的 20

4.2 被験者 20
4.3 両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き 20
4.4 刺激音 20
4.5 実験結果 20
4.6 考察 21
4.7 結論 21
4.8 まとめ 21

第 5 章 自動車走行雑音中の報知音の知覚特性 26
5.1 目的 26
5.2 被験者 26
5.3 両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き 26
5.4 刺激音 26
5.5 実験結果 26
5.6 考察 27
5.7 結論 27

第 6 章 到来方向が異なる雑音源が報知音知覚に与える影響 37
6.1 目的 37
6.2 被験者、実験システム、実験手続き、刺激音 37
6.3 両耳間時間差の設定 37
6.4 実験結果 37
6.4.1 考察 38
6.5 結論 39

第 7 章 自動車走行雑音中のパルス音の知覚特性 47
7.1 目的 47
7.2 被験者、実験手続き、実験システム 47
7.3 両耳間時間差の設定 47
7.4 刺激音 47
7.5 実験結果及び考察 47

第 8 章 報知音の ON/OFF のパターンを変えた場合の知覚特性 54
8.1 目的 54
8.2 被験者、実験手続き、実験システム 54
8.3 両耳間時間差の設定 54
8.4 刺激音 54
8.5 実験結果 55
8.6 考察 55

第 9 章　結論 **59**
9.1　本論分のまとめ 59
9.1.1　成分周波数による逆位相条件の計算法 60
9.2　予想されること 60
9.3　報知音の設計および呈示方法への提言 61
9.4　今後の展望 62

第1章　序論

1.1　はじめに

人は日常生活を送る上で、視覚、聴覚、味覚、触覚、嗅覚を通し様々な情報を得ている。特に聴覚では、音によって様々な情報を得ている。今、ある家族が全員で町を自動車に乗ってドライブしている。この家族は全員で遠出をするようで、まずは高速道路を目指している。道がよく分からないこともあり、目的地をカーナビに設定しているようだ。その後、この家族は以下のような行動を取ったとする。

1. 場面１　：　この家族は車の中で楽しそうに会話を楽しんでいる。しばらく走行しているとカーナビから「ポーン」という音がなり、「この先を右折して下さい。」という音声案内が開始された。
2. 場面２　：　この家族は、高速道路に乗ってしばらくして、サービスエリアに寄ることにした。駐車するとき、ドライバーは少し何かに気を取られていたようだ。すると「ピーッ、ピーッ」と音が鳴り出したため、車を停車させた。どうやら、後ろの車にかなり接近していたようである。

場面１では、「ポーン」という音が聞こえた。この音が聞こえたことによって、カーナビが音声案内を始めるのだとドライバーは認識できた。これによってドライバーはその後流れる音声に意識を集中することができた。場面２では、「ピーッ、ピーッ」という音が聞こえた。これは危険を告げる警告音である。この音によって、何か異常があると認識して、後方の車に追突しなくてすんだ。場面１や２のような、人の注意を引く音が報知音である。最近では車によって、モニター上に車の後方が映し出させるものもある。しかし、ドライバーは常にモニターを見れるわけではない。よって、音によって注意を引く報知音が重要要になってくる。特に近年、機器の多機能化・高機能化により、報知音の使用頻度は増加していると言える。このような情報伝達手段は、実環境においても正確かつ効率よく情報伝達される必要がある。しかし、実環境においては報知音を正確に知覚させる上で様々な問題が生じていると考えられる。自分が自動車を運転しているときのことを思い浮かべてみよう。走行中の自動車は、エンジン音、風きり音をはじめとする様々な雑音が存在する。これらの雑音によって報知音はマスクされてしまう可能性がある。危険を知らせる報知音がマスクされてしまった場合、状況によっては重大な問題を引き起こす危険性がある。そこで、走行中の自動車のような雑音環境下でもできるだけ雑音に影響されにくく、気付きやすい報知音の設計や呈示方法を確立することが重要な課題となる。

1.2 研究の背景

1.2.1 報知音の知覚に関する研究

1.1 節で報知音の役割を想像しやすいように一例を述べたが、報知音とは「使用者が製品を正しく使用するために情報を伝える目的で、製品から発せられる音」と定義されている [1]。この報知音は、多くの家電製品を始めとして、携帯電話、インターホン、カーナビゲーションシステム、電車の発進時のベル、パトカーのサイレン等、様々な環境で利用されている。そして近年、これらの機器の多機能化・高機能化に伴って、報知音の使用頻度は増加傾向にあると考えられる。ところが、様々な機器で多くの報知音を利用することで、他の報知音と混同して知覚してしまうという問題点も生じている [2]。そこで、最近ではユニバーサル・デザインの考え方が取り入れられるようになり、様々な目的に沿った報知音を設計するための研究が盛んに行われている [3, 4, 6, 7]。例えば、水浪らによると報知音の ON/OFF の時間パターンにより、注意音と知覚されるものから、終了音と知覚されるものまで、与える印象が異なることが報告されている [8]。自動車に使われる報知音も様々なものがあるが、報知音が人に与える印象も報告されいる [5]。

このように、報知音は多くの機器で利用されていることから、各々の機器や目的に適した報知音の設計が試みられている。そして、報知音を呈示するにあたり、報知音の使用意図を機器の使用者に正確に知覚させることが重要である。しかし、実環境で報知音を呈示する場合、雑音によってマスクされる問題を解決しなければならない。そこで、次に雑音中の音知覚に関する研究について述べる。

1.2.2 雑音中の音知覚に関する研究

一般的に、報知音は実環境において利用されることから、雑音中の報知音の知覚特性について考察する必要がある。そこで、雑音中で音を知覚する場合、雑音によって聞こうとする音がマスクされてしまうような状況が最も大きな問題点として考えられる。聞こうとする音がマスクされる例として、混雑した駅やデパートなどでは、友人との会話が困難になったり、館内放送が聞き取りにくくなったりする状況が挙げられる。このように、マスクされてしまうような状況が生じると音声や音 (報知音) の知覚が困難になり、特に危険や注意を促すような状況では深刻な問題を引き起こす恐れがある。

マスキング量を軽減させる現象の一つとして、Spatial release from masking (SRM) が Saberi らによって報告されている [9]。SRM (図 1.1 参照) とは、信号音と同方向から到来する雑音 (マスカー) によるマスキング量に対して、信号音と雑音の到来方向が異なる場合、マスキング量が減少する現象である。言い換えると、二つの音源の到来方向の違いによって、マスキング量が変化する現象である。この SRM は両耳聴知覚によって生じ、カクテルパーティー効果を引き起こす要因の 1 つでもある [10]。例えば、Peissig と Kollmeier は、雑音源の数と目的音の種類 (純音と音声) に着目している。そこでは、雑音源が 1 つである場合に大きな SRM が生起し、雑音源が増えると SRM は生起しにくくなることが報

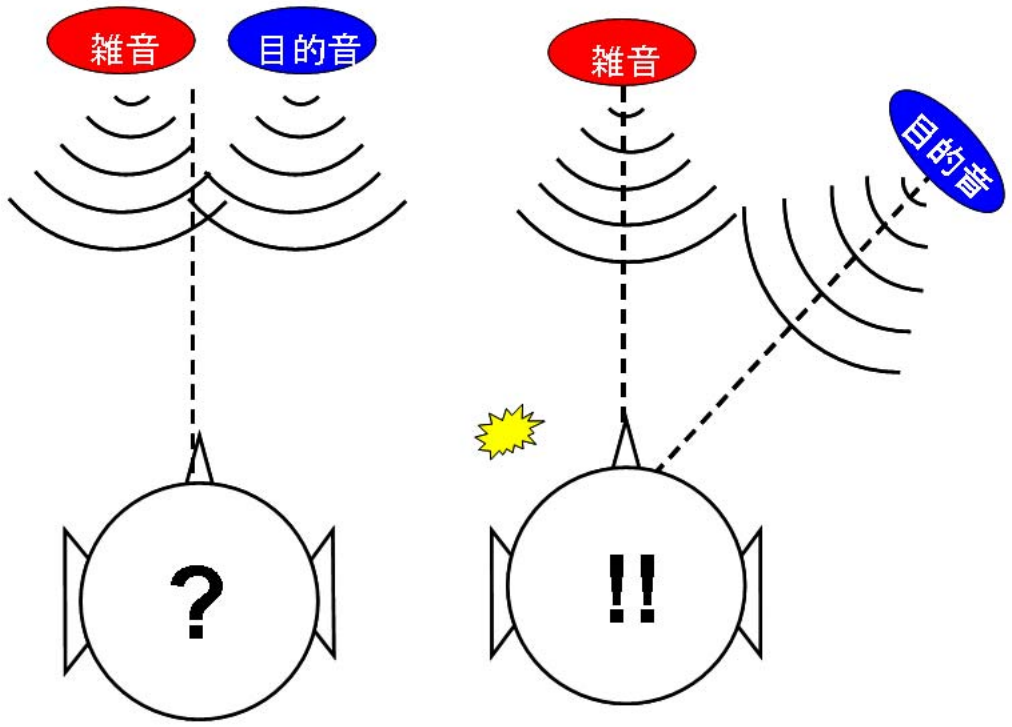

図 1.1: SRM のイメージ図。左側が雑音と目的音 (信号音) が同方向から到来する様子で、右側がその両者が異なる方向から到来する様子を表す。

告されている [11]。また、目的音に純音と音声を用いた場合、雑音源が 1 つの場合では目的音が音声よりも純音の方がマスキング量が減少し、雑音源が 2 つ以上の場合では目的音に音声を用いた方がマスキング量が減少することも報告されている [10, 11]。さらに、目的音と妨害音の性質が異なるほど低い閾値が得られると報告しているものもある [12, 13]。ただし、これらの研究のほとんどは、目的音として純音や音声を用いている。SRM と報知音を絡めた研究は中西らの研究 [14, 15] のみである。

以上、雑音中に報知音を呈示する際の雑音によるマスキング現象の問題解決案の一つとして、SRM を取り上げた。次に報知音と SRM を絡めた研究をした中西らの研究について述べる。

1.2.3 中西らの研究

先ほど 1.2.2 節で述べたが、SRM の信号音に報知音を対象とした研究として中西らの研究がある。先行研究において中西らは、SRM を利用すれば、実環境において、報知音がマスクされにくい、報知音源と雑音源の位置関係が存在すると考えた。この SRM は両耳

聴の両耳間時間差 (Interaural Time Difference:ITD) と両耳間レベル差 (Interaural Level Difference: ILD) が依存している [20]。一方で SRM は Saberi らが示した現象であるが、彼らの実験では信号音としてパルス音、マスカーとして白色雑音が用いられ、音呈示にスピーカーが利用された。このため Saberi らの実験では、SRM において、ITD や ILD の手掛かりの他に暗騒音や残響の影響が知覚特性に複雑に絡み合っている可能性がある。そこで中西らはまず始めに、方向定位の手掛かりの一つでもある ITD に着目し、SRM において ITD の手掛かりを個別に切り分けて調べることを試みた。そこで中西らは防音室で、音呈示にヘッドホンを利用した。中西らはヘッドホン条件で Saberi らの実験を再現した。まず中西らは白色雑音中のパルス音 (Saberi らが用いたものと類似) の ITD を変化させた場合のマスキング閾値を測定した。その結果、SRM は ITD のみを手掛かりに生起することが示された。同様の方法で、報知音の場合では、SRM は ITD と報知音の成分周波数の IPD (Interarual Phase Difference: IPD) を手掛かりに生起することが示された。

一方で、本研究で対象とする報知音の呈示方法を考察するためには課題も残されている。まずは報知音の知覚特性において、得られたデータの有意性が明らかにされていない。また成分周波数によって、ITD と IPD の手掛かりのうち、どちらかに依存して SRM は生起するのかが明らかにされていない。SRM に大きく影響を与える ITD と ILD の手掛かりのうちで、報知音と ILD を絡めた議論がされていない。またマスカーとして白色雑音を用いた場合は中西らによって議論されてきたが、マスカーとして自動車走行雑音を用いた場合も SRM は生起するかは明らかにされていない。さらに、雑音源の到来方向は被験者の正中面を想定しているが、車室内において雑音源の到来方向はドライバーの正中面だけではないので、他の到来方向の雑音源を考慮する必要がある。

1.3 本研究の目的と手法

本研究の背景で示した通り、報知音は使用意図を機器の使用者に正確に知覚させることが重要である。さらに、実環境において報知音を正確に知覚させるためには、雑音中の報知音の知覚特性と報知音が人に与える印象について考察しなければならない。この二つを考察することで、雑音に影響しにくく気付きやすい報知音の設計ができると考えられる。本研究では特に前者に重点を置く。そこで、マスキング量を軽減させる現象の一つとして、SRM を取り上げた [9]。さらに本研究の先行研究にあたる、中西らの研究を取り上げた [14, 15]。

本研究では、様々な実環境の中で、自動車の車室内に着目した。この理由として、先行研究で中西らは雑音中の報知音のマスキング閾値を調べたが、雑音の到来方向は被験者の正中面を想定していた。しかし、実環境で人の動きは予測できないため、雑音の到来方向はその人の正中面とは限らない。雑音の到来方向が報知音の知覚特性に大きく影響する場合、人が向いている方向が重要になるため、SRM を利用できないリスクを考える必要がある。しかし、自動車を運転しているとき、その使用上、ドライバーは正面を向いて運転しなければ事故に繋がるため、常に正面を向かなければならない状況にある。従って、ド

ライバーは常に正中面を向いていると仮定して、そのときの報知音のマスキング閾値を測定することで、マスクされにくい報知音の呈示方法を考察する

報知音の成分周波数、報知音の呈示場所、報知音の刺激パターンが知覚に大きく影響することから、本研究ではこの３つを考慮した、効果的な報知音の呈示方法を考察する。この問題を解決するために次の節の本論文の構成でその手順を示す。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。第 3, 4 章ではマスカーとして白色雑音を用いた場合のことを述べている。第 5 ～ 8 章はマスカーとして自動車走行雑音を用いた場合のことを述べている。第 3 ～ 6 章は報知音の成分周波数と設置場所に関する議論であり、第 7, 8 章は報知音の刺激パターンに関する議論である。

第 2 章　できるだけ雑音に影響されにくく、気付きやすい報知音の設計や呈示方法に対して提言を行うためには、報知音のマスキング閾値を測定する必要がある。本研究では色々な状況を想定して、問題を単純化して考えている。そこで、本章では報知音のマスキング閾値の測定の全体的な枠組みについて詳しく述べ、本研究の扱う領域を述べる。

第 3 章　先行研究で明らかにした知見が、本研究の問題を議論するのに重要になる。そこで、先行研究の実験条件、パルス音の知覚特性、報知音の知覚特性をを詳しく述べる。

第 4 章　先行研究で白色雑音中の報知音の知覚特性を調べた結果、SRM は ITD と IPD を手掛かりに生起することが明らかにされたが、成分周波数によっては ITD と IPD のどちらかに依存するのか議論する。

第 5 章　本研究では、車室内において SRM を利用した報知音の呈示方法を考察する。そこで、マスカーとして自動車走行雑音を用いた報知音の知覚特性において、SRM が生起するのか明らかにする。そこで、先行研究との対比によりこれを議論する。

第 6 章　車室内においては、様々な方向から雑音の到来が予想される。そこで、マスカーとして自動車走行雑音を用いて、雑音の到来方向を考慮した報知音の知覚特性を測定する。

第 7 章　報知音の ON/OFF のパターンを変えた場合の、知覚特性の測定を調べることで、SRM における刺激パターンの変化の影響を調べる。

第 8 章　マスカーとして自動車走行雑音を用いた場合に、ITD のみの手掛かりで SRM が生起するか議論する。

第 9 章　研究の総括、報知音の呈示方法に対する提言、今後の展望を述べる。

第2章　報知音のマスキング閾値の測定方針

2.1　マスキング閾値の測定全体の枠組み

図 2.1 に、マスキング閾値の測定全体の枠組みと、本研究で扱う領域を示す。報知音の使用環境を考慮すると、マスキング閾値の測定は実環境で行うことが望ましい。しかし、実環境下では周囲の残響や暗騒音の影響が知覚特性に含まれるため、知覚特性に対するそれらの影響を個別に調べることは難しい。そこで、実験の枠組みを縮小し、段階的に考察していくことで、報知音の知覚特性を明らかにしていく。実験の枠組みに関して以下の (1)∼(5) に示す。本研究では、特に (1) のマスキング閾値の測定方針に従う。その理由については次の節で述べる。(1)SRM は、ITD と ILD が大きく影響している [20]。そこでまず、ITD と ILD の影響を個別に調べるために、防音室内でヘッドホン受聴により実験を行う。ヘッドホンを使用することで、周囲の暗騒音や残響の影響を遮断することが可能である。また、呈示する刺激音を容易に制御できるという利点もある。(2) 次に、刺激音に頭部伝達関数 (Head Related Transfer Function : HRTF) を畳み込み、仮想空間に音源を配置した状況 (頭外定位) で知覚特性の測定を行う。これにより、(1) で求めた頭内定位の知覚特性と頭外定位の知覚特性の差について議論することができる。(3) さらに、防音室内でスピーカによる刺激音呈示を行ったときの知覚特性を測定し、(4) 最後に実環境下でスピーカによる刺激音呈示を行ったときの知覚特性を測定することで段階的に知覚特性を調べることができる。(5) 最終的に自動車の車室内において、従来の報知音の呈示法で実際に報知音を呈示した場合と、新しく提言された報知音の呈示法で実際に報知音を呈示した場合で評価を行なう。これによって、提案した報知音の呈示法が以下に車室内のような雑音環境に頑健であるか議論できる。

2.2　本研究におけるマスキング閾値の測定方針

本研究では、上記に示した報知音のマスキング閾値の測定の全体の枠組みの中から、(1) に焦点を当てて、さらに詳細に議論する。この理由として、先行研究において中西らは、ITD と ILD の手掛かりは、SRM のみならず方向定位においても用いられていることから、まず ITD を中心とした知覚特性の測定を行い議論した。中西らはマスカーとして白色雑音を用いたが、本研究ではマスカーとして自動車走行雑音を用いる。白色雑音と自動車走

行雑音のスペクトルの違い (第 5 章において詳しく述べる) があるため、大きく条件を変えた場合、得られた知覚特性は何が要因となって SRM が生起するかを考察することは困難になる。そのため本研究においても ITD を中心とした知覚特性の測定を行い議論する。条件を少しずつ変えていくことで、マスクされにくい報知音の条件が解明されることが期待できる。

まず始めの予備実験として、マスカーに白色雑音を用いた場合の報知音のマスキング閾値を調べる。このマスキング閾値を詳しく調べることで、白色雑音と自動車走行雑音における知覚特性の違いを議論できる。

次に本実験として、マスカーに自動車走行雑音を用いた場合の報知音のマスキング閾値を調べる。ITD の設定は信号音に対して、また雑音に対してと両方の音源に ITD を設定する。どちらか一方に ITD を設定した場合、ITD を設定していない音源は正中面に固定する。これらのマスキング閾値を測定する。

これにより、車室内において雑音の到来方向を考慮した、報知音の効果的な呈示法を議論できる。

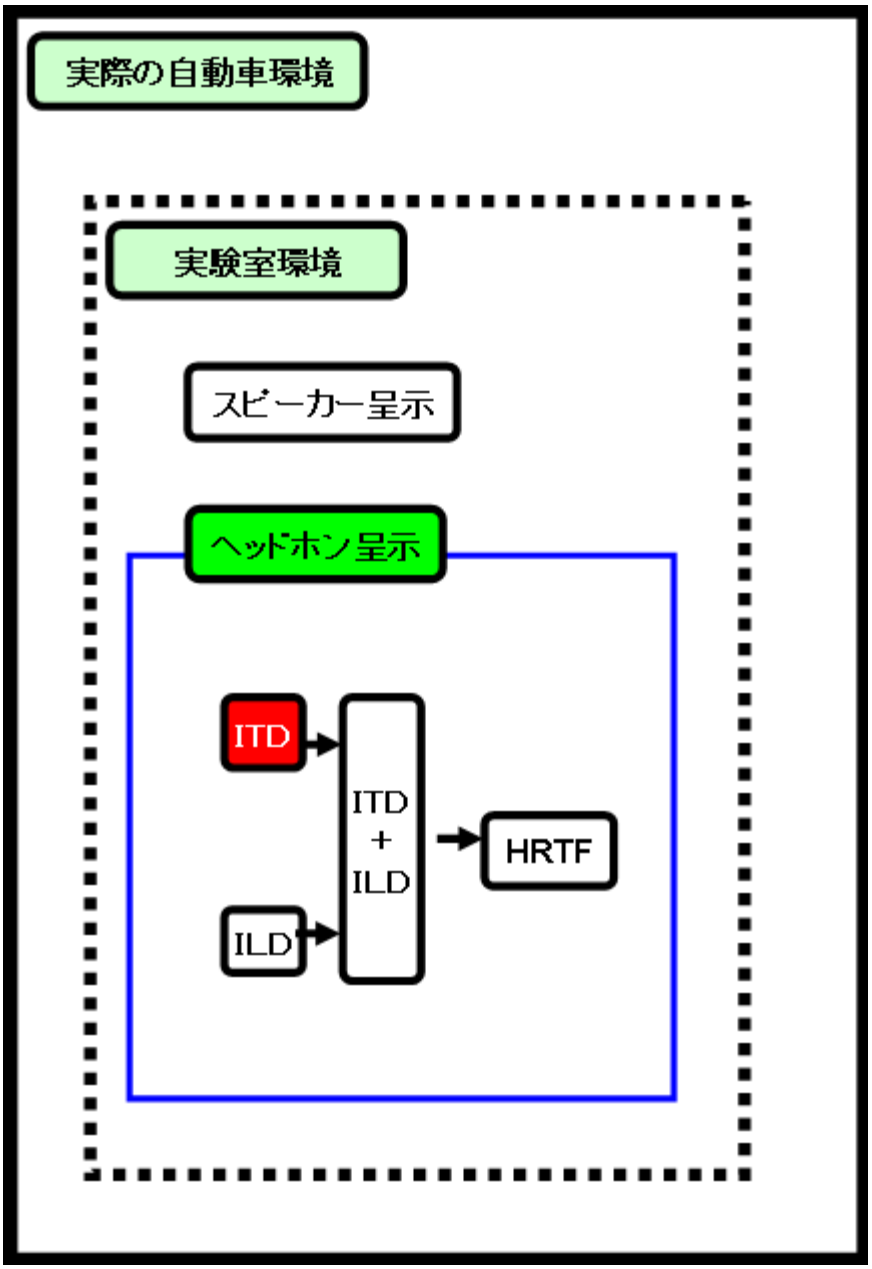

図 2.1: マスキング閾値の測定全体の枠組みと本研究で扱う領域 (本研究は赤い部分で示した ITD の領域である)

