HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	盲人の環境認知補助を目的とする障害物知覚の音響工学的研究
Author(s)	関, 喜一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第3423号
Issue Date	1994-03-25
DOI	https://doi.org/10.11501/3076694
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50023
Type	doctoral thesis
File Information	000000272727.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

博士論文

盲人の環境認知補助を目的とする障害物知覚の音響工学的研究

北海道大学大学院工学研究科生体工学専攻

関　　喜一

博士論文

盲人の環境認知補助を目的とする障害物知覚の音響工学的研究

北海道大学大学院　工学研究科
生体工学専攻　博士後期課程

関　喜一

1994年2月

北海道大学　電子科学研究所
電子情報処理部門　感覚情報研究分野

目次

頁

第１章　序論 …… 1

1-1 研究の背景 …… 1

1-2 障害物知覚 …… 3

1-3 歩行補助装置 …… 6

1-4 本研究の目的 …… 12

1-5 本論文の構成 …… 14

参考文献（第１章） …… 15

第２章　障害物知覚に関する従来の研究 …… 17

2-1 従来の研究の概要 …… 17
2-1-1 従来の仮説 …… 17
2-1-2 "FACIAL VISION" …… 18
2-1-3 その後の研究 …… 18

2-2 従来の研究に対する考察 …… 19
2-2-1 "FACIAL VISION"の第３の報告 …… 19
2-2-2 "FACIAL VISION"の問題点 …… 21
2-2-3 ピッチ変化について …… 23

2-3 第２章のまとめ …… 26

参考文献（第２章） …… 28

第３章　障害物知覚の要因に関する仮説の提唱 …… 30

3-1 障害物知覚の観察 …… 30
3-1-1 歩行時における障害物知覚の実験 …… 30
3-1-2 静止時における障害物知覚の実験 …… 33
3-1-3 考察 …… 34
3-1-4 まとめ …… 35

3-2 反射と障害物知覚の関係 …… 35
3-2-1 先行音効果 …… 36
3-2-2 足音の反射音の音像の変化 …… 38
3-2-3 実験結果との照合 …… 39
3-2-4 先行音効果の基礎実験 …… 41
3-2-5 反射音による距離定位能力の測定 …… 44
3-2-6 まとめ …… 50

3-3 遮音と障害物知覚の関係 …… 50
3-3-1 実験装置 …… 52
3-3-2 障害物知覚の心理実験 …… 53
3-3-3 音場の物理的測定 …… 54
3-3-4 考察 …… 56
3-3-5 まとめ …… 57

3-4 第３章のまとめ …… 58

参考文献（第３章） …… 61

第４章　障害物知覚の要因に関する仮説の検証 …… 62

4-1 仮説１の検証 …… 63
4-1-1 障害物との遭遇の状況設定 …… 64
4-1-2 実験装置 …… 65
4-1-3 先行音効果の確認のための予備実験 …… 67
4-1-4 障害物からの距離変化に対する反射音定位の実験 …… 73
4-1-5 まとめ …… 76

4-2 仮説２の検証 …… 77
4-2-1 実験装置 …… 77
4-2-2 実験方法 …… 79
4-2-3 実験結果と考察 …… 79

4-3 仮説３の検証 …… 81
4-3-1 実験装置 …… 81
4-3-2 実験方法 …… 81
4-3-3 実験結果と考察 …… 81

4-4 仮説４の検証 …… 82
4-4-1 実験装置 …… 82
4-4-2 実験方法 …… 82
4-4-3 実験結果と考察 …… 84

4-5 仮説５の検証 …… 87
4-5-1 実験装置 …… 87
4-5-2 実験方法 …… 87
4-5-3 実験結果と考察 …… 87

4-6 第４章のまとめ …… 89

付録4-1 Thurstoneのケース Ⅴ に基づく心理尺度の構成 …… 89

参考文献（第４章） …… 90

第５章　結論 …… 91

5-1 本研究の結論の要約と今後の課題 …… 91

5-2 今後の展望 …… 92

参考文献（第５章） …… 94

謝　辞 …… 95

業　績 …… 98

第１章　序論

1-1 研究の背景

我国の視覚障害児・者*1の総数は、1991年の厚生省の調査[1]では約356,900人（視覚障害児約3,900人、視覚障害者約353,000人）と報告されている。そのうち約半数は1、2級の重度視覚障害である。

視覚に障害を負うことよって如何なる不自由を強いられるかは、正眼者*2には容易に想像のつかないものがある。しかし、然るべき特殊教育、またはリハビリテーション*3を行うことによって、正眼者に近い、少なくとも通常の日常生活に困らないレベルの生活能力を視覚障害児・者が得られることが期待できる。