第3章　白色雑音におけるパルス音と報知音の知覚特性

この章の構成は、3.1 節では信号音としてパルス音を用いた場合に、ITD の影響を述べる。3.2 節では信号音として報知音を用いた場合に、ITD と IPD の影響を述べる。ところで、この章では 3.1 節、3.2 節のマスキング閾値の測定は先行研究で中西らが明らかにしたものである。第 5 章以降において、考察のために重要になってくるため、本論文において詳しく紹介することとする。ただし、3.2 節のマスキング閾値に関しては、先行研究において統計的有意性までは明らかにできかったため、本研究で追試実験を行い統計的有意性を確認した。

3.1　パルス音の知覚特性

3.1.1　目的

SRM は ITD と ILD が大きく影響する [20] ことから、SRM に ITD がどれほど寄与するのかを調べることを目的とする。そこで、文献 [9] で Saberi らが用いたパルス音と類似したパルス音を用いることで、知覚特性が彼らと同様の傾向を示すかどうか調べる。

3.1.2　被験者

被験者は 23 ∼ 32 歳の大学院生 8 名 (男性 7 名、女性 1 名) である。全ての被験者は、可聴域 (125 Hz ∼ 8 kHz のオクターブ周波数) において、両耳共に 15 dB HL 以下であるため、正常な聴力を有している。また、被験者は過去に他の聴取実験を受けた経験がある。

3.1.3　両耳間時間差の設定

報知音は多くの機器に用いられているが、その機器を使用する人間は、常に機器と対面しているとは限らない。そこで中西らは、音源の配置は、雑音源を正中面に固定し、信号音源が移動するように設定した。そのため、中西らは ITD は信号音のみに適用した。

図??に角度 θ から到来する音による ITD を示す。一般に、ITD は式 3.1 により算出できる。ここで、r: 頭の半径 (m)、θ: 音の到来方向 (radian)、c: 音速 (m/s)、d: 両耳の経路

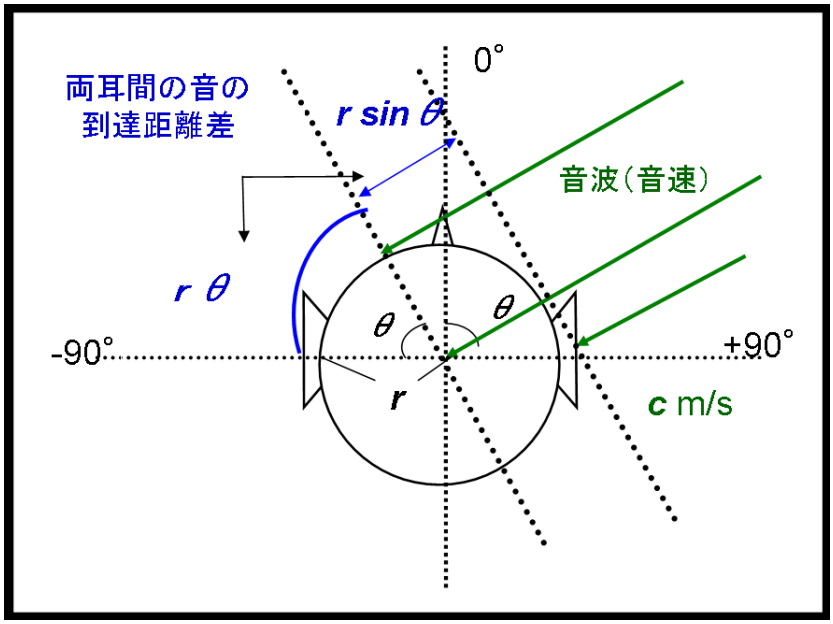

図 3.1: ITD の説明図。音が角度 θ の方向から到来する場合、両耳間で音の到達距離差 $(r\theta + r\sin\theta)$ がある。この距離の差を音速 (c) で割った時間が ITD である。

差 (m) である。頭の半径は 9 cm、音速は 343.5 m/s として計算した。正中面を 0 度とした場合に、被験者の右側に信号音源が移動するように、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度として設定した。また、表 3.1 に各角度における ITD および、サンプリング周波数を 48 kHz としたときの ITD に対応したポイント数 (サンプル数) を示す。なお、以降の信号音と雑音の位置関係は、S_0N_0、$S_{15}N_0$、$S_{30}N_0$、$S_{45}N_0$、$S_{60}N_0$、$S_{75}N_0$、$S_{90}N_0$ と表現することとする。より簡潔に $S_mN_0 (m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90)$ と表現することとする。例えば、$S_{30}N_0$ は、信号音 (S) の到来方向が 30 度、雑音 (N) の到来方向が 0 度を示す。

$$\left\{ \ \mathrm{ITD} = \frac{d}{c} = \frac{r}{c}(\theta + \sin\theta), d = r\theta + r\sin\theta, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \right. \tag{3.1}$$

3.1.4 実験システム

図 3.2 に、実験システムを示す。実験は防音室内で行った。刺激音は、被験者がノート PC 上に構築されたアプリケーションを操作することで呈示される。このアプリケーションは、実験を円滑に行うもので、刺激音呈示用サーバである Linux とシリアル通信を行うことで刺激音呈示を要求できる。また、被験者の回答を記録することにも利用した。

表 3.1: 各角度における ITD および対応するポイント数 (サンプリング周波数 48 kHz)

角度 (度)	ITD(ms)	ポイント数
15	0.136	7
30	0.268	13
45	0.391	19
60	0.501	24
75	0.596	29
90	0.674	32

3.1.5 実験手続き

実験は精神物理学的測定法の一つである極限法を利用して行った [21]。実験開始時の信号音と白色雑音の呈示音圧は 65 dB SPL となるようにキャリブレーションした。そして、実験中の白色雑音の呈示音圧は 65 dB SPL に固定し、信号音の呈示音圧は 1 dB ずつ変化させた。被験者は呈示された刺激音に対し、雑音中に信号音が「聞こえる」、「聞こえない」で判断させられた。また、極限法は、高い音圧から低い音圧に向かって刺激が変化する下降系列と、低い音圧から高い音圧へと変化する上昇系列を交互に被験者に呈示する方法である。下降系列の場合、報知音の実験開始音圧は、確実に「聞こえる」範囲からランダムに選択した。上昇系列の場合、報知音の実験開始音圧は、確実に「聞こえない」範囲からランダムに選択した。また、白色雑音中の報知音の呈示開始位置は、被験者に予測されないように、ランダムに変化させた (図 3.3 参照)。そして、上昇系列、下降系列をそれぞれ 10 回ずつ行い、各系列の平均値の差が 2 dB 以内である場合、全ての測定値の平均値を閾値とした。そして、S_0N_0 における閾値を 0 dB として、得られた閾値を相対的に表した。

3.1.6 刺激音

パルス音は、毎秒 100 回の割合で呈示される 62.5 μs 幅の矩形クリックから成る音とし、1 秒間とした。図 3.4 にパルス音の概略図を示す。ここで用いるパルス音は、ITD のみが設定してあり、その他の両耳情報 (IPD および ILD) はないものとして考えられるように設計してある。雑音には 2 秒間の白色雑音を用いた。サンプリング周波数は、全て 48 kHz である。

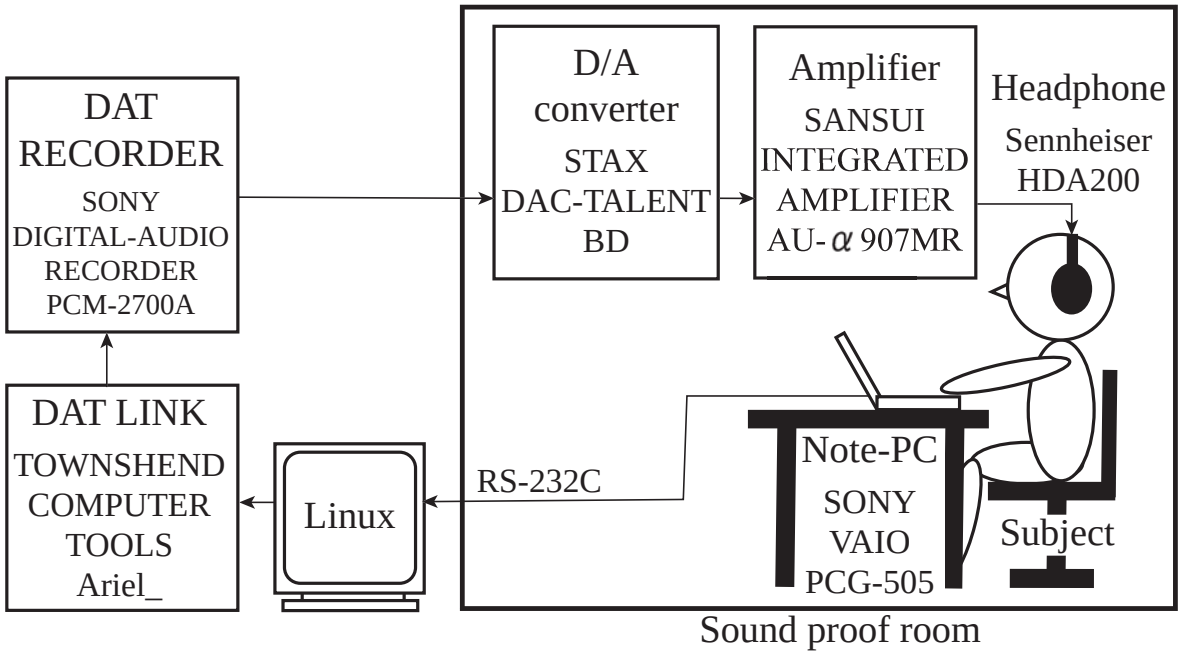

図 3.2: 実験システム

3.1.7 実験結果および考察

図 3.6 に、パルス音を用いた場合の被験者全体の平均結果と標準偏差を示す。図より、被験者一様に信号音は右側に移動するにつれてマスキング閾値が低下する傾向を示した。この結果は Saberi らが自由音場で得た知覚特性と同様の傾向である [9]。また彼らが報告した最大マスキング解除量は $S_{90}N_0$ で約 15 dB であったが、ITD のみを手掛かりにする中西らの実験では、平均で 7.6 dB という大きなマスキング解除量を得た。以上より、ITD のみの変化によっても SRM が生起することが示された。また、$S_{90}N_0$ において平均で 7.6 dB という大きなマスキング解除量が得られたことから、SRM における ITD の重要性も示された。これにより、正中面からの雑音のパワーが最も大きい様な状況で信号音を呈示する場合、できるだけ大きな ITD を設定すると良いことが示された。

3.2 報知音の知覚特性

3.2.1 目的

報知音を用いた場合にも SRM が生起するかを明らかにする。ここで、信号音に報知音を用いて ITD のみを設定すると、同時に成分周波数による IPD も生じていると考えられる。そのため、被験者には ITD のみならず IPD の手掛かりも与えていることとなる。そこで、報知音の ITD と IPD を手掛かりとしたときに、それぞれの手掛かりが知覚特性に

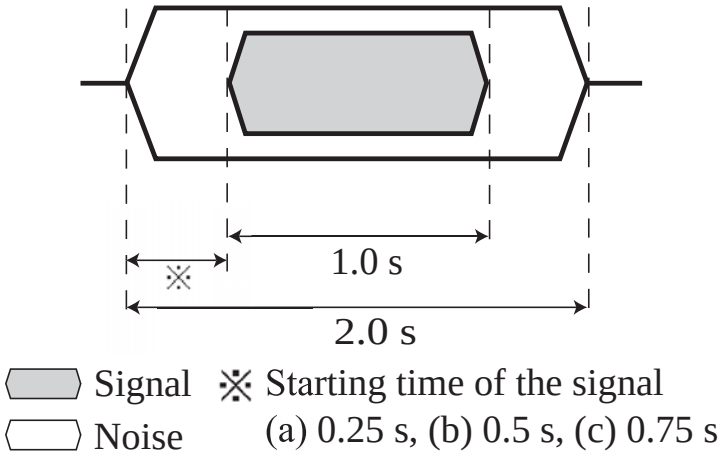

図 3.3: 雑音が 2 秒間呈示にされている間に信号音が 1 秒間なっている状況を示したもの。信号音の呈示開始時刻は (a)、(b)、(c) の時間だけランダムに遅らせる。

どのような影響を与えるか調べる。まず、報知音の成分周波数は約 2 kHz が良いとされているが、一般に ITD による純音の方向定位能力は、1.5 kHz 付近で低下するとされている [17]。そこで、成分周波数が 2.0 kHz の報知音以外に、1.5、2.5 kHz の報知音も用いることで、ITD による方向定位能力と SRM に関連があるか議論する。さらに、純音の方向定位は、周波数が 1.5 kHz 以下では IPD、1.8 kHz 以上では ILD を主に手掛かりとして方向定位を行うことが知られている [17]。そこで、ITD を手掛かりとして SRM が生起する上で、IPD の手掛かりは知覚特性にどのような影響を与えるか議論する。

3.2.2 被験者、両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き

3.1 節と同様である。

3.2.3 刺激音

報知音は、報知音に関する設計指針 JIS S 0013[1] より最も注意音として知覚されるものを用いた (ON/OFF の時間パターン: ON/OFF= 100 ms/ 50 ms) s)[8]。報知音の成分周波数は 1.5、2.0、2.5 kHz とした。報知音は、立ち上がりと立ち下がりの部分に 10 ms の傾斜がつけてあり、すべて 1 秒間である。図 3.7 に実験に用いた報知音の例を示す。また、雑音には第 3 章と同様の 2 秒間の白色雑音を用いた。サンプリング周波数はすべて 48 kHz である。ITD は、3.2 節と同様に報知音のみに設定した。

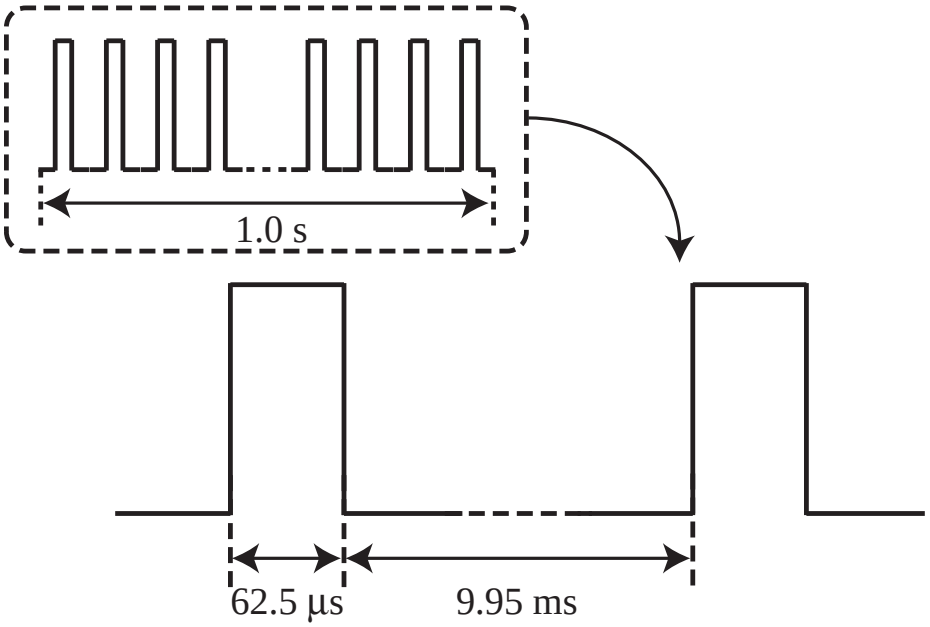

図 3.4: パルス音の概略図

3.2.4 実験結果

図 3.8 に、成分周波数が 1.5 kHz の報知音によるマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は $S_{45}N_0$ のときに最大で約 1.5 dB 減少した。また、S_0N_0 から $S_{45}N_0$ にかけては減少傾向、$S_{45}N_0$ から $S_{90}N_0$ にかけて上昇傾向を示した。さらに、S_0N_0 におけるマスキング閾値は、$S_{90}N_0$ でのマスキング閾値と近い値を示した。

図 3.9 に、成分周波数が 2.0 kHz の報知音によるマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{30}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{30}N_0$ から $S_{60}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては減少傾向を示した。

図 3.10 に、成分周波数が 2.5 kHz の報知音によるマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{15}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{15}N_0$ から $S_{45}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{45}N_0$ から $S_{75}N_0$ 付近にかけては減少傾向、$S_{75}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示した。

3.2.5 考察

成分周波数を変化させた報知音を用いてマスキング閾値の測定を行なった結果、SRM が生起したことを確認することができたが、パルス音を用いて得られた知覚特性とは異なる様相を示した。また、成分周波数ごとの知覚特性も様相も大きく異なった。これについては、両耳マスキングレベル差 (Binaural Masking Level Difference:BMLD) によって

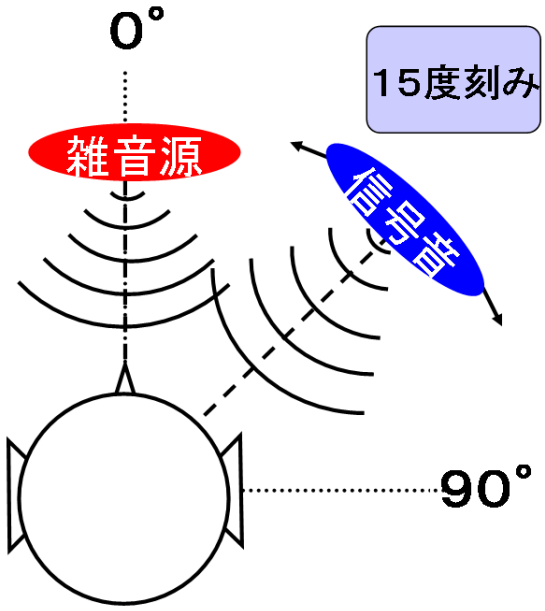

図 3.5: 信号音に ITD を設定した場合の実験様子図。雑音を被験者の正中面に固定し、信号音は正中面から 90 度まで 15 度刻みで移動させる。

説明できる。両耳マスキングレベル差とは、両耳に同位相の白色雑音と純音が混合されて呈示されるときの純音のマスキング閾値を ML_0 dB、同位相の白色雑音と逆位相の純音が混合されて呈示されているときの純音のマスキング閾値を ML_π dB とすると、この二つのレベル差 (dB) として知られている。その値は低い周波数 (500 Hz 付近) で最大 15 dB 程度、1.5 kHz 以上の周波数では、2 ～ 3dB となる。ここで、成分周波数が 1.5 kHz の報知音について考えると、サンプリング周波数は 48 kHz であることから、成分周波数 1.5 kHz の正弦波の 1 周期は約 0.67 ms である。この時間は、$S_{90}N_0$ における ITD と同様である。言い換えると、$S_{90}N_0$ では、報知音の位相が両耳間でちょうど 1 周期ずれた状態で刺激音が呈示されているということである。そのため、両耳間で報知音が同位相の状態に極めて近くなった (以降、同位相条件と呼ぶ) ことから高い閾値を得たと考えられる。同様に、$S_{45}N_0$ においては、両耳間で報知音の位相が半周期ずれた、逆位相の状態に極めて近くなった (以降、逆位相条件と呼ぶ) ことから低い閾値を得たと考えられる。これは、報知音の成分周波数が 1.5 kHz 以外の場合からも同様のことが言える。成分周波数が 2.0 kHz の報知音では、2.0 kHz の正弦波の 1 周期は約 0.5 ms である。この時間は $S_{60}N_0$ における ITD と同様である。そのため、$S_{60}N_0$ では両耳間で報知音が同位相条件、$S_{30}N_0$ と $S_{90}N_0$ ではおおよそ、逆位相条件となっており、それぞれ高い閾値および低い閾値を示している。成分周波数が 2.5 kHz の報知音では、2.5 kHz の正弦波の 1 周期は 0.4 ms である。この時間は、$S_{45}N_0$ における ITD とおおよそ同様である。$S_{45}N_0$ では両耳間で同位相条件、$S_{15}N_0$ と $S_{75}N_0$ では両耳間でおおよそ逆位相条件となっていおり、それぞれ高い閾

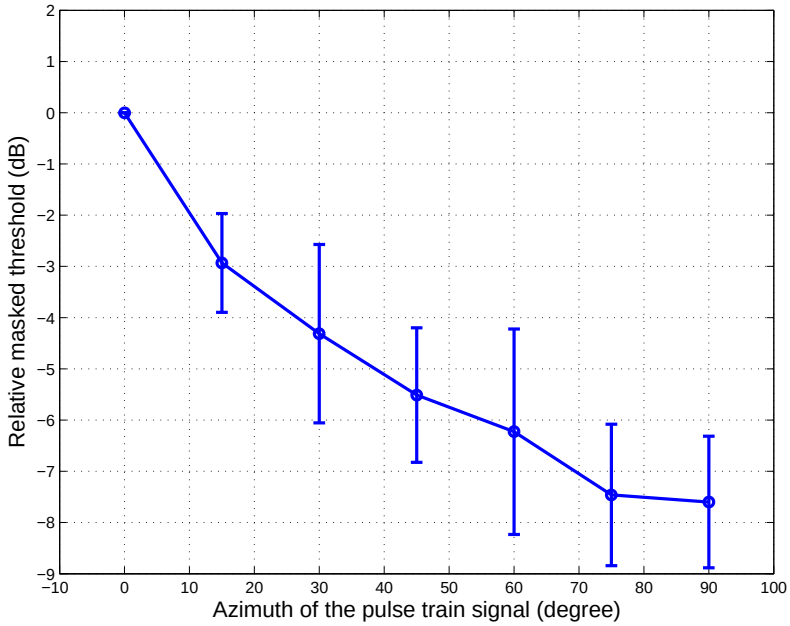

図 3.6: パルス音の S_mN_0 条件のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

値および低い閾値を示している。

以上より、報知音の成分周波数の違いにより異なる知覚特性を示した原因は、両耳間に呈示される報知音の位相のずれ、つまり IPD であることが示された。そのため、パルス音から得られた知覚特性と様相が異なる原因も IPD によると言える。そのため、ITD のみの手掛かりならば、信号音が右側に移動するにつれてマスキング量は減少するが、IPD の手掛かりも加わると、ITD のみの場合ほど単純ではなく、刺激音を呈示する方向によっては、よりマスクされてしまう状況が生じてしまうということである。これにより、雑音中の報知音の知覚特性を考える場合は、報知音の成分周波数に着目し、IPD を考慮する必要があることが示された。

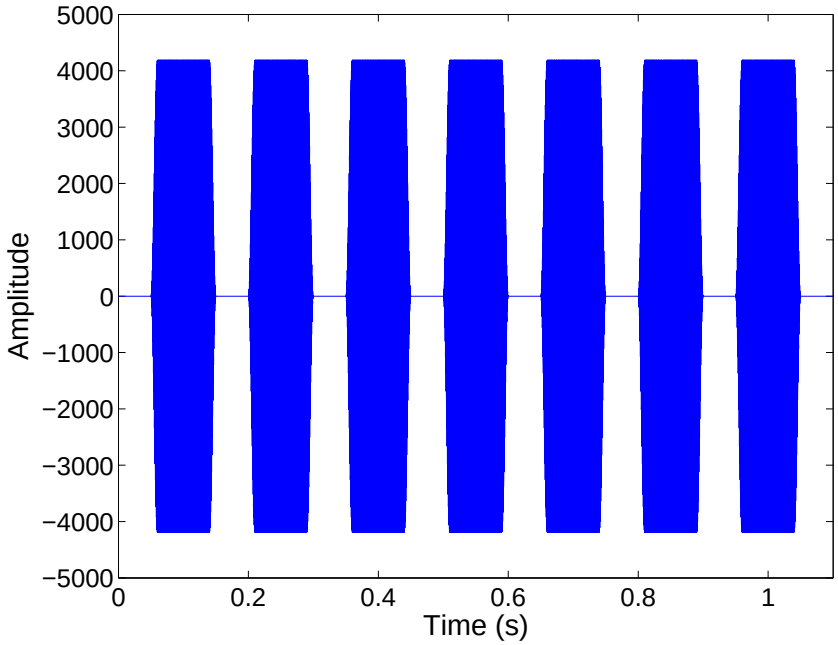

図 3.7: 実験に用いた報知音の例

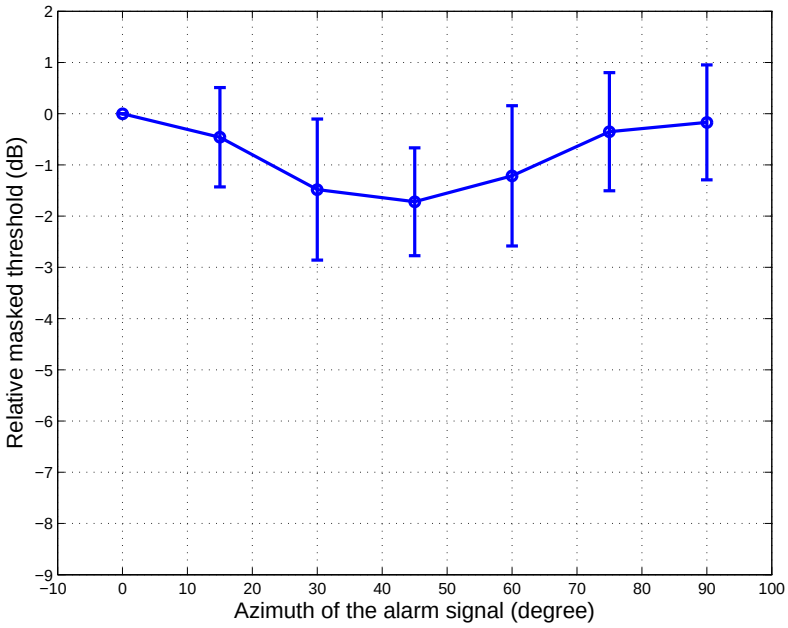

図 3.8: 1.5 kHz の報知音のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

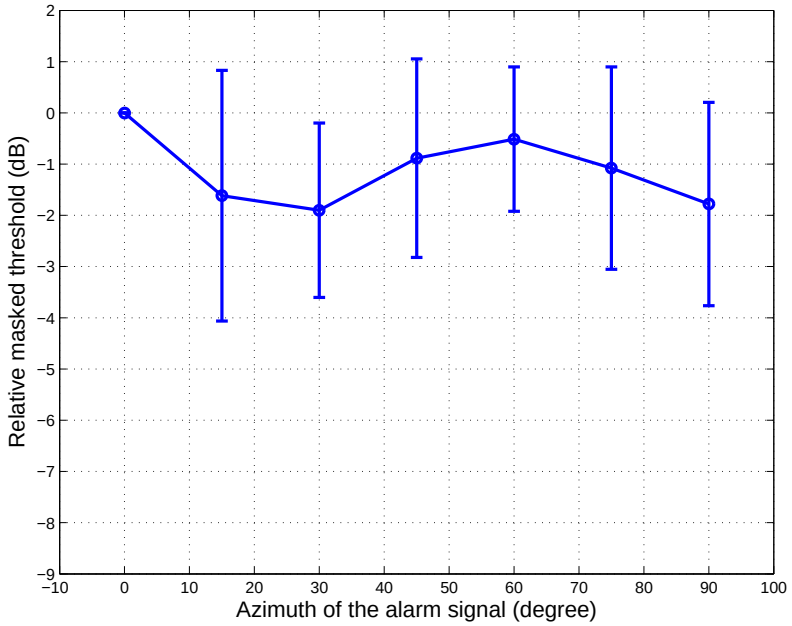

図 3.9: 2.0 kHz の S_mN_0 条件の報知音のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

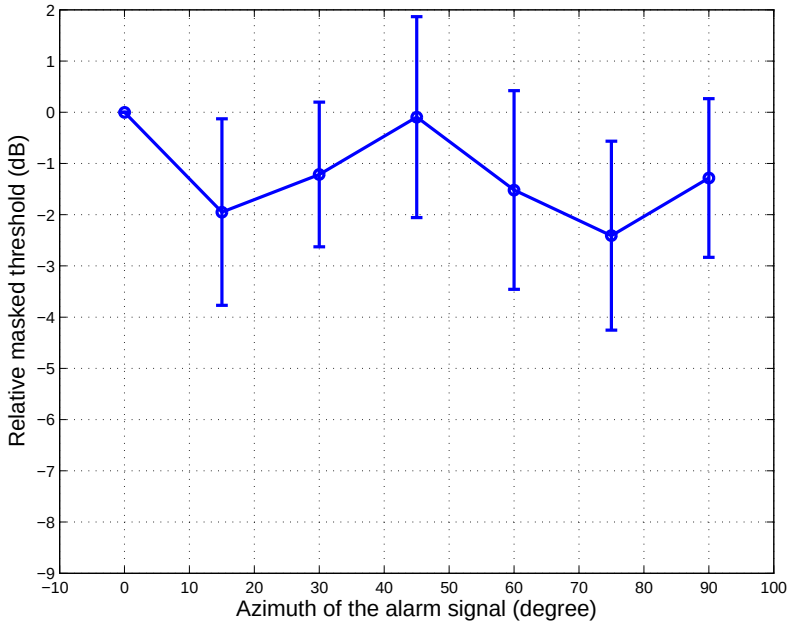

図 3.10: 2.5 kHz の S_mN_0 条件の報知音のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

第4章　報知音の成分周波数による両耳間時間差と両耳間位相差の影響

4.1　目的

先行研究で用いた成分周波数の報知音では、SRM は ITD と IPD を手掛かりに生起することが示されたが、成分周波数によってどちらの手掛かりが報知音の知覚に有意な手掛かりとなっているかは明らかにされていない。先行研究において低周波数 (1.5 kHz) では IPD、高周波数 (2.5 kHz) では ITD の影響が知覚特性に現れる可能性が示されたことから、周波数を拡張することにより、SRM における ITD と IPD の手掛かりを切り分けて考えることができるか議論する。そこで 1.0, 4.0 kHz の報知音を用いる。

4.2　被験者

被験者の人数は、23 ～ 26 歳の大学院生 5 名である。この被験者は第 3 章の被験者 8 名のうちの 5 名である。残り 3 名に関しては卒業してしまったため、実験の協力を得られなくなった。

4.3　両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き

第 3 章と同様である。

4.4　刺激音

3.2 節と同様である。

4.5　実験結果

図 4.1 に、成分周波数が 1.0 kHz の報知音によるマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は $S_{60}N_0$ のときに最大で約 7.0 dB 減少した。また、S_0N_0 から $S_{60}N_0$ にかけては減少傾向、$S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ にかけて上昇傾向を示した。

図 4.2 に、成分周波数が 4.0 kHz の報知音によるマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 1.2 dB 減少した。減少・上昇傾向は、$S_mN_0, m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90$ にかけて入れ替わる様相を示した。

4.6 考察

成分周波数が 1.0 kHz の報知音では、1.0 kHz の正弦波の 1 周期は約 1 ms である。この正弦波の半周期の時間は $S_{60}N_0$ における ITD と同様である。そのため、$S_{60}N_0$ では両耳間で報知音が逆位相条件となっており低い閾値を示している。成分周波数が 4.0 kHz の報知音では、4.0 kHz の正弦波の 1 周期は 0.25 ms である。この時間は、$S_{30}N_0$ における ITD とおおよそ同様である。$S_{30}N_0$ と $S_{60}N_0$ では両耳間で同位相条件、$S_{15}N_0$ と $S_{45}N_0$ と $S_{75}N_0$ では両耳間でおおよそ逆位相条件となっていおり、それぞれ高い閾値および低い閾値を示している。以上から、知覚特性は ITD と IPD を影響を受けている。4.0 kHz のマスキング閾値を見てみると、同位相条件では同程度の閾値を示している。つまり、SRM は ITD と IPD を手掛かりに生起しているので、手掛かりを切り分けることはできない。一方で、1.0 kHz の報知音の場合では、最大マスキング解除量が 7.0 dB とかなりの解除量を得た。逆に、4.0 kHz の報知音の場合では、最大マスキング解除量が 1.2 dB と解除量が小さい。このことから、低い周波数 (1.0 kHz の報知音) では BMLD の効果が大きく、高い周波数 (4.0 kHz の報知音) では BMLD の効果が小さい。よって、大きなマスキング解除量を得たい場合は低い周波数を選択することが良いことが示された。

4.7 結論

報知音の成分周波数によって、ITD と IPD を切り分けて考えることはできない。

4.8 まとめ

パルス音を用いた場合、SRM は ITD のみを手掛かりに生起した。正中面からの雑音に対しては、$S_{90}N_0$ に信号音を設置するのが良い。報知音を用いた場合、SRM は ITD と IPD を手掛かりに生起した。そのため、パルス音のときほど単純ではなく、IPD も考慮しなければならない。また、大きなマスキング解除量を得たい場合は BMLD の効果を利用して低い成分周波数にすることが望ましい。さらに表 4.1、4.2 から 1.0 kHz の報知音は実際の測定値の閾値も低いため、白色雑音ではマスクされにくい。

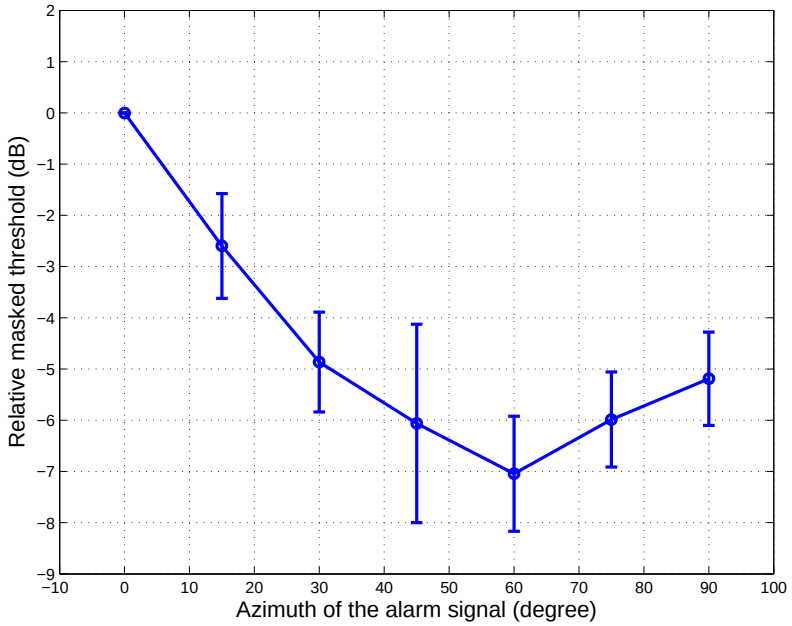

図 4.1: 1.0 kHz の S_mN_0 条件の報知音のマスキング閾値: 被験者 5 名に対する平均

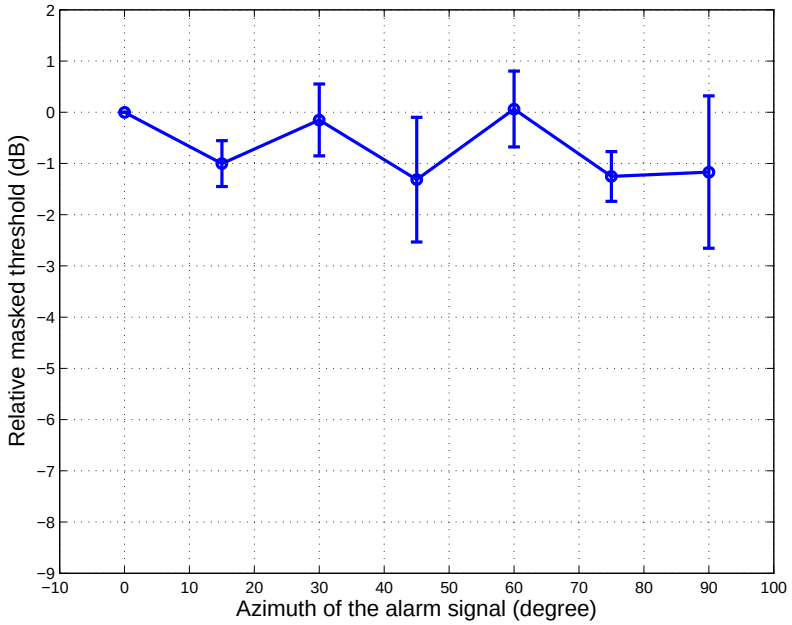

図 4.2: 4.0 kHz の S_mN_0 条件の報知音のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

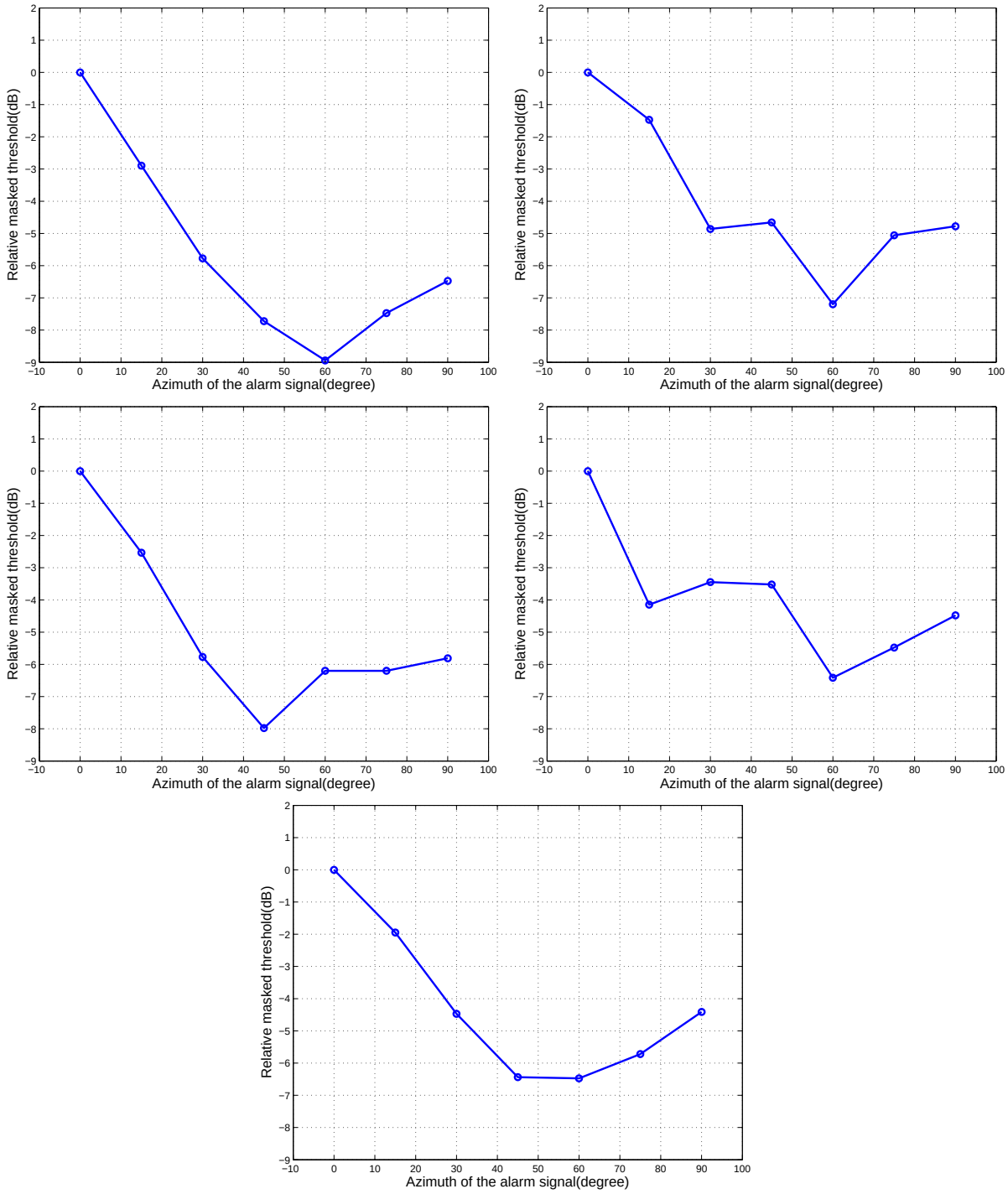

図 4.3: 1.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: D (左上), E (右上), F (左中), G (右中), H (下)

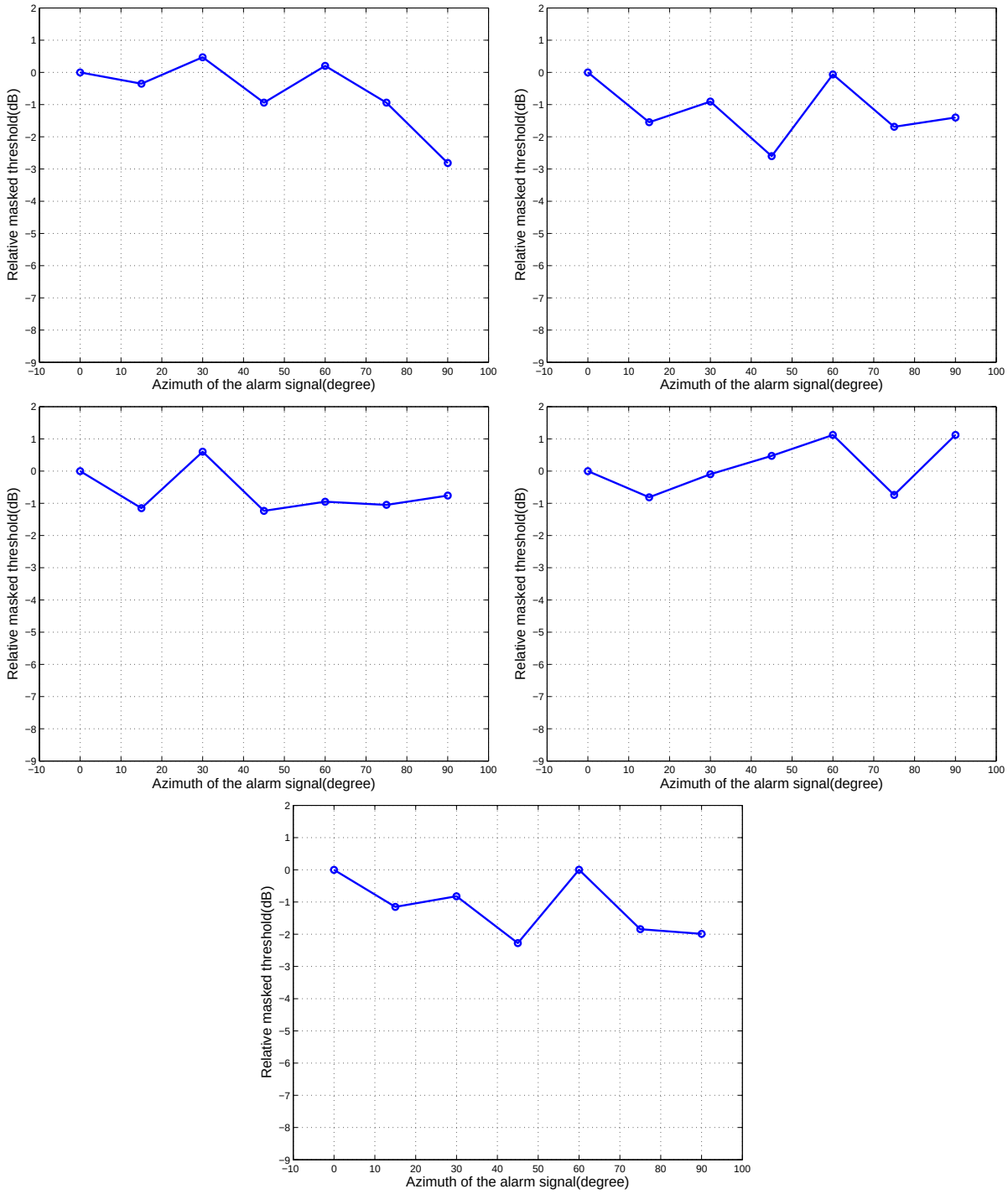

図 4.4: 4.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: D (左上), E (右上), F (左中), G (右中), H (下)

表 4.1: 被験者の正中面の測定値 (単位は dB)。

被験者	1.0 kHz	1.5 kHz	2.0 kHz	2.5 kHz	4.0 kHz	パルス音
平均	33.38	38.22	40.56	40.66	37.66	50.13
標準偏差	1.53	1.73	2.57	2.07	2.64	2.61
A		38.05	40.95	39.47		46.9
B		37.65	40.4	40.31		50.1
C		37.65	37.47	37.43		48.25
D	33.97	38.85	42.7	43.03	36.01	49.92
E	34.97	41.08	45.2	42.35	42.3	54.05
F	32.03	35.63	37.56	38.55	37.05	50.6
G	34.45	40	40.75	42.8	36.03	53.6
H	31.5	36.83	39.45	41.38	36.9	47.65

表 4.2: 被験者の最大マスキング解除量を得た角度の測定値 (単位は dB)。

被験者	1.0 kHz(60 度)	1.5 kHz(45 度)	2.0 kHz(30 度)	2.5 kHz(75 度)	4.0 kHz(75 度)
平均	26.34	35.95	38.34	37.82	36.41
標準偏差	1.31	1.95	2.35	1.74	2.13
A		36	38.65	38.44	
B		35.05	36.88	37.33	
C		35.47	37.13	37.56	
D	25.03	35.79	39.7	37.25	35.09
E	27.77	39.34	42.45	38.6	40.61
F	25.83	33.03	34.62	35.56	36
G	28.03	38.56	40.6	41.65	35.29
H	25.03	34.39	36.69	36.17	35.06

第5章　自動車走行雑音中の報知音の知覚特性

5.1　目的

まず白色雑音と自動車走行雑音の主な違いは、白色雑音のスペクトルは一定なのに対し、自動車走行雑音のスペクトルは低域側が大きく高域側が小さい、ピンクノイズに近い性質がある。まずはこのような雑音の性質に違いがあった場合にも、SRM が生起するかを明らかにする。そこで、白色雑音中の報知音の知覚特性と対比するために、S_mN_0 条件の報知音の知覚特性を調べる。

5.2　被験者

被験者は 23 ～ 26 歳の大学院生 12 名 (男性 10 名、女性 2 名) である。全ての被験者は、可聴域 (125 Hz ～ 8 kHz のオクターブ周波数) において、両耳共に 15 dB HL 以下であるため、正常な聴力を有している。また、被験者は過去に他の聴取実験の経験がある。実験時間の関係から、成分周波数ごとに被験者を何人か振り分けた。

5.3　両耳間時間差の設定、実験システム、実験手続き

第 3, 4 と同様である。

5.4　刺激音

第 3, 4 章の報知音と同様である。報知音の成分周波数は 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 4.0 kHz を用いた。また自動車走行雑音は、60 km/h 走行で窓を開けた状態で録音された雑音である。

5.5　実験結果

図 5.1 に、成分周波数が 1.0 kHz の報知音による S_mN_0 条件のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は $S_{60}N_0$ のときに最大で約 8.7 dB 減少した。また、S_0N_0 から $S_{60}N_0$

にかけては減少傾向、$S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ にかけて上昇傾向を示した。

図 5.2 に、成分周波数が 1.5 kHz の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は $S_{45}N_0$ のときに最大で約 1.5 dB 減少した。また、S_0N_0 から $S_{45}N_0$ にかけては減少傾向、$S_{45}N_0$ から $S_{90}N_0$ にかけて上昇傾向を示した。さらに、S_0N_0 におけるマスキング閾値は、$S_{90}N_0$ でのマスキング閾値と近い値を示した。

図 5.3 に、成分周波数が 2.0 kHz の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{30}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{30}N_0$ から $S_{60}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては減少傾向を示した。

図 5.4 に、成分周波数が 2.5 kHz の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{15}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{15}N_0$ から $S_{45}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{45}N_0$ から $S_{75}N_0$ 付近にかけては減少傾向、$S_{75}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示した。

図 5.5 に、成分周波数が 4.0 kHz の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 1.2 dB 減少した。減少・上昇傾向は、$S_mN_0, m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90$ にかけて入れ替わる様相を示した。

5.6 考察

それぞれの成分周波数ごとに、同位相条件および逆位相条件となる位相差においてマスキング解除の大きさが異なっている。これらの結果は、第 3, 4 章において、マスカーとして白色雑音を用いた場合の報知音の知覚特性と同様の傾向を示している。このことから、マスカーとして自動車走行雑音を用いた場合にも ITD と IPD を手掛かりに SRM は生起する。また報知音の成分周波数が低いほど、BMLD の効果が大きく、逆に成分周波数が高いほど、BMLD の効果は小さい。

5.7 結論

自動車走行雑音における報知音知覚において、ITD と IPD を手掛かりに SRM が生起した。

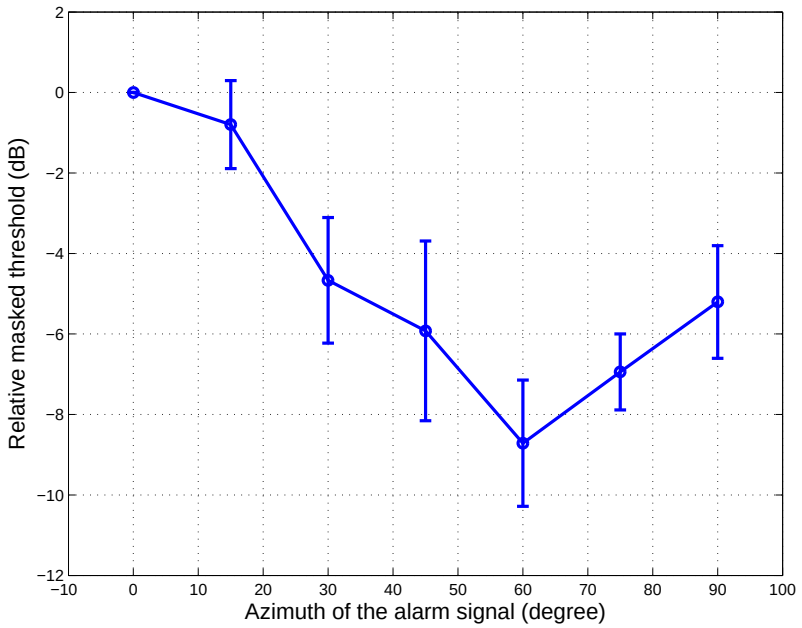

図 5.1: 1.0 kHz の S_mN_0 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 4 名に対する平均

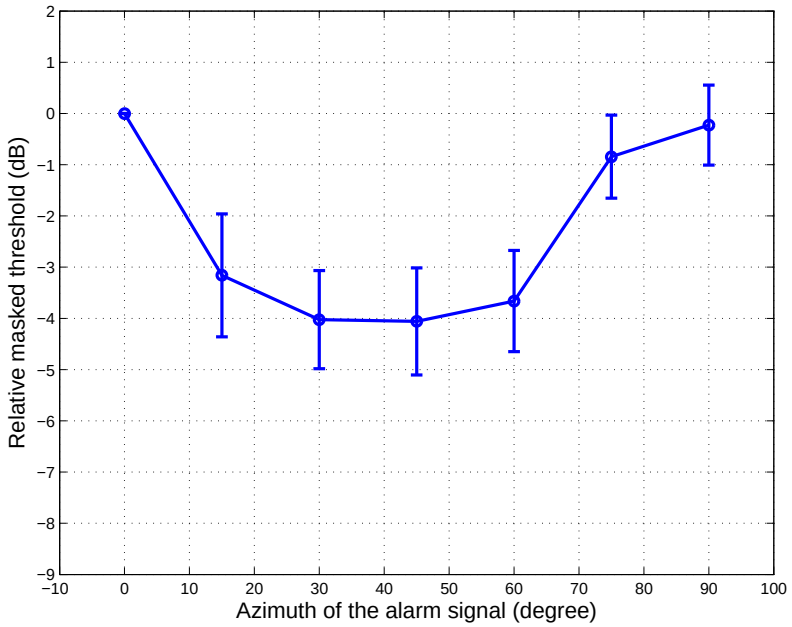

図 5.2: 1.5 kHz の S_mN_0 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 4 名に対する平均

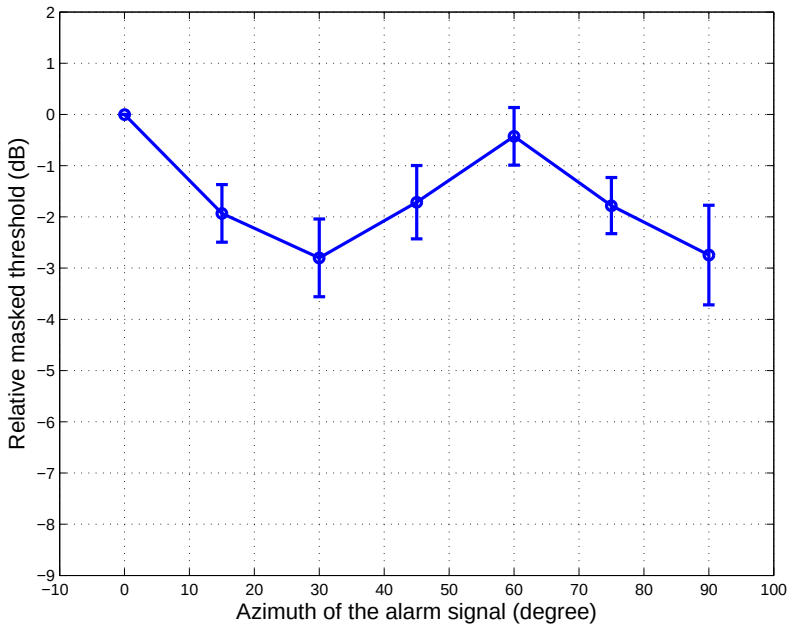

図 5.3: 2.0 kHz の S_mN_0 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 6 名に対する平均

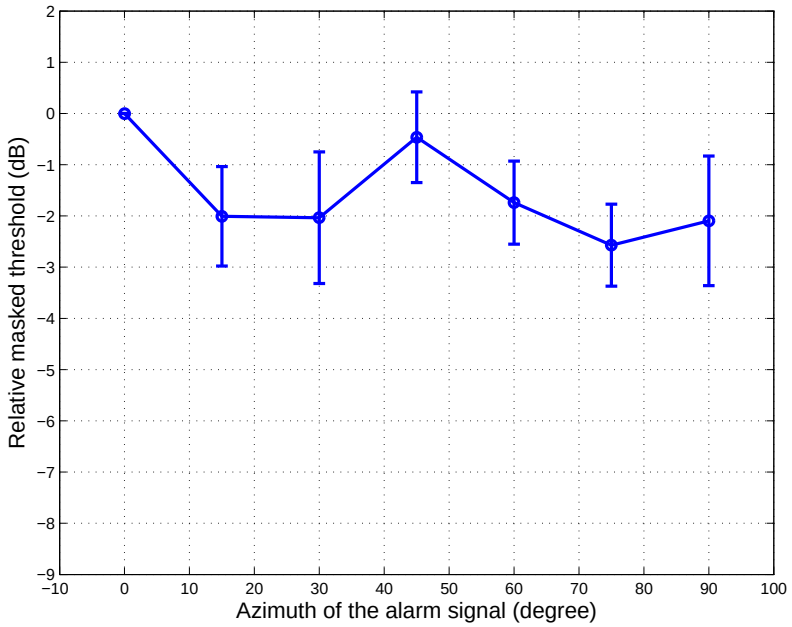

図 5.4: 2.5 kHz の S_mN_0 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 8 名に対する平均

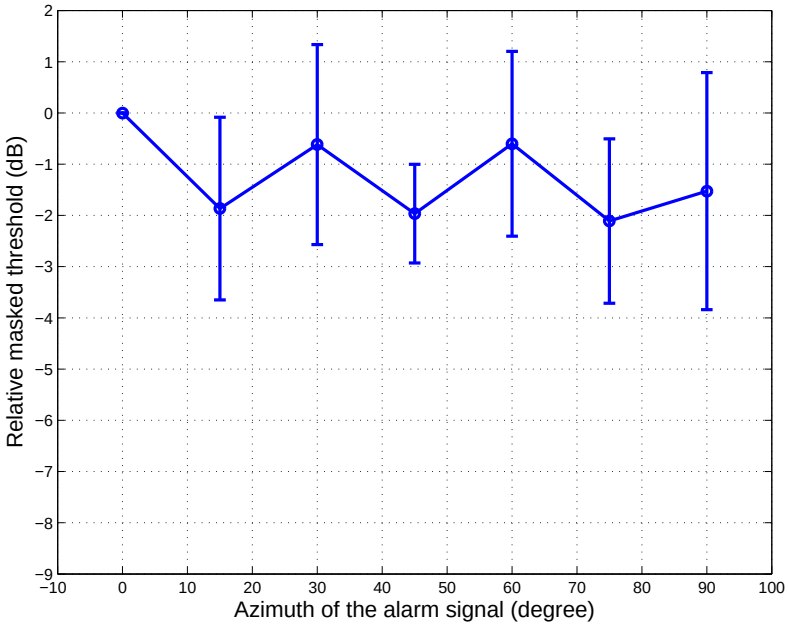

図 5.5: 4.0 kHz の $S_m N_0$ 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 4 名に対する平均

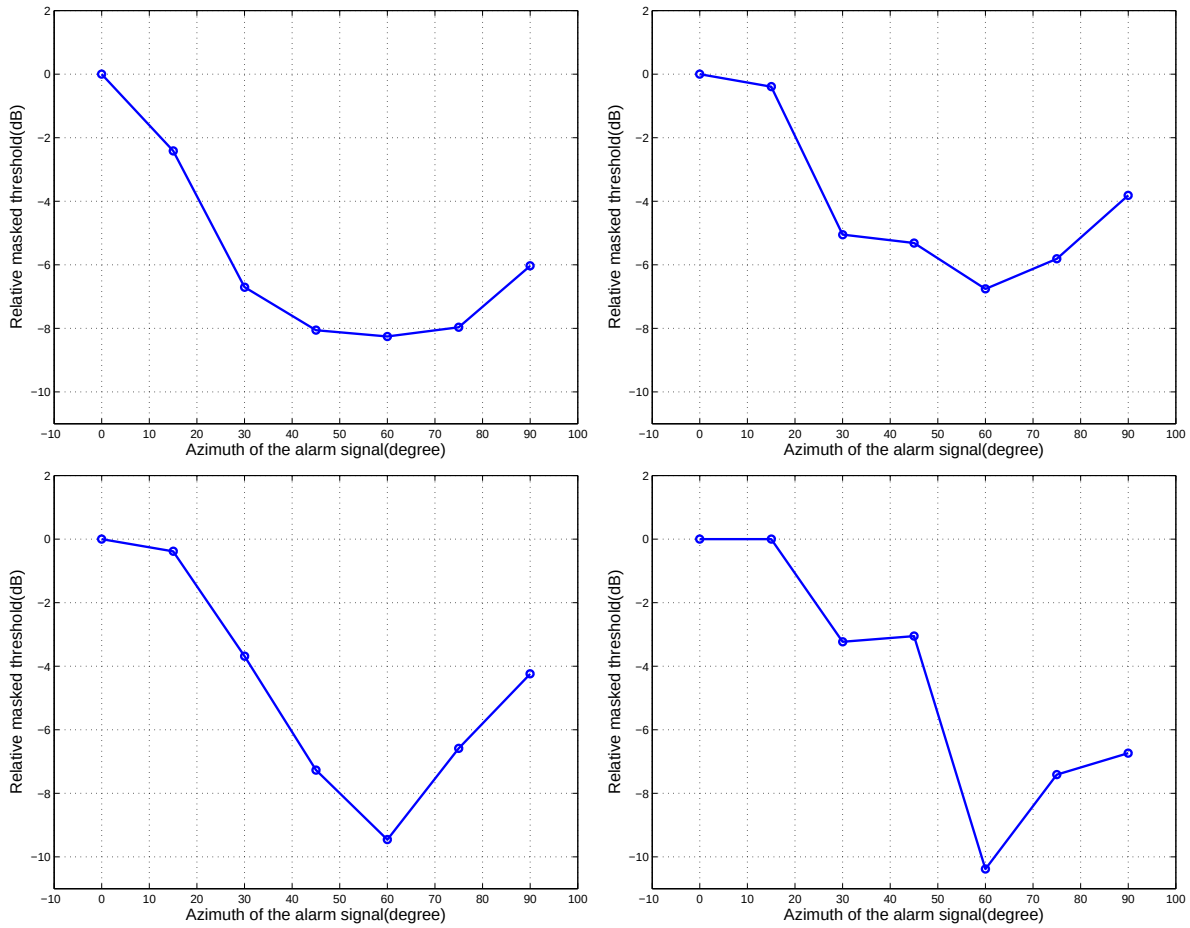

図 5.6: 1.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), F (右上), K (左下), L (右下)

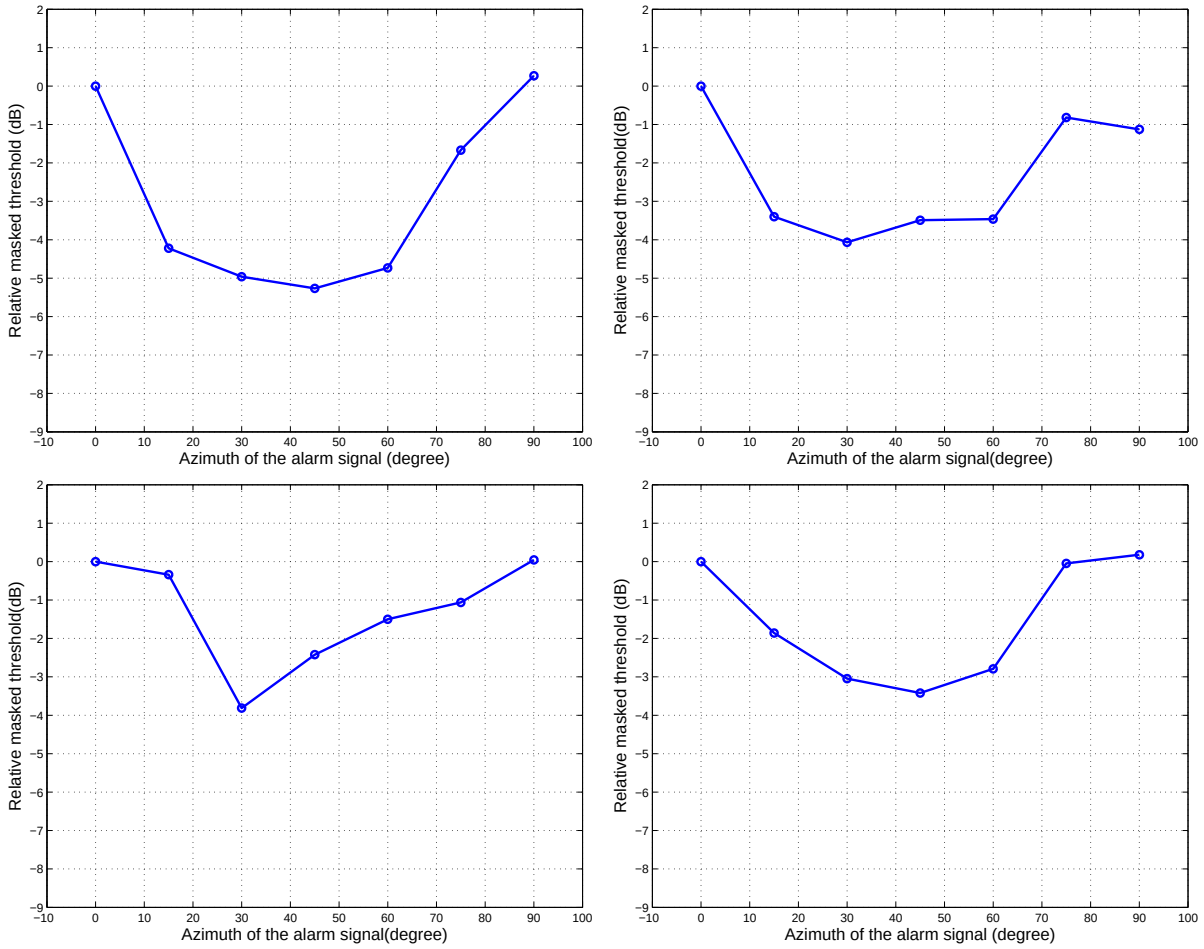

図 5.7: 1.5 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), F (右上), G (左下), H (右下)

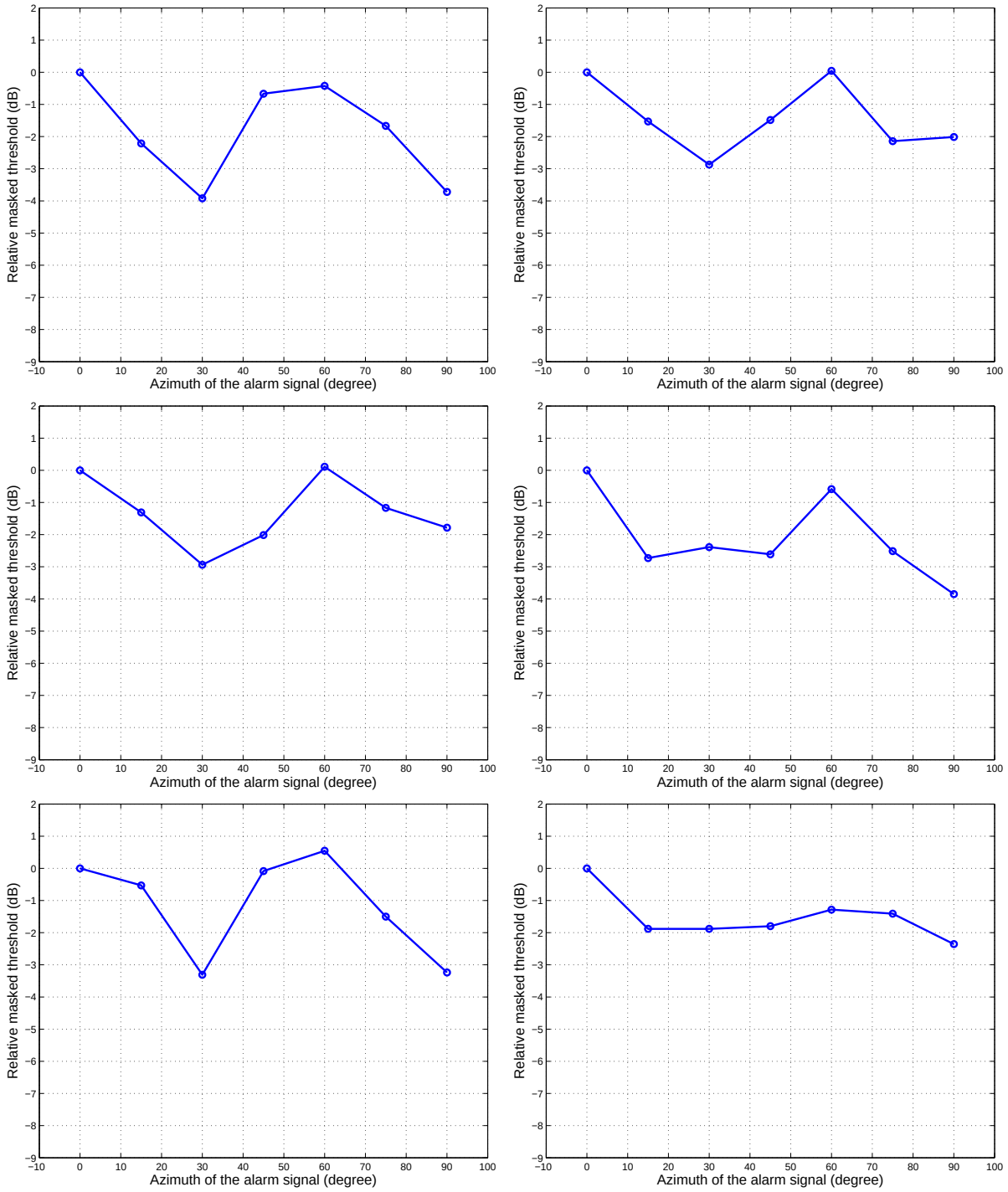

図 5.8: 2.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), G (右上), I (左中), J (右中), K (左下), M (右下)

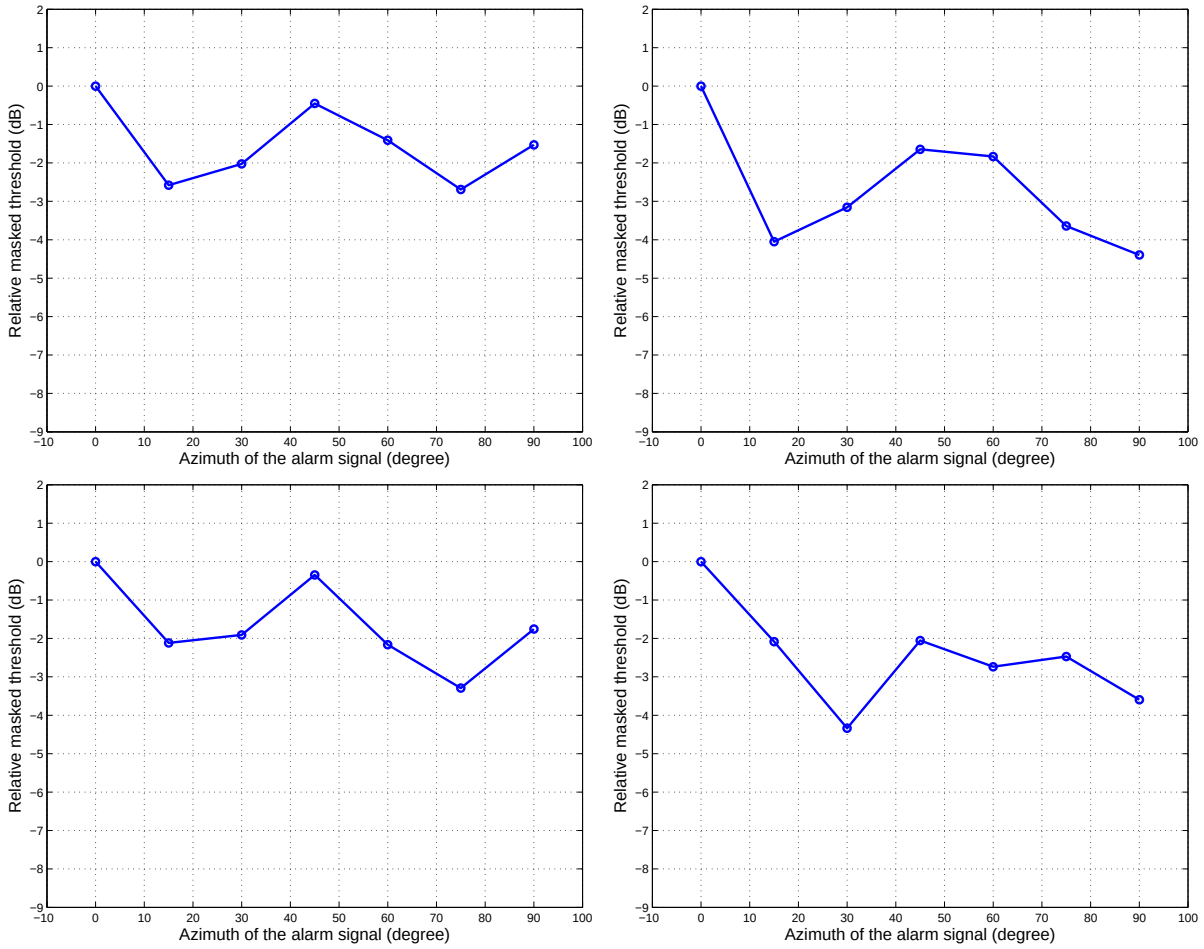

図 5.9: 2.5 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), F (右上), G (左下), H (右下)

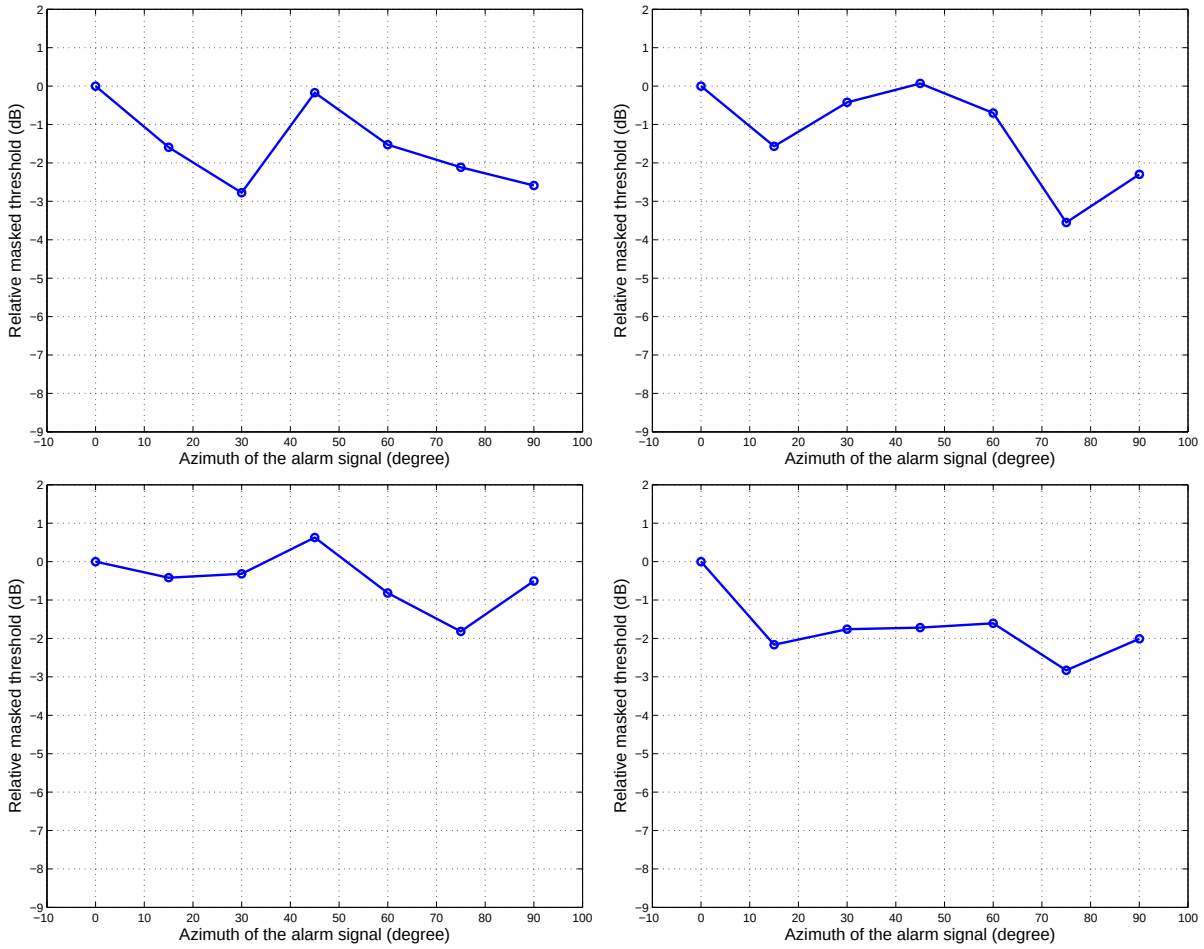

図 5.10: 2.5 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 I (左上), J (右上), K (左下), O (右下)

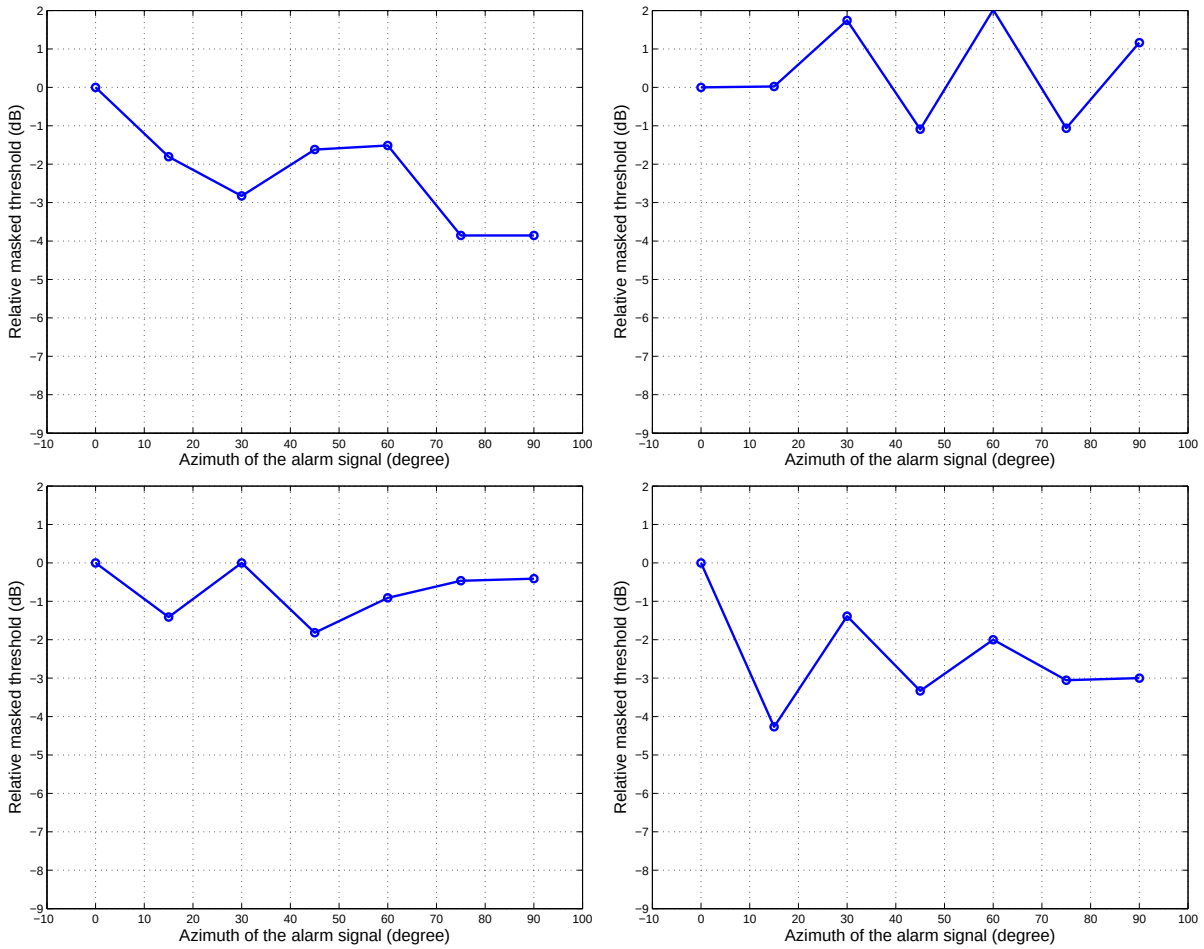

図 5.11: 4.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: D (左上), F (右上), J (左下), L (右下)

第6章　到来方向が異なる雑音源が報知音知覚に与える影響

6.1　目的

先行研究では、雑音の到来方向を被験者の正中面に固定して議論していた。しかし、自動車車室内を考えると、エンジン音、風きり音、など様々な雑音が存在するため、雑音の到来方向はドライバーの正中面だけではない。本章では S_0N_m 条件のマスキング閾値を調べることによって、雑音の到来方向を考慮した報知音の設置場所を議論する。

6.2　被験者、実験システム、実験手続き、刺激音

第 5 章と同様である。

6.3　両耳間時間差の設定

音源の配置は、信号音を正中面に固定し、雑音源が移動するように ITD を設定した。そのため、ITD は雑音源に適用した。被験者の右側に雑音源が移動するように ITD を設定した場合を、$S_0N_m(m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90)$ と表現することとする。実験の様子図を図??に示す。

6.4　実験結果

図 6.2 に、成分周波数が 1.0 kHz の報知音による S_0N_m のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は S_0N_{60} のときに最大で約 8.3 dB 減少した。また、S_0N_0 から S_0N_{60} にかけては減少傾向、S_0N_{60} から S_0N_{90} にかけて上昇傾向を示した。

図 6.3 に、成分周波数が 1.5 kHz の報知音による S_0N_m のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は S_0N_{45} のときに最大で約 1.5 dB 減少した。また、S_0N_0 から S_0N_{45} にかけては減少傾向、S_0N_{45} から S_0N_{90} にかけて上昇傾向を示した。さらに、S_0N_0 におけるマスキング閾値は、S_0N_{90} でのマスキング閾値と近い値を示した。

図 6.4 に、成分周波数が 2.0 kHz の報知音による S_0N_m のマスキング閾値を示す。図よ

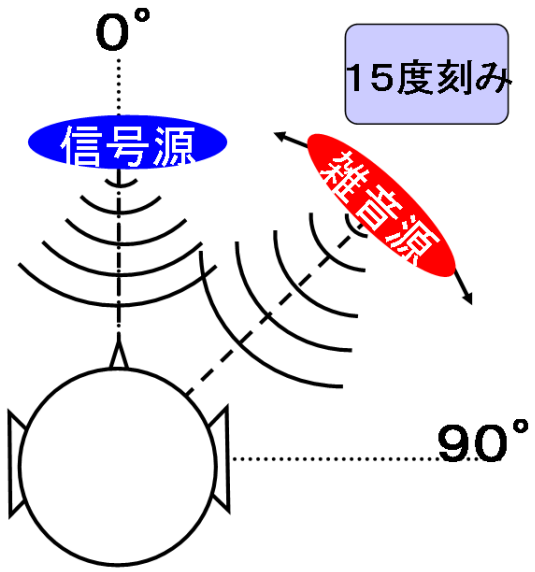

図 6.1: 雑音源に ITD を設定した場合の実験様子図。信号音を被験者の正中面に固定し、雑音源は正中面から 90 度まで 15 度刻みで移動させる。

り、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から S_0N_{30} 付近にかけては減少傾向 S_0N_{30} から S_0N_{60} 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに S_0N_{60} から S_0N_{90} 付近にかけては減少傾向を示した。

図 6.5 に、成分周波数が 2.5 kHz の報知音による S_0N_m のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 2.0 dB 減少した。また S_0N_0 から S_0N_{15} 付近にかけては減少傾向 S_0N_{15} から S_0N_{45} 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに S_0N_{45} から S_0N_{75} 付近にかけては減少傾向、S_0N_{75} から

図 6.6 に、成分周波数が 4.0 kHz の報知音による S_0N_m のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 1.2 dB 減少した。減少・上昇傾向は、$S_0N_m, m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90$ にかけて入れ替わる様相を示した。

6.4.1 考察

まず、それぞれの成分周波数ごとに S_mN_0 条件と S_0N_m 条件の知覚特性は同様の様相を示している。さらにマスカーとして白色雑音を用いた場合の報知音の知覚特性とも同様の様相を示している。このことから自動車走行雑音においても ITD と IPD を手掛かりに

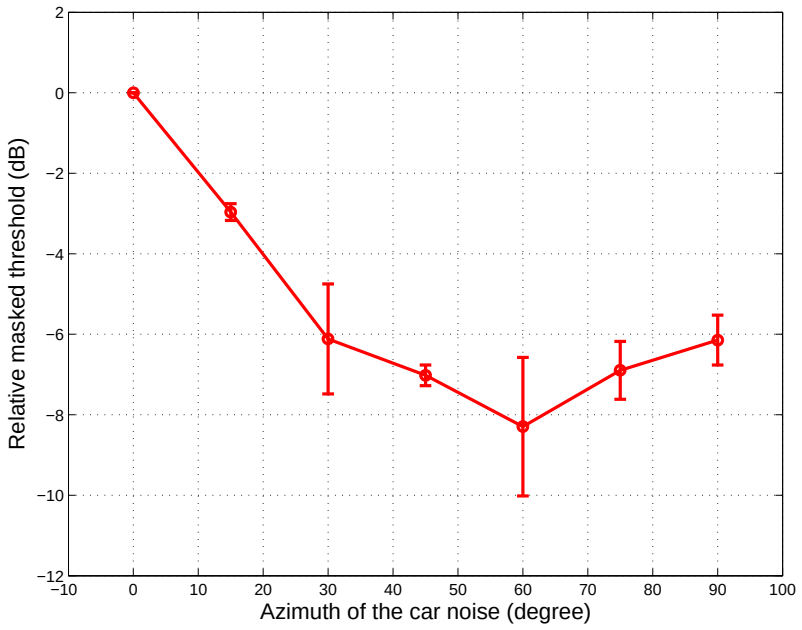

図 6.2: 1.0 kHz の S_0N_m 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 3 名に対する平均

SRM が生起したと考えられる。S_mN_0 の報知音の知覚特性に関しては、白色雑音と同様にして説明ができるが、S_0N_m の報知音の知覚特性は状況が違う。というのも、報知音は常に被験者の正中面に固定されているため、雑音に ITD を設定しても、報知音の ITD は 0 ms であるため同位相条件で呈示されている。しかし、S_mN_0 条件と S_0N_m 条件の知覚特性は同様の様相を示のは、次のようなことが考えられる。実環境で BMLD が生じる条件は。信号音と雑音が異なる空間位置に存在する場合である。今回のケースでは、正中面は両耳に同位相の自動車走行雑音と純音が混合されて呈示されいる。また雑音の ITD を変化させた場合には、両耳間に同位相ではないの自動車雑音と同位相の純音が混合されて呈示されている。よって、ヘッドホン呈示の実験において雑音と純音が空間位置の違いとして検知できた可能性がある。つまり、S_0N_m の報知音の知覚特性も BMLD が生じていたと考えることができる。一方で、S_0N_m 条件においても報知音の成分周波数が低いほど BMLD の効果が大きいことが分かった。

6.5 結論

雑音中の報知音知覚において、S_mN_0 条件と S_0N_m 条件が同様の傾向を示したことから、報知音源と雑音源の到来方向による方向差がマスキング閾値に大きく影響することが分かった。そのため、雑音の到来方向を考慮して、報知音が両耳間で逆位相条件になるように報知音を設置することが望ましい。

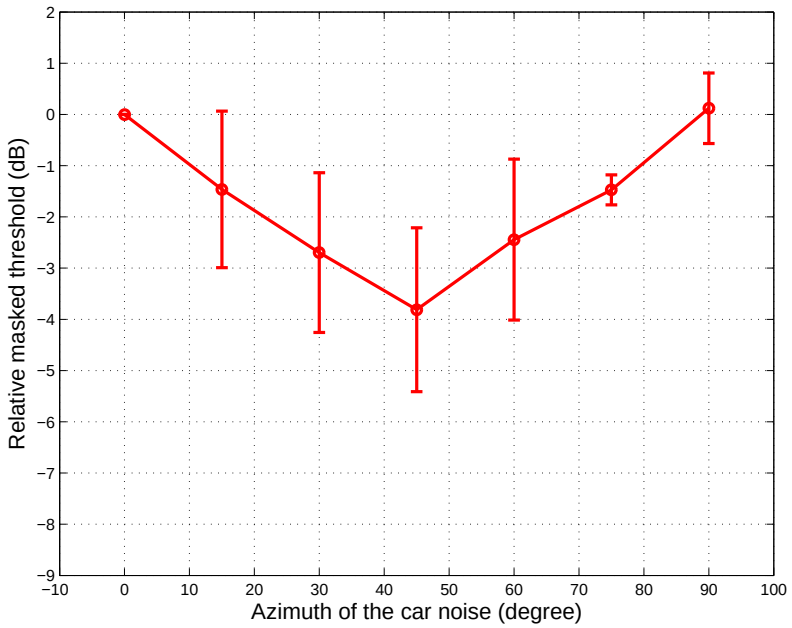

図 6.3: 1.5 kHz の S_0N_m 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 5 名に対する平均

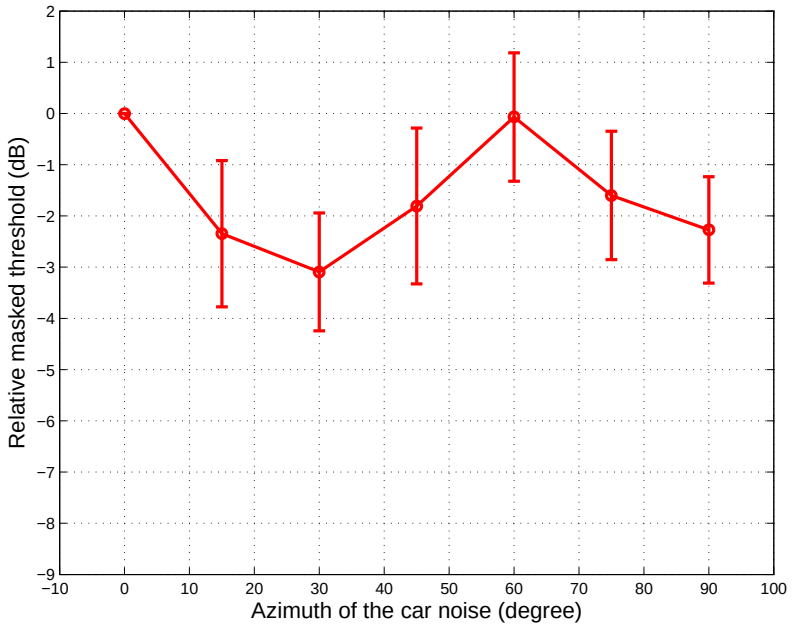

図 6.4: 2.0 kHz の S_0N_m 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 6 名に対する平均

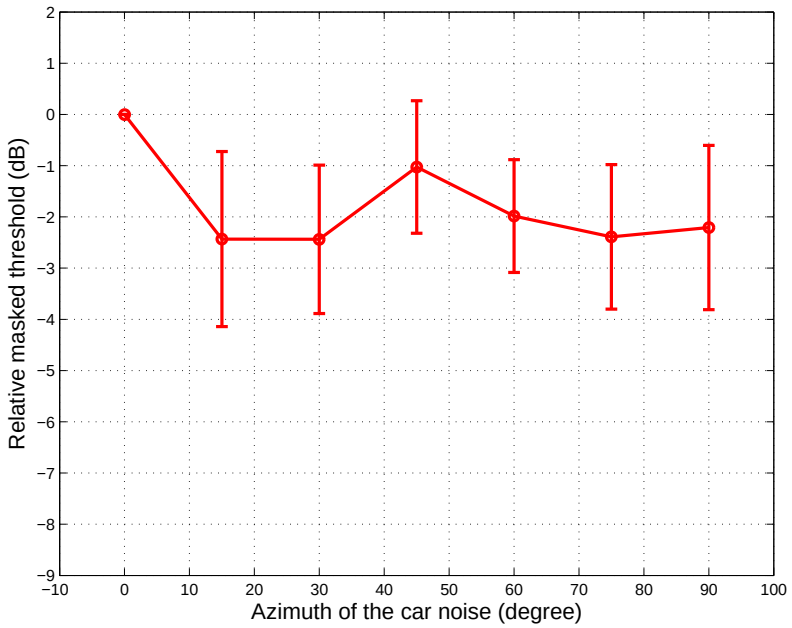

図 6.5: 2.5 kHz の S_0N_m 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 6 名に対する平均

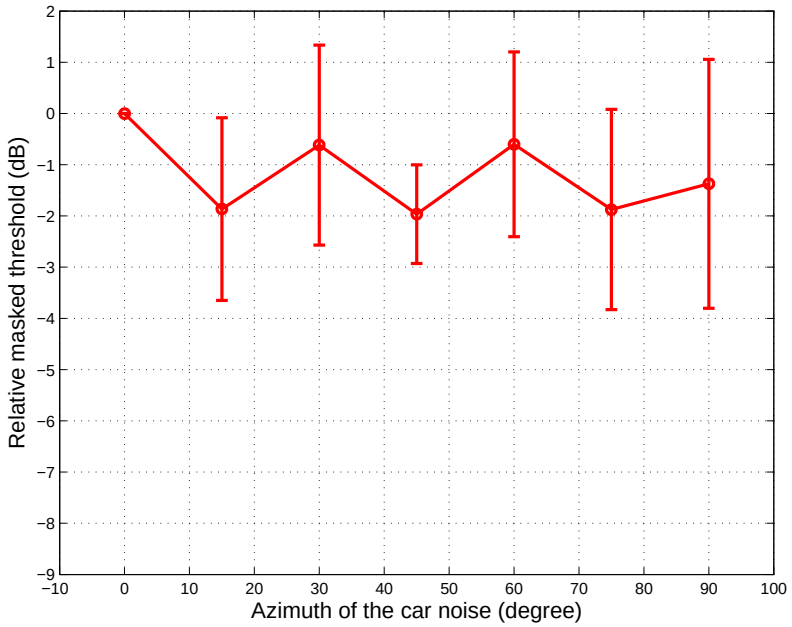

図 6.6: 4.0 kHz の S_0N_m 条件における走行雑音下の報知音のマスキング閾値: 被験者 4 名に対する平均

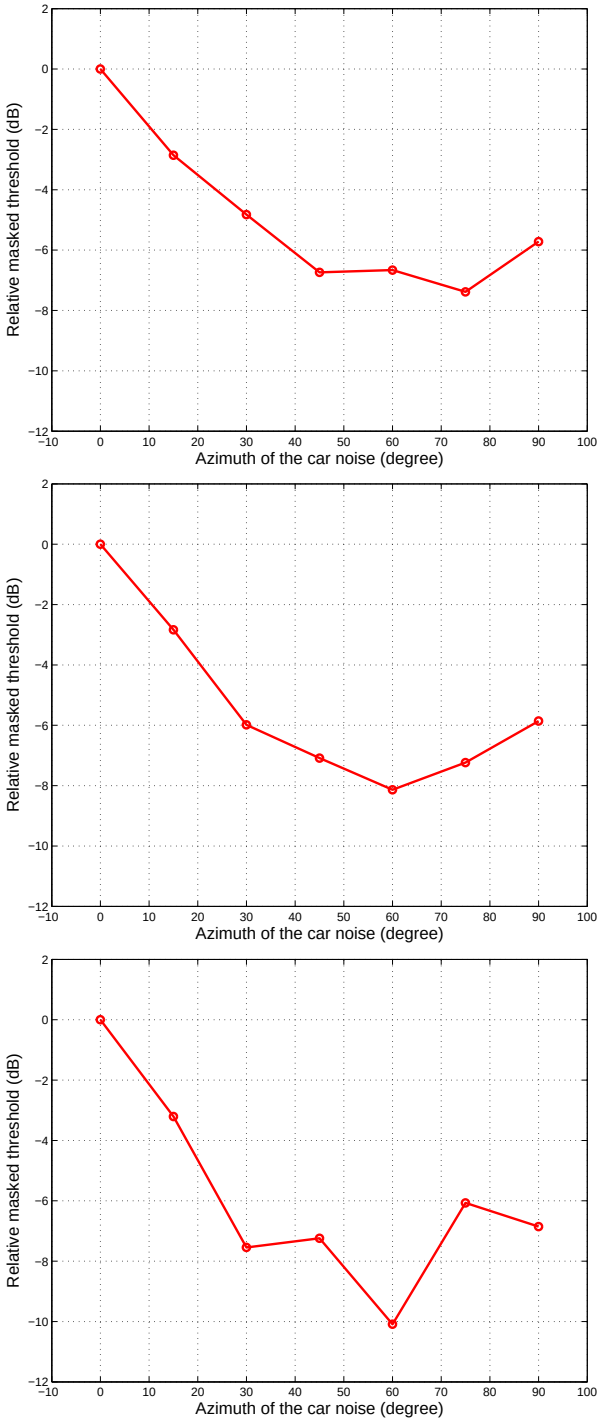

図 6.7: 1.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), K (右上), L (下)

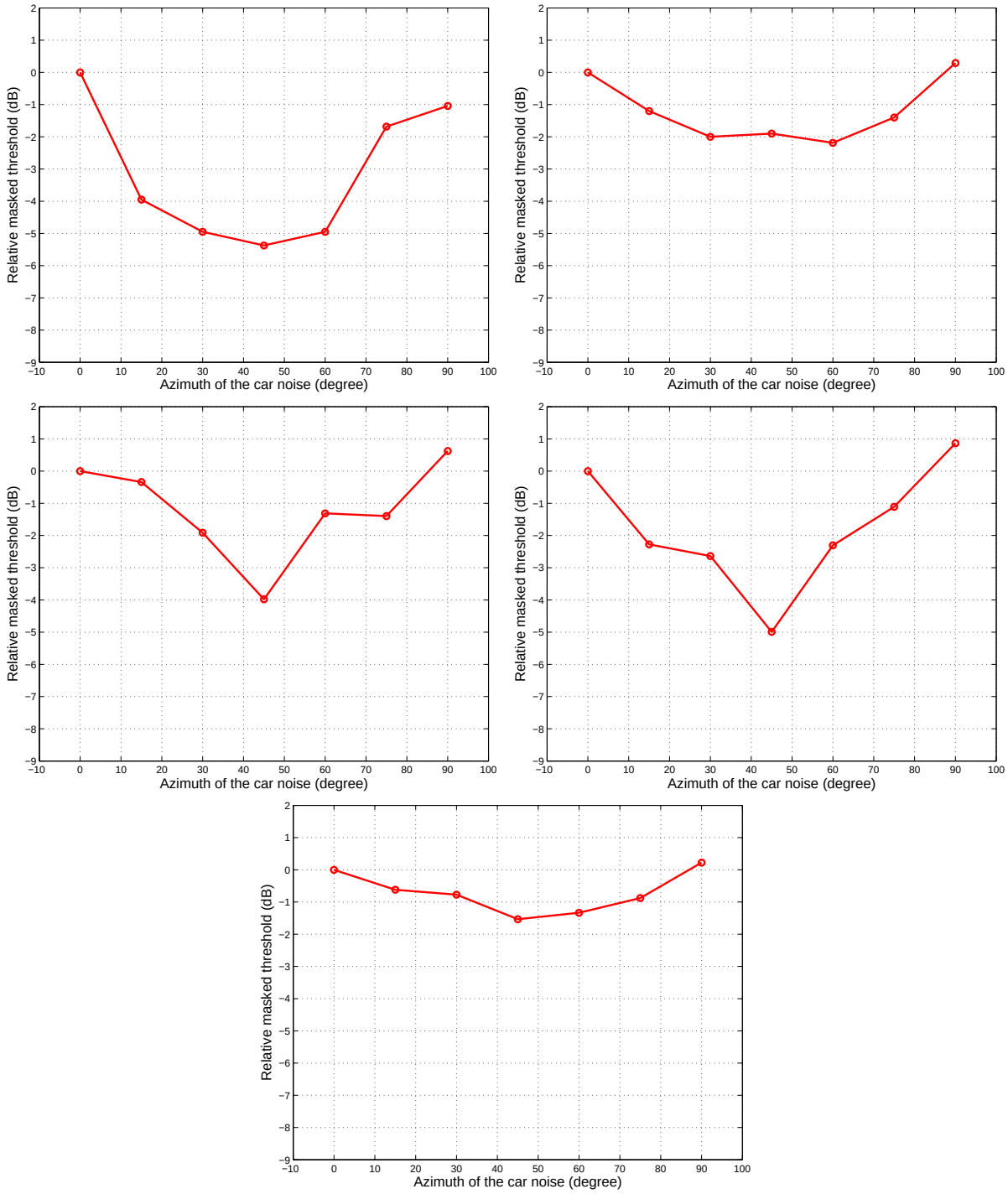

図 6.8: 1.5 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), F (右上), G (左中), H (右中), I (下)

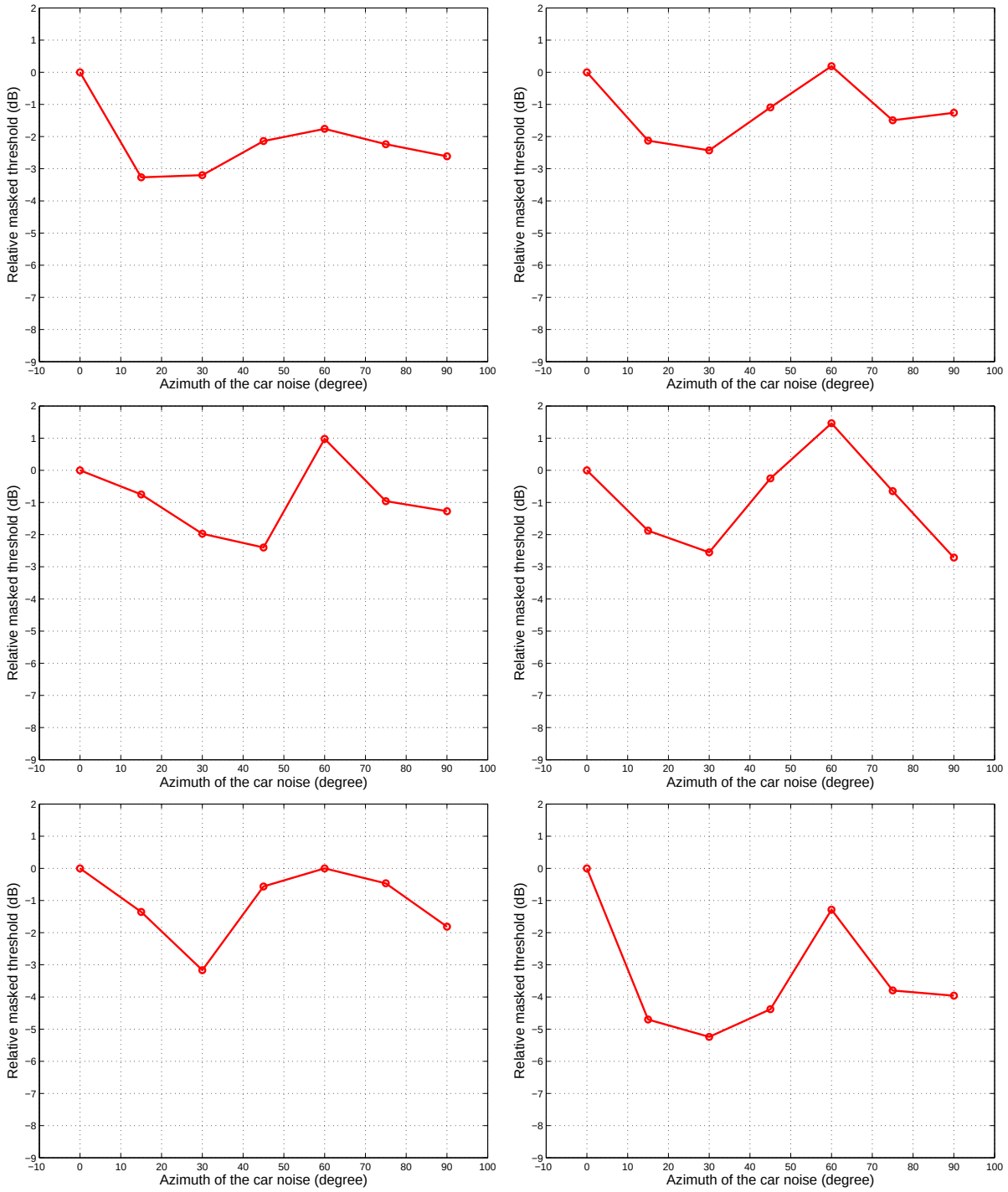

図 6.9: 2.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), G (右上), I (左中), J (右中), K (左下), M (右下)

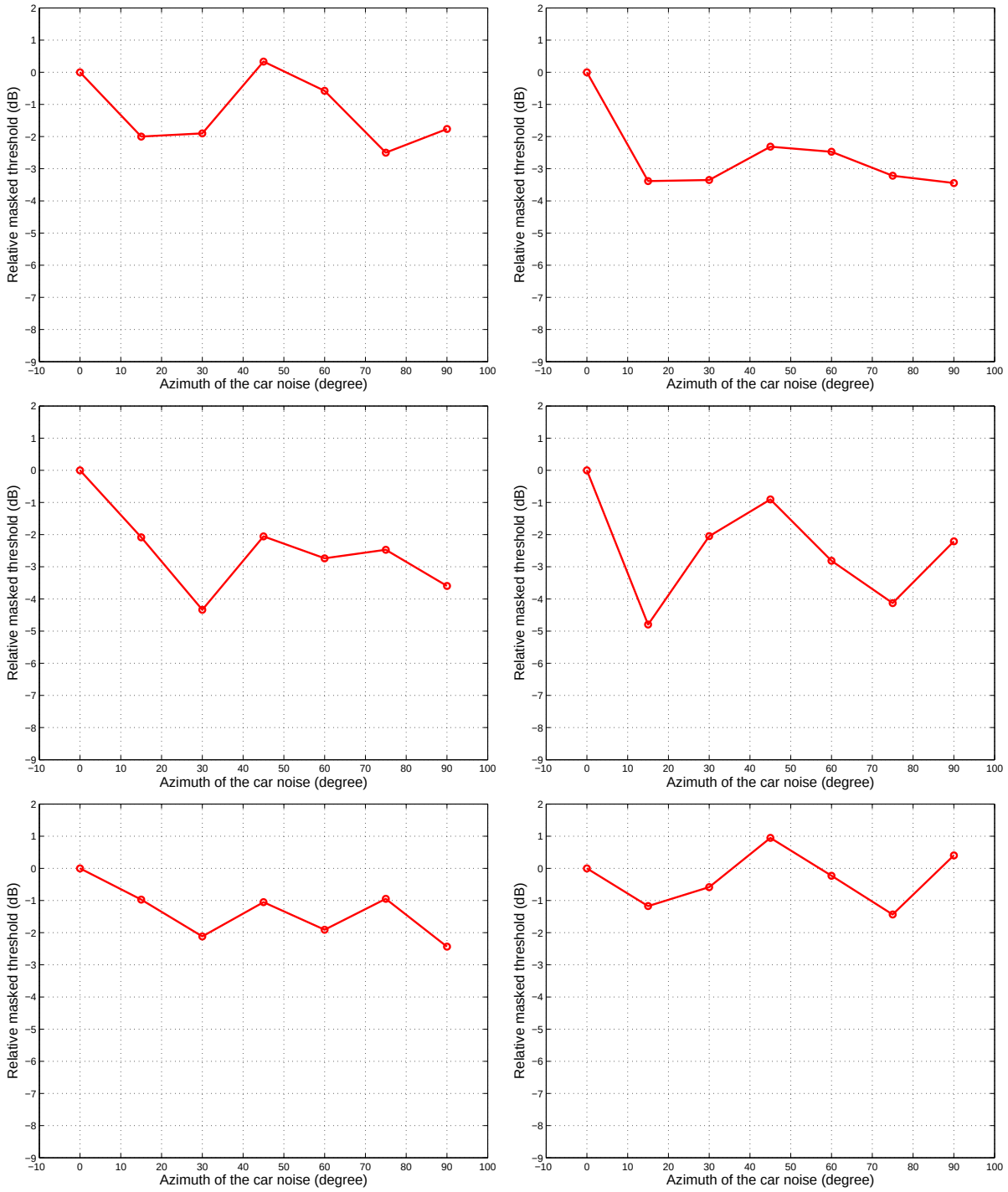

図 6.10: 2.5 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), E (右上), G (左中), J (右中), K (左下), L (右下)

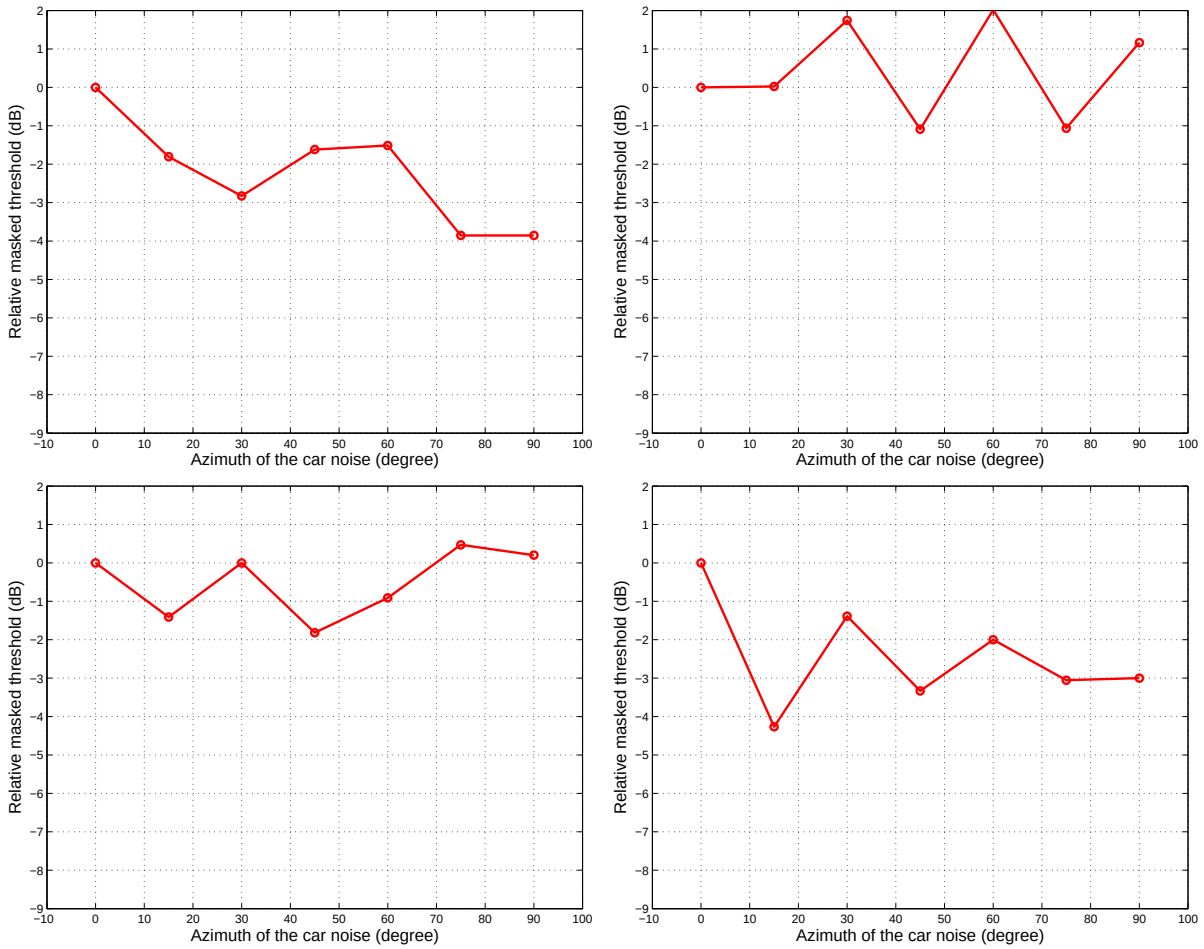

図 6.11: 4.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: D (左上), F (右上), J (左下), L (右下)

第7章　自動車走行雑音中のパルス音の知覚特性

7.1　目的

第 5,6 章における報知音の知覚特性は、ITD と IPD を手掛かりに SRM が生起したと考えられる。自動車走行雑音において、ITD の手掛かりがどれだけ重要であるか調べる。

7.2　被験者、実験手続き、実験システム

第 5,6 章と同様である。

7.3　両耳間時間差の設定

信号を動かす場合と、雑音源を動かす場合の両方の ITD の設定を行なう。つまり $\mathrm{S}_m\mathrm{N}_0(m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90)$ 条件と $\mathrm{S}_0\mathrm{N}_m(m = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90)$ 条件である。

7.4　刺激音

パルス音は第 3 章の 3.1 節と同様である。またマスカーは第 5,6 章と同様である。

7.5　実験結果及び考察

図 7.1 と 7.2 に自動車走行雑音中のパルス音のマスキング閾値を示す。図より、信号音源が右側に移動する場合も、雑音源が右側に移動する場合も若干のマスキング閾値の低下する傾向を示した。この結果は、3.2 章の白色雑音で得た知覚特性の傾向とは異なる。白色雑音では最大マスキング解除量は 7.5 dB であったが、自動車走行雑音では 2 dB 未満であった．このような結果になった理由として、以下のことが考えられる。まず白色雑音と自動車走行雑音の二つの雑音の違いがあるが、3.1.1 節で述べたとおりである。パルス音はスペクトル拡散しており、様々な周波数成分でパルス音の検知が行なわれていると考えられる。白色雑音ではスペクトルが一定であるため、拡散した全ての成分がマスクされた

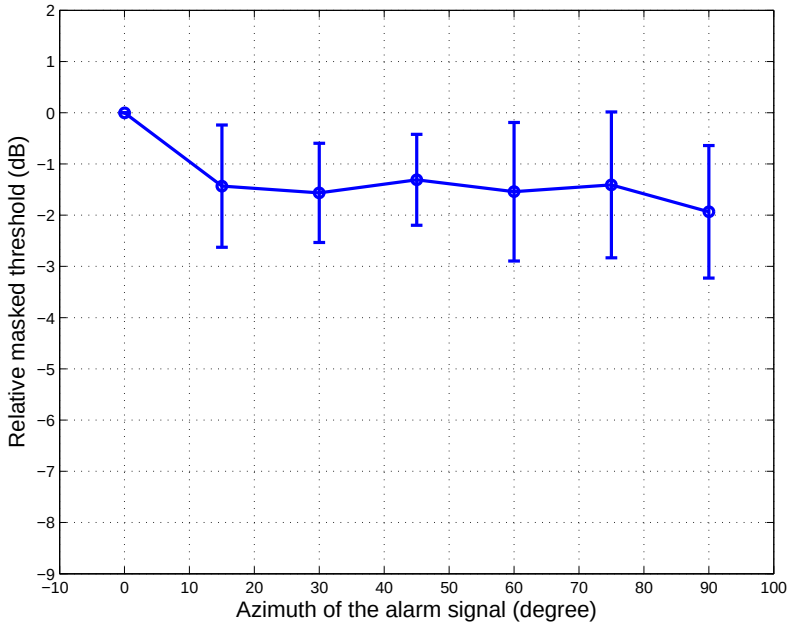

図 7.1: S_0N_m 条件における走行雑音下のパルス音のマスキング閾値: 被験者 6 名に対する平均

のに対し、自動車走行雑音はスペクトルが高域側で小さいため、パルス音の高域の成分がマスクされなかったと考えられる。そのため信号の検知に ITD を用いる必要がなくなり、信号と雑音の方向に関係なく、マスキング解除量がほぼ一定になったと考えられる。これはそれぞれの成分周波数の報知音の正中面における実際の測定値を比べた場合に、自動車走行雑音のスペクトルの傾斜に従い、高い成分周波数の報知音ほどマスクされにくくなった (表 ??tabel:CarFront) 参照) ことからも、パルス音の高域側の成分がマスクされなかったと考えられる。

結論として、パルス音では ITD 以外の手掛かりも知覚に影響しため、ITD のみをの手掛かりを与えることはできなかった。

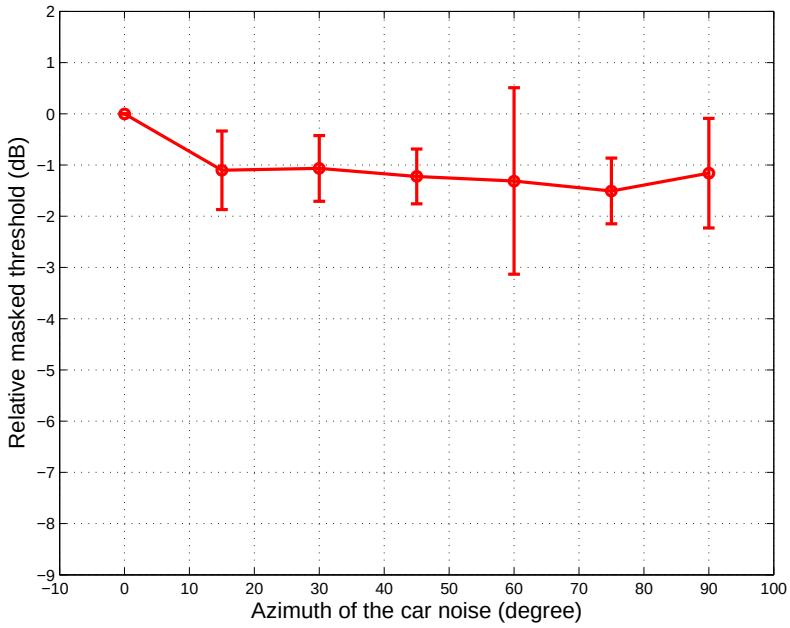

図 7.2: S_0N_m 条件における走行雑音下のパルス音のマスキング閾値: 被験者 4 名に対する平均

表 7.1: 被験者の正中面の測定値

被験者	1.0 kHz	1.5 kHz	2.0 kHz	2.5 kHz	4.0 kHz	パルス音
平均	43.09	39.45	37.22	35.86	27.56	33.4
標準偏差	1.16	1.28	1.73	2.79	0.93	1.18
D	44.2	39.18	38.32	34.5	28.89	34.03
E				41.1		39.03
F	42.31	37.92		33.08	26.94	34
G		41.31	37.21	39.2		
H		40.03				32.5
I		38.83	36.08			31.34
J			37.82	37.03	26.91	
K	41.88		34.5	33.8		
L	43.95			36.32	27.5	32.97
M			39.38235294			
N						34.61
O						34.32

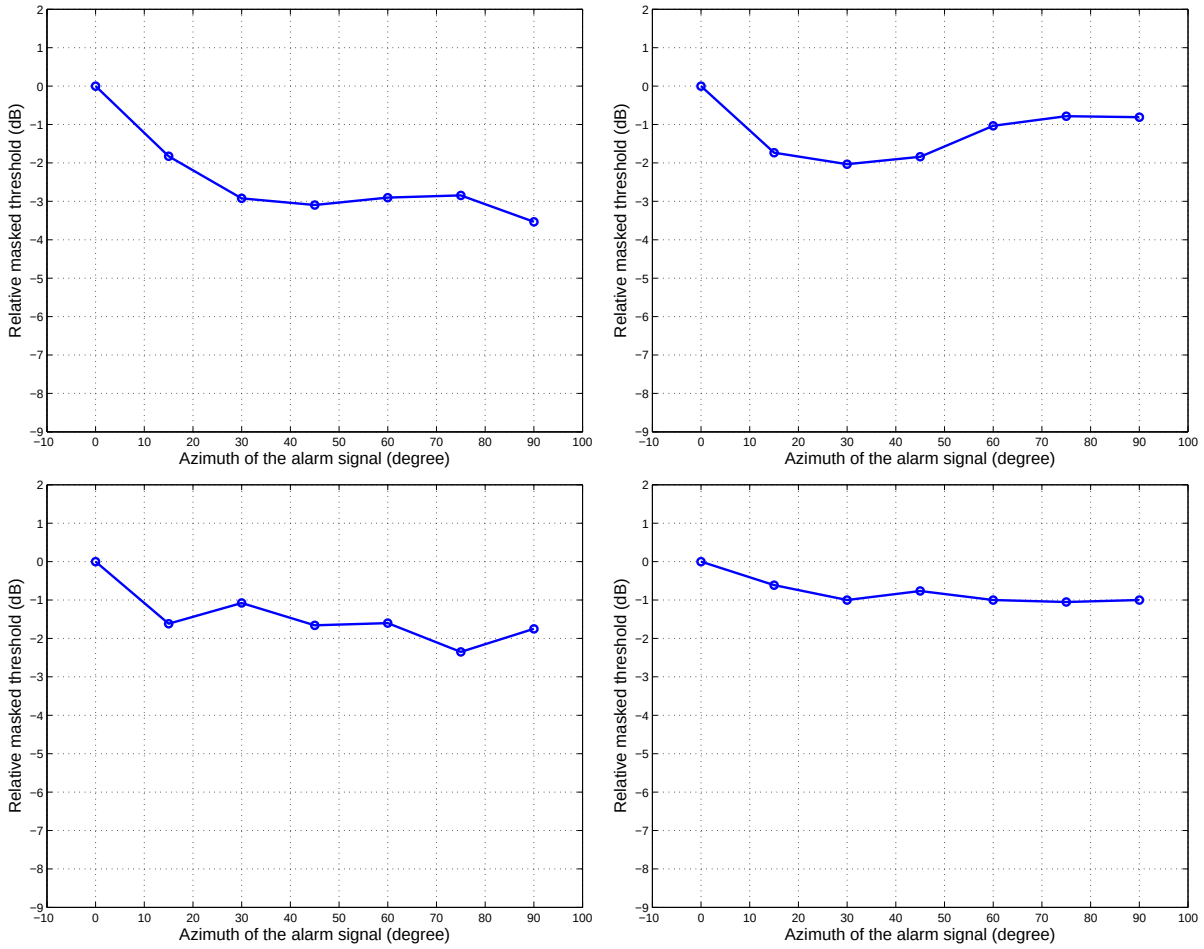

図 7.3: 2.0 kHz における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), E (右上), F (左下), H (右下)

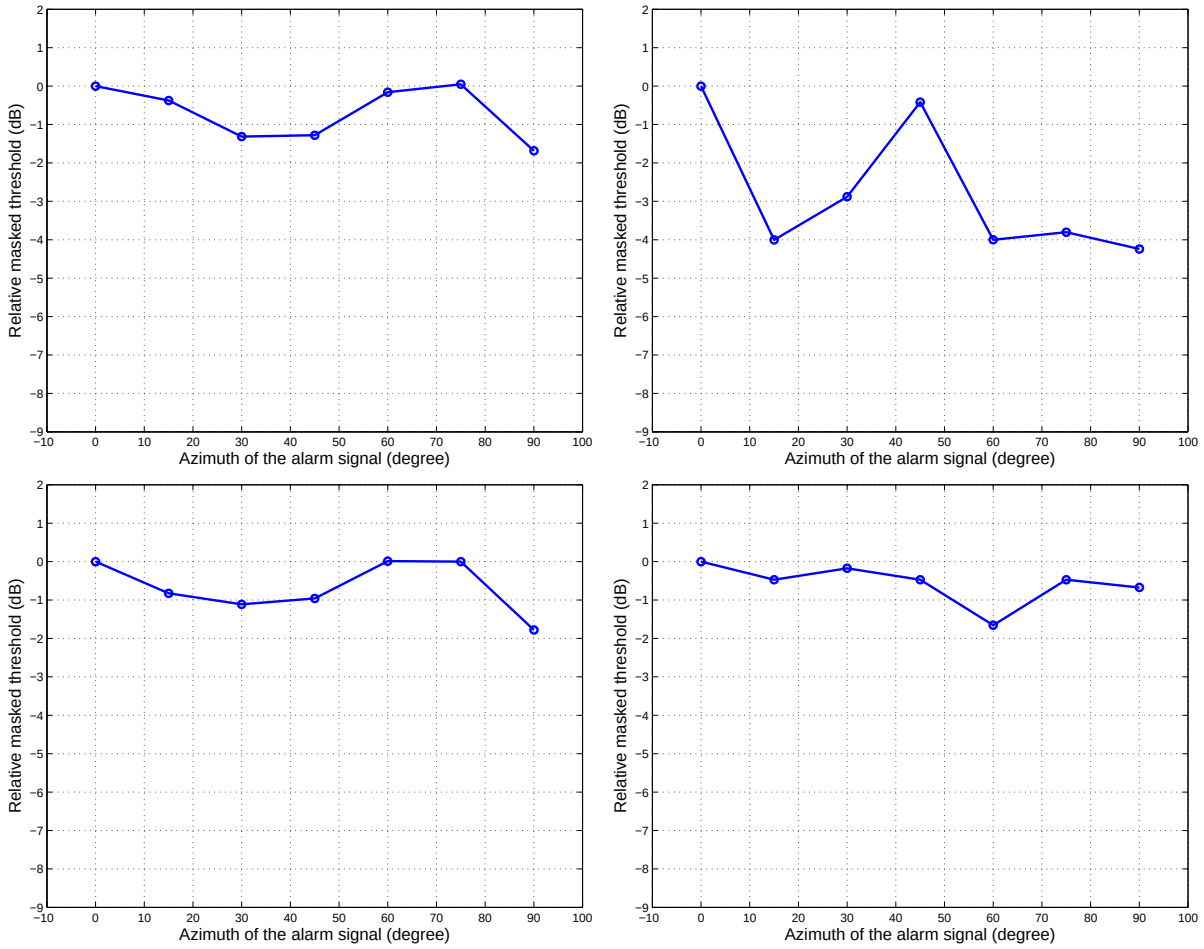

図 7.4: パルス音における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 I (左上), K (右上), N (左下), O (右下)

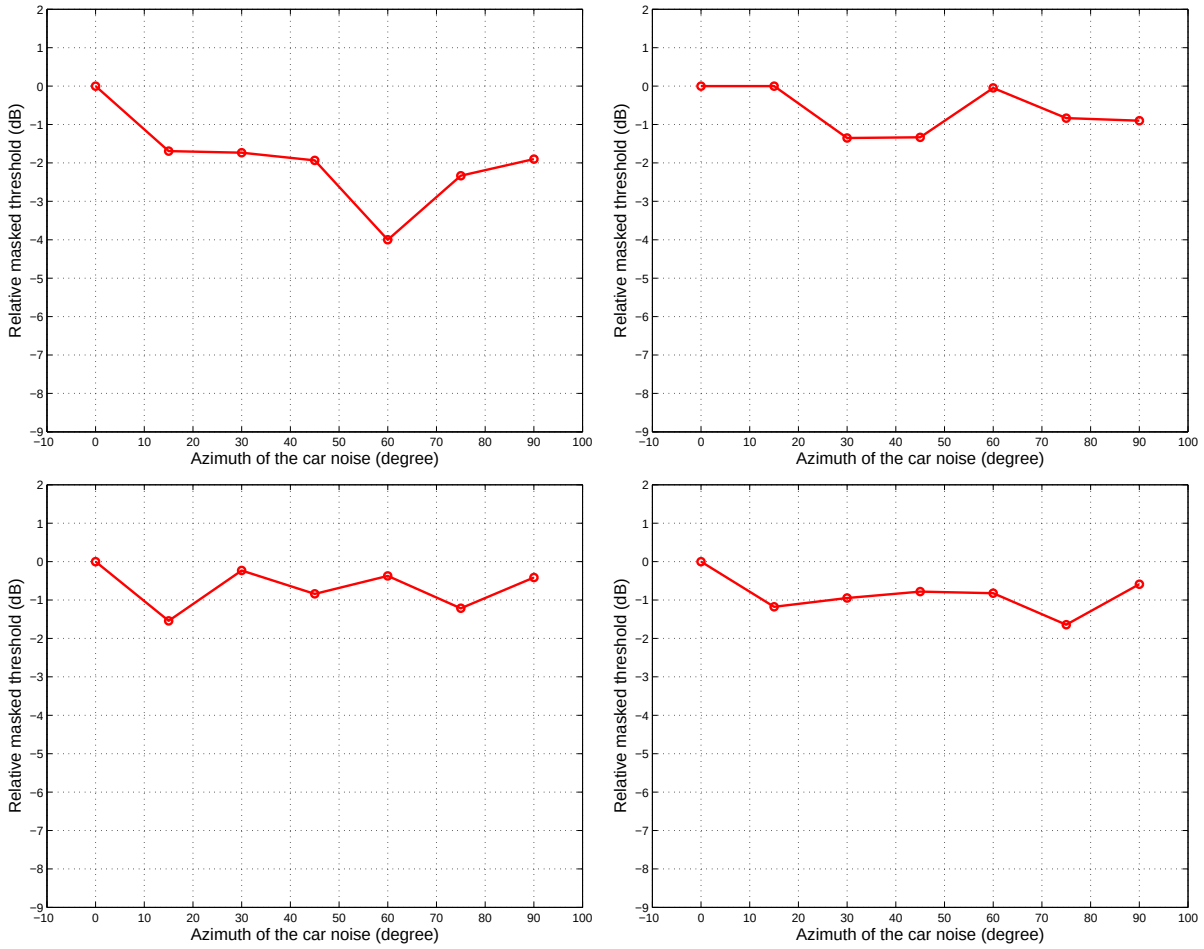

図 7.5: パルス音における被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), F (右上), I (左下), O (右下)

表 7.2: 被験者の S_mN_0 の最大マスキング解除量を示した測定値

被験者	1.0 kHz (60 度)	1.5 kHz (45 度)	2.0 kHz (30 度)	2.5 kHz (75 度)	4.0 kHz (75 度)
平均	34.51	35.93	34.33	33.16	25.5
標準偏差	1.6	2.27	2.12	2.67	0.92
D	35.94	33.9	34.4	31.81	25.03
E				38.78	
F	35.55	34.44		29.44	26.06
G		38.89	34.33	33.68	
H		36.5			
I			33.15		
J			35.43	34.91	26.44
K	32.43		31.19	30.25	
L	34.12			34.5	24.45
M			37.5		
N					
O				34.06	

第8章　報知音のON/OFFのパターンを変えた場合の知覚特性

8.1　目的

マスカーとして自動車走行雑音を用いる場合、パルス音においては、ITD のみを手掛かりにできなかったが、報知音では ITD と IPD を手掛かりに SRM が生起する。よって報知音では ITD を手掛かりにしている。スペクトルを拡散させた報知音を用いることで ITD をより手掛かりとして SRM が生起するかを明らかにする。もし ITD をより手掛かりにできた場合、第 3 章のパルス音の知覚特性から同位相条件でも聞こえの違いが出ると考えられる。そこで成分周波数は 2.0 kHz にする。というのも本研究では 15 度刻みで ITD を設定している。よってその設定した ITD の角度で必ず同位相条件となるとは限らない。しかし 2.0 kHz であれば 60 度でほぼ同位相条件となる。

8.2　被験者、実験手続き、実験システム

第 5, 6, 7 章と同様である。

8.3　両耳間時間差の設定

第 5, 6 章より、S_m0_m 条件と S_m0_m 条件は同様の傾向を示したことから、本章における ITD の設定は S_m0_m 条件のみとする。

8.4　刺激音

今までの章で用いていた報知音の ON/OFF の比率は変えず、その間隔だけ変えたものを信号音として用いる。その比率は ON/OFF= 50 ms/ 25 ms および ON/OFF= 25 ms/ 12.5 ms である。成分周波数は 2 kHz に設定する。

表 8.1: 被験者の S_mN_0 の最大マスキング解除量を示した測定値。報知音 1 は ON/OFF= 100 ms/ 50 ms、報知音 2 は ON/OFF= 50 ms/ 25 ms, 報知音 3 は ON/OFF= 25 ms/ 12.5 ms

ON/OFF パターン	100 ms/ 50 ms	50 ms/ 25 ms	25 ms/ 12.5 ms
平均	37.22	37.67	37
標準偏差	1.6	1.27	1.49

8.5 実験結果

図 8.1 に、ON/OFF= 50 ms/ 25 ms の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 3.3 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{30}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{30}N_0$ から $S_{60}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては減少傾向を示した。

図 8.2 に、ON/OFF= 25 ms/ 12.5 ms の報知音による S_mN_0 のマスキング閾値を示す。図より、マスキング閾値は最大で約 1.1 dB 減少した。また S_0N_0 から $S_{30}N_0$ 付近にかけては減少傾向 $S_{30}N_0$ から $S_{60}N_0$ 付近にかけては上昇傾向を示し、さらに $S_{60}N_0$ から $S_{90}N_0$ 付近にかけては減少傾向を示した。

8.6 考察

ON/OFF= 50 ms/ 25 ms の報知音において、図 5.3 と図 8.1 を比べた場合、二つのグラフの様相は同様の傾向である。それに対し、ON/OFF= 25 ms/ 12.5 ms の報知音において、図 5.3 と図 8.2 を比べた場合、二つのグラフの様相は異なり、逆位相条件のマスキング解除量が減った。つまり位相差の影響が小さくなり方向による聞こえの違いがなくなった。しかしこれだけでは ITD をより手掛かりにできたのかは分からない。それはパルス音の知覚特性で ITD のみの手掛かりを与えた場合、自動車走行雑音のスペクトルの形状からパルス音の高域側の成分がマスクされなかったため、雑音と信号音の角度差によらずほぼ一定であった。自動車走行雑音の特徴により、ON/OFF= 25 ms/ 12.5 ms の報知音ほ雑音との角度差に寄らずほぼ一定になった可能性も考えられる。ITD をより手掛かりにできたかどうかは結論付けるには、マスカーとして白色雑音を用いた場合を調べる必要がある。一方で、自動車走行雑音においては報知音のスペクトルを拡散させる方法では、大きなマスキング解除量を得ることはできなかった。ON/OFF のパターンを変えるよりも、報知音の立ち上がり立下りの変化を急峻にした方が、より ITD を手掛かりにできたかもしれない。

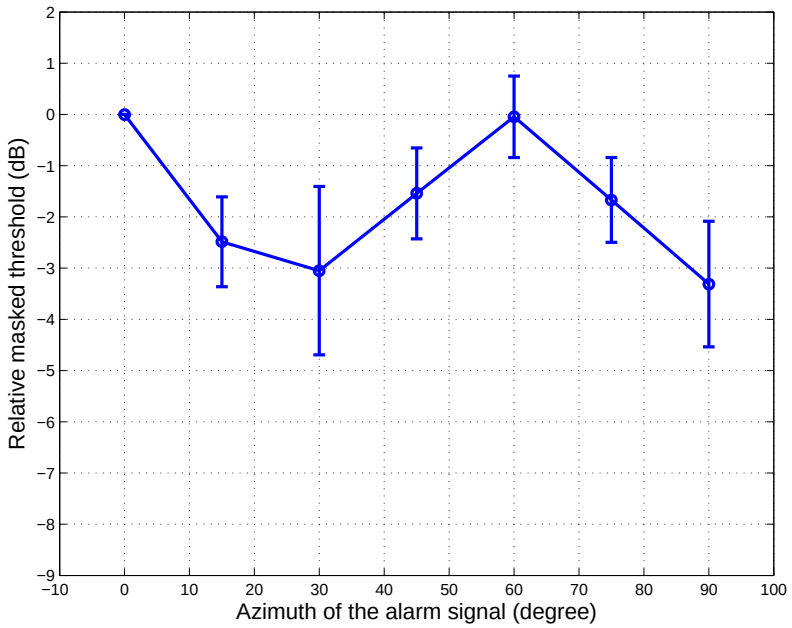

図 8.1: 2.0 kHz の S_m0_m 条件における走行雑音下の報知音 (ON/OFF=50 ms/ 25 ms) のマスキング閾値: 被験者 5 名に対する平均

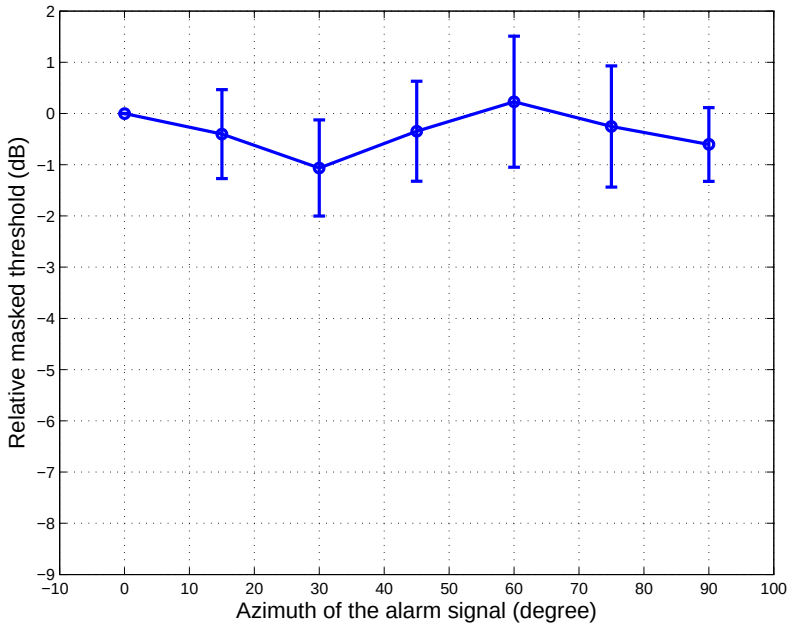

図 8.2: 2.0 kHz の S_mN_0 条件における走行雑音下の報知音 (ON/OFF=25 ms/ 12.5 ms) のマスキング閾値: 被験者 5 名に対する平均

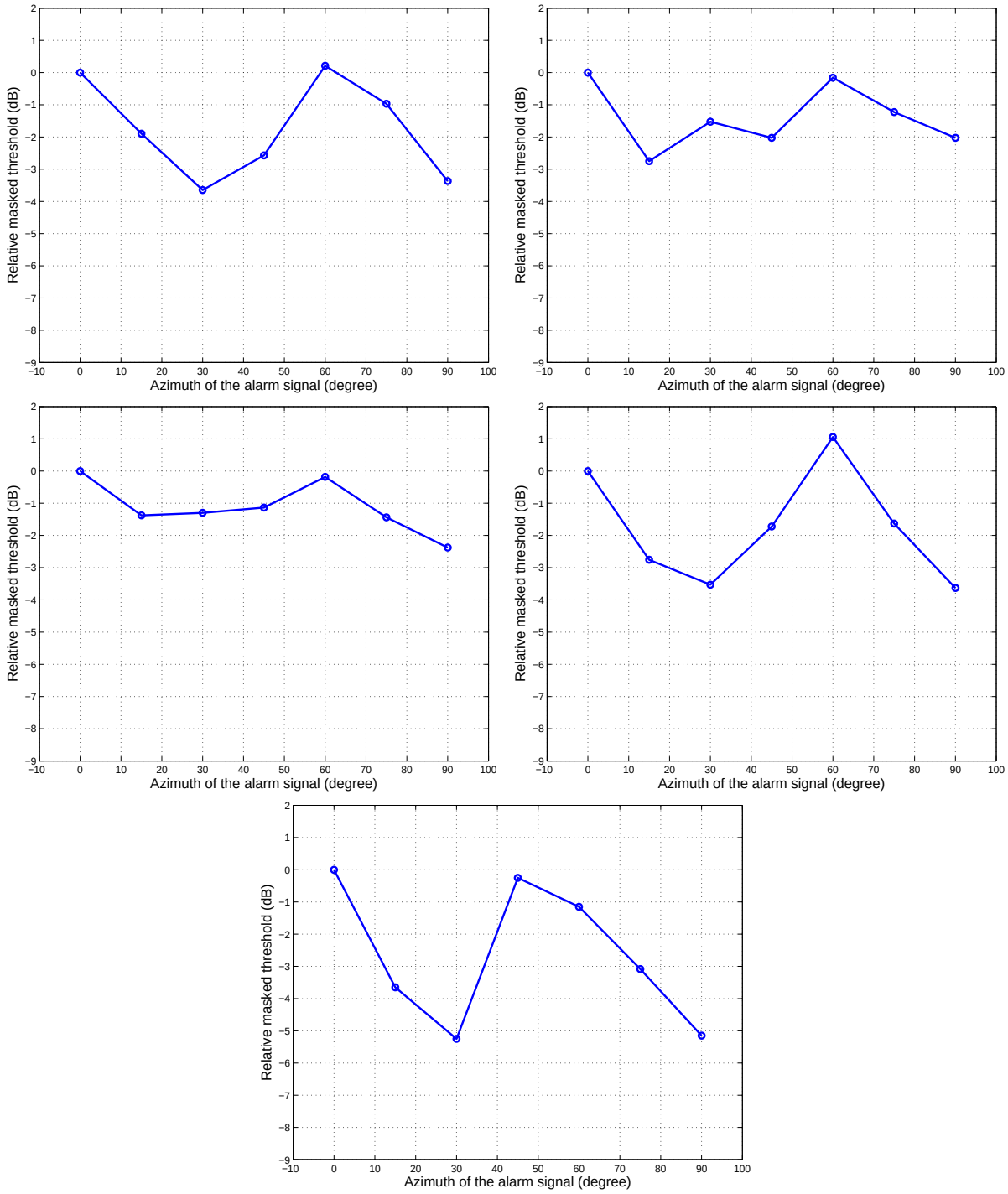

図 8.3: 2.0 kHz の S_m0_m 条件における走行雑音下の報知音 (ON/OFF= 50 ms/ 25 ms) の被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), G (右上), I (左中), J (右中), K (左下), M (右下)

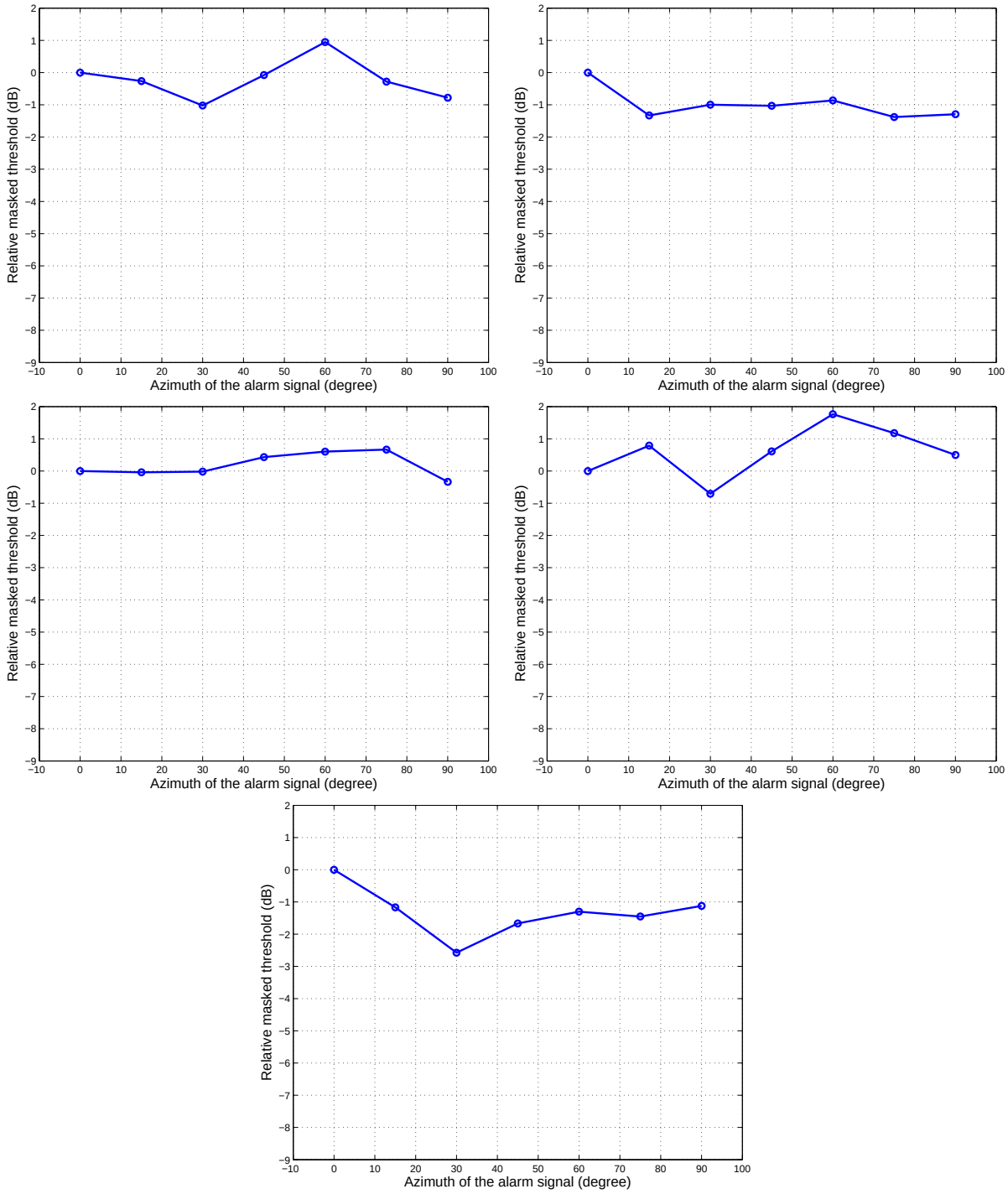

図 8.4: 2.0 kHz の S_m0_m 条件における走行雑音下の報知音 (ON/OFF= 50 ms/ 25 ms) の被験者ごとのマスキング閾値: 被験者 D (左上), G (右上), I (左中), J (右中), K (左下), M (右下)

第9章　結論

9.1　本論分のまとめ

まず本研究および先行研究で得られた知見をまとめておく。第3, 4 章において、白色雑音を被験者の正中面に固定し、信号音が右側に動くようにITD を設定した。第 5 ～ 8 章において、自動車走行雑音を被験者の正中面に固定し、信号音が被験者の正中面から右側に動くようにITD を設定 (S_mN_0) した。さらに、被験者の正中面に信号音を固定し、雑音源が被験者の正中面から右側に動くようにITD を設定 (S_0N_m) した。その結果、以下のようなことが分かった。

1. 白色雑音中でパルス音を用いた場合、SRM はITD のみを手掛かりに生起する。最大マスキング解除量は約 7.5 dB を得たことから、SRM においてITD は重要な手掛かりである。
2. 白色雑音中で報知音を用いた場合、ITD を設定すると同時に成分周波数の IPD も生じる。そのためITD とIPD を手掛かりとして与えたとき、SRM はITD とIPD を手掛かりに生起する。また報知音を両耳間で逆位相条件となるように呈示した場合、低い成分周波数ほどBMLD の効果が大きい。さらに白色雑音のようなスペクトルが一定な雑音では、低い成分周波数ほどマスクされにくい。(表 4.1 参照)。
3. 自動車走行雑音中でパルス音を用いた場合、信号の検知にITD 以外の手掛かりが使えてしまったため、白色雑音で得た知覚特性とは同様の様相を示さなかった。これは本研究で用いた自動車走行雑音の特徴と言える。
4. 自動車走行雑音中で報知音を用いた場合、ITD を設定すると同時に成分周波数のIPD も生じる。そのためITD とIPD を手掛かりとして与えたとき、SRM はITD とIPD を手掛かりに生起する。また報知音を両耳間で逆位相条件となるように呈示した場合、低い成分周波数ほどBMLD の効果が大きい。一方で、本研究で用いた自動車走行雑音のようなスペクトルがピンクノイズに近い性質の雑音では、低い成分周波数ほどマスクされやすい (表 7.1 参照)。

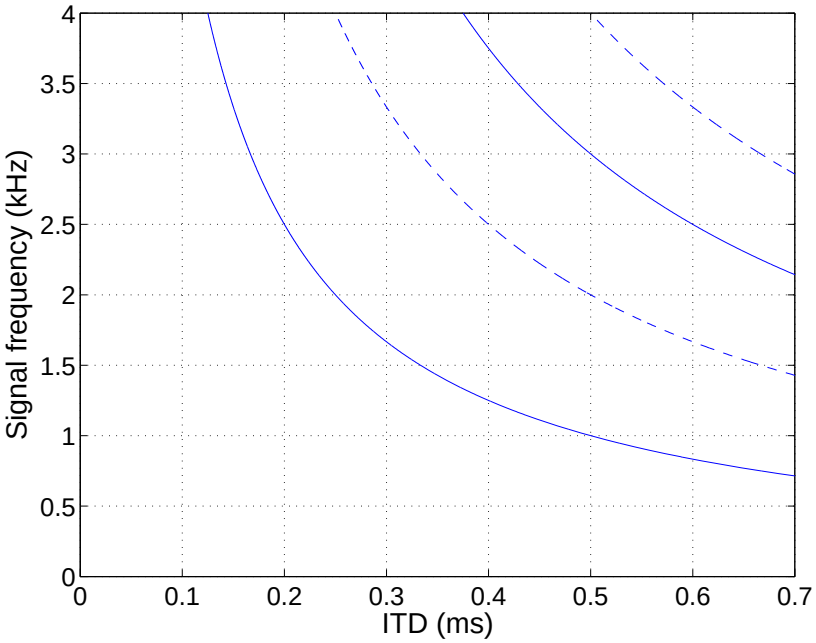

図 9.1: 両耳間時間差と報知音の成分周波数の関係。実線は逆位相条件、破線は同位相条件となる状態を示す。ITD が最大となる場合 (信号音が被験者の右側、または左側から呈示される場合) の時間差は約 0.68 ms である。

9.1.1 成分周波数による逆位相条件の計算法

報知音に逆位相条件となる時間差を与えると知覚しやすくなることから、逆位相条件となる時間差 $\triangle t$ を以下の式 9.1 で表す。

$$\triangle t = \frac{1}{2f} + \frac{n-1}{f} = \frac{2n-1}{f} \tag{9.1}$$

ここで、f は報知音の成分周波数 (Hz)、n は時間差によってずれる周期の数 ($n \geq \frac{1}{2}$) を示す。式 9.1 で算出された時間差と報知音の成分周波数の関係を図 9.1 に示す。式 9.1 で算出された逆位相条件となる時間差 ($n = 1, 2$) は実線で表されている。また、図には同位相条件となる時間差 ($n = 1, 2$) と報知音の成分周波数の関係も示してある (破線)。

9.2 予想されること

9.1 節をもとに、予想されることを述べる。まず、自動車走行雑音を用いた場合では、雑音のスペクトルの傾斜に従って、報知音の成分周波数は高いほどマスクされにくいことが分かった。よって、逆に雑音のスペクトルが高域側で高いような場合は低い周波数ほどマスクされにくいことが予想される。次に本研究では、被験者の正中面を 0 度、被験

者の右耳に垂直方向を 90 度とした場合に、0 ～ 90 度までの範囲を測定したが、被験者の正中面から左側に信号音が動くように ITD を設定した場合をマイナス方向とした場合も、その知覚特性は対象性から右側に信号を動かした場合と同様の傾向であることが予想される。さらに、音呈示にヘッドホンを利用した報知音の知覚特性において、S_mN_0 と S_0N_m が同様の傾向を示したことから、実環境においては報知音と雑音の到来方向による方向差が知覚特性に大きく影響している可能性を示唆した。これによって以下のようなことが予想される。例えば雑音源を被験者の 30 度方向で、用いる報知音の成分周波数は 1.5 kHz であったとする。このとき 1.5 kHz の正弦波の 1 周期は 0.67 ms であるから、半周期は 0.335 ms である。このときの報知音の設置場所は $S_{-15}N_{30}$ か $S_{75}N_{30}$ に設置するとマスクされにくいことが予想される。つまり、雑音の到来方向に対する角度差が 45 度 となるように報知音の ITD を設定するれば、報知音を両耳間で逆位相条件 (厳密には正弦波の半周期分離れた角度差は 45 度ではない) で呈示できると考えられる。

9.3 報知音の設計および呈示方法への提言

以上から、得られた知見と予想をもとに車室内において効果的な報知音の呈示する方法を考察する。自動車は幅広い年齢層のドライバーが運転する。そこで若者から高齢者のドライバーまで、幅広い年齢層の人に知覚されやすい報知音の呈示方法が望まれる。若者と違って、高齢者の聴力は落ちてしまい 1.0 kHz 以上の周波数は聞こえ難くなる。よって報知音の成分周波数は低く設定することが望ましい。しかし、表 7.1 より、被験者の正中面における実際のマスキング閾値の測定値を比べると、高い成分周波数ほどマスクされやすい。一方で、表 7.2 より、最大マスキング解除量に関しては 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 kHz の報知音は近い数値を示している。よって報知音の成分周波数として 1.0 kH を用いた場合でも、方向による聞こえの違いを考慮すれば、報知音はマスクされにくくできる。

ここで、本研究で用いた自動車走行雑音は窓を開けた状態で録音されたため、風きり音とする。車室内において風きり音の到来方向はドライバーの 45 度方向である。またエンジン音を白色雑音に近いスペクトル形状とする。エンジン音の到来方向はドライバーの正中面である。1.0 kHz の成分周波数の報知音を使わなければ成らないという制約のもと、この二つの雑音にマスクされにくいような報知音の呈示方を考える場合、まず両者の雑音のスペクトルに注目しなければならない。そうした場合、風きり音の方が報知音をマスクしやすいことから、風きり音に対して大きなマスキング解除量を得るように、報知音が両耳間で逆位相条件で呈示される位置が望ましい。よって報知音の設置場所の候補としてドライバーの −15 度方向が考えられる。しかしエンジン音は走行中常に存在する雑音であるため、エンジン音に対してもマスクされにくくすることが望ましい。この両者の関係を考慮して、報知音の設置場所として、ドライバーの −30 度方向に着目する。図?? より、エンジン音に対しては $S_{-30}N_0$ 条件でマスキング解除量が約 5 dB ほど得られると考えられる。また風きり音に対しては、図 5.1 より $S_{-30}N_{45}$ 条件でマスキング解除量が約 7 dB ほど得られると考えられる。以上から、これらのことを考慮して効果的な報知音の呈

示方法を提言をする。まず高齢者まで知覚しやすい報知音に設定するために、成分周波数は 1.0 kHz にする。次に雑音の性質とその到来方向を考慮する。今回はエンジン音と風きり音を対象としているため、この二つの雑音の到来方向を考慮して、ドライバーの −30 度方向に報知音源を設置する。

9.4 今後の展望

報知音を実環境で用いた場合に、機器の使用者に対して正確に知覚させるためには、まだまだ考察すべき点が残されている。以下に、報知音の設計および呈示方法について今後の展望を示す。

- 第 2 章で示した報知音の知覚特性の測定手順 (図 2.1 参照) に沿って引き続き実験を行うことで、知覚特性に与える要因を明らかにする。
  - 報知音は実環境で使用することから、最終的には実環境で知覚特性の測定を行う必要がある。そのために、以下の手順で実験を進めることで報知音の知覚特性に与える要因を明らかにすることができると考えられる。
    - ILD を手掛かりとしたときの知覚特性の測定
    - ITD と ILD を手掛かりとしたときの知覚特性の測定
    - 頭部伝達関数を畳み込んだ刺激音を用いた知覚特性の測定
    - 防音室内でスピーカ呈示による知覚特性の測定
    - 実環境でスピーカ呈示による知覚特性の測定
- 複数の周波数成分を持つ報知音を用いた知覚特性の測定を行う。
  - 報知音は周波数成分を多く含む方が知覚しやすく、音源の位置を特定しやすいと言われている [2] ことから、倍音を含んだ報知音を使用して知覚特性の測定を行う。また、このときの IPD の影響についても考察する。
- ITD の手掛かりをより効果的に利用できる信号音を用いて知覚特性の測定を行う。
  - 本研究では、ITD をより手掛かりにできる刺激パターンについて検討したが、結果的に ON/OFF のパターンを変化させる方法では、より ITD を手掛かりにできるものではなかった。報知音の立ち上がり、立下りの変化を急峻にさせた方が ITD をより手掛かりにできると考えらえられる。

以上の課題を達成することで、より良い報知音の性質、呈示方法について指針を与えることができると考えられる。また、今後の社会では、報知音だけでなく音声による情報伝達もさらに増加していくと考えられる。そこで、本研究およびこれらの課題から得られた知見が、音声による情報伝達方法に対しても指針を与え、また、科学的な側面においては

カクテルパーティー効果などの音の知覚に関する研究の発展に貢献することを期待している。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、熱心な御指導並びに御協力賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 鵜木祐史 准教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、多大なる御指導並びに御鞭撻賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 赤木正人 教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、日頃から熱心な議論並びに貴重な御助言賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 党建武 教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、多忙な中、時間の合間を縫って実験に参加してくれた、柴野洋平くん、細呂木谷敏弘くん、簑輪明子さん、村上泰樹くん、木谷俊介くん、平松壮汰くん、浜田大樹くん、手塚崇史くん、友池誠二くん、柴田武志くん、草場美紗さんに心より感謝致します。

日頃の研究生活において、多くの御助言ならびに激励を賜りました、北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 研究生の西本博則さん、博士後期課程の羽二生篤さん、並びに、音情報処理学講座の皆様、知能情報処理学講座の皆様、及び諸先輩方に厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、石川県での 2 年間の研究生活を、いつも暖かく見守ってくれて、心の支えとなってくれた両親、兄、並びに多くの友人たち、諸先輩方、後輩たち、そして多くの知人の方々に心より感謝致します。

これまでの人生の中で出会った多くの方々の支えがあって、本論文を執筆することができました。本当にありがとうございました。

参考文献

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

[2] S. Kuwano, S. Namba and T. Mizunami, "Desirable properties for identification of auditory warning signals," *Acoust. Sci. & Tech.*, **22** (4), 311-314, 2001.

[3] 倉片 憲治, "音のユニバーサル・デザイン —家電製品報知音の標準化—," 日本音響学会誌 58 巻 6 号, 360-365, 2002.

[4] 土田 義郎, 松岡 政治, 小村 二郎, 大成 直子, "家庭内背景音下での報知音の聴取閾値," 日本音響学会講演論文集 (秋), 377-378, 1999.

[5] 崔鍾大, "自動車内の各種サイン音にとって望ましい音響特性," 九州芸術工科大学博士論文, 2004

[6] 崔 鍾 大, 毎熊 亮, 山内 勝也, 高田 正幸, 岩宮 眞一郎, "自動車内のリバース報知音にとって望ましい音響特性," 日本音響学会誌 61 巻 3 号, 118-125, 2005.

[7] 馬場 紘彦, 江端 正直, "救急車の警告音の検知に関する研究," 日本音響学会誌 52 巻 4 号, 244-252, 1996.

[8] 水浪 田鶴, 下迫 晴加, 松下 一馬, 倉方 憲治, "JIS S 0013 における報知音 (終了音・注意音) の推奨 ON/OFF パターンの追検討," 日本人間工学会誌, 40(5), 264-271, 2004

[9] K. Saberi, L. Dostal, T. Sadralodbai, V. Bull and D.R. Perrot, "Free-field release from masking," *J. Acoust. Soc. Am.*, **90** (3), 1355-1370, 1991.

[10] M.L. Hawley, R.Y. Litovsky and J.F. Culling, "The benefit of binaural hearing in a cocktail party: Effect of location and type of interferer," *J. Acoust. Soc. Am.*, **115** (2), 833-843, 2004.

[11] J. Peissig and B. Kollmeier, "Directivity of binaural noise reduction in spatial multiple noise-source arrangements for normal and impaired listeners," *J. Acoust. Soc. Am.*, **101** (3), 1660-1670, 1997.

[12] D.S. Brungart, “Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers,” *J. Acoust. Soc.*, **109** (3), 1101-1109, 2001.

[13] N.I. Durlach, C.R. Mason, B.G. Shinn-Cunningham, T.L. Arbogast, H.S. Colburn and G.Kidd, Jr., “Informational masking: Counteracting the effects of stimulus uncertainty by decreasing target-masker similarity,” *J. Acoust. Soc.*, **114** (1), 368-379, 2003.

[14] 中西 穣作, 鵜木 祐史, 赤木 正人, “騒音環境下での報知音知覚における報知音の ITD および成分周波数の影響,” 日本音響学会 (春), 2-3-1, 2006.

[15] J. Nakanishi, M. Unoki, M. Akagi“Effect of ITD and Component frequencies on perception of alarm signals in noisy environments,” Journal of Signal Processing, Vol.10, No.4, July, 231-234, 2006.

[16] 西田 鶴代, 筧 一彦, 穂刈 治英, 島田 正治, “音源定位における視覚情報の影響 –FLMP における視覚情報の影響の定量化–,” 日本音響学会誌 55 巻 11 号, 735-741, 1999.

[17] Brian C. J. Moore, An Introduction to the Psychology of Hearing Fifth Edition, Chap. 7, Academic Press, London, 2003.

[18] 伊藤 一仁, “初期聴覚中枢系の神経細胞レベルでの時間情報処理機構に関する研究,” 北陸先端科学技術大学院大学博士論文, 2003.

[19] L.R. Bernstein and C. Trahiotis, “The apparent immunity of high-frequency “transposed” stimuli to low-frequency binaural interference,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **116** (5), 3062-3069, 2004.

[20] C. Lane, N. Kopco, B. Delgutte, B.G. Shinn-Cunningham and H.S. Colburn, “A cat’s cocktail party: Psychophysical, neurophysiological, and computational studies of spatial release from masking,” *Proc. ISH 2003*, 341-347, 2003.

[21] 難波 精一郎, 桑野 園子 共著, 日本音響学会編 音響テクノロジーシリーズ 4: 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社, 東京, 1998.

本研究に関する研究業績

口頭発表

Hideaki Uchiyama, Masashi Unoki, and Masato Akagi, "A study on perception of alarm signal in car environments," *Proc. Nonlinear Circuits and Signal Processing '07 in Shanghai in China*, March 2007 (to be appear).

内山 英昭, 鵜木 祐史, 赤木 正人, "自動車環境下における報知音知覚の検討," 日本音響学会春季講演論文, 2-Q-20, March 2007 (発表予定).