視覚障害児・者の特殊教育・リハビリテーションにおいて、生活能力のうち特に歩行能力の獲得は最も重要な課題の1つである。「歩行」という行動は、「定位（orientation）＝環境認知」と「身体移動（mobility）＝歩行運動」の2つの要素が調和してはじめて可能になる[2]。視覚に依存することが困難な視覚障害児・者が歩行するためには、視覚以外の残された感覚を有効に活用し、また必要な場合は補助具を使用して、環境認知の機能を損なうことのないようにしなければならない。

視覚以外の残された感覚を有効に活用することは、視覚障害児・者の環境認知の基本であり、聴覚・触覚・自己受容感覚・嗅覚等を活用

---

*1 身体障害者福祉法第4条に基づき、同法別表に定められた「視覚障害」に該当する者。年齢18才未満を「視覚障害児」、年齢18才以上を「視覚障害者」とする。視覚障害の等級は1級～6級まで定められている。

*2 視覚に障害を持たない者。「晴眼者」ともいう。

*3 「特殊教育」、「リハビリテーション」はそれぞれ主に、先天性障害児、中途障害者の教育・訓練を表す。

する訓練が各視覚障害教育機関で行われている。本論文の主題である「障害物知覚(obstacle sense)」（詳細は1-2で述べる）は、聴覚を活かした環境認知方法の1つである。

また、残された感覚に加えて、更にその活用範囲を広げるために、補助具を使用した歩行方法が考え出されている。「白杖歩行法」は、白杖（盲人安全杖）を使用して歩行する方法であり、1940年代にアメリカの眼科医Richard Hooverによって体系づけられたことから、Hoover法とも呼ばれている[3)]。現在白杖歩行法は視覚障害児・者の歩行訓練の基本と位置づけられている。また「盲導犬歩行法」は、科学的に訓練された盲導犬を伴って歩行する方法であり、1916年にドイツで開始された[4)]。我国では1957年から実質的な訓練事業が開始され、現在8団体が同歩行法による歩行訓練を行っている。我国での盲導犬の普及状況は、1990年9月末までに実働頭数713頭（作出頭数1,257頭）を数えている[5)]。

更に、残された感覚や白杖及び盲導犬だけでは不十分な環境認知機能を補うものとして、超音波センサや光センサ等の電子技術を利用した「歩行補助装置」なるものが、1960～70年代にかけて盛んに考案された。歩行補助装置は白杖または盲導犬と併用することを前提として開発されており、白杖または盲導犬が「1次的補助具(primary aid)」と呼ばれるのに対し、歩行補助装置は「2次的補助具(secondary aid)」と呼ばれる[6)]。我国では、数種類ある歩行補助装置のうち超音波センサを用いた2機種が導入され、1976年からこれらを使用した訓練が開始された。我国での歩行補助装置による訓練実績は、1991年9月までに2機種合計で233例である[7)]。（歩行補助装置についての詳細は1-3で述べる）

視覚障害児・者の歩行方法は、上述のように、視覚以外の残された感覚を有効に活用するところから、白杖及び盲導犬、そして電子技術を利用した歩行補助装置を使用する等、様々な方法論を以て発展し、今日に至っている。そして、これらの方法論の更なる発展と、普及が望まれている。

しかし一方で、克服しなければならない社会的及び技術的課題が多いのも事実である。

社会的な問題点を例にとると、まず「歩行訓練士*4」の絶対数が不足していることが挙げられる。我国には、歩行訓練の対象となる重度視覚障害児・者が約20万人いるのに対して、実働歩行訓練士数は1991年10月までに僅か190名である[8]。また盲導犬の普及に関しては、盲導犬歩行法が非常に優れた歩行方法であることが一般的に認められつつあるにもかかわらず、盲導犬の育成・訓練事業は未だ社会福祉法の枠外であり、資金の大半を寄付・募金に頼っているのが現状である。上述の盲導犬の実働頭数は、盲導犬の貸与の対象となる1級の視覚障害者全体の1%未満に過ぎない[5]。

また、残された感覚を有効に活用する訓練方法の発展、及び歩行補助装置の普及・改良についても、社会的及び技術的な問題点が多く残されている。特にこの2点については次の1-2及び1-3で詳しく述べる。

1-2 障害物知覚

視覚以外の残された感覚を有効に活用することは、視覚障害児・者の環境認知の基本であることを1-1で述べたが、その中で最も重要なものの1つに「障害物知覚(obstacle sense)」がある。

障害物知覚とは「(手の届かない少し離れた場所にあって)音等正確な手がかりを発していないようにみえる対象の存在を、非視覚的に知り定位する能力[9]」と定義づけられている。現に、視覚以外の残さ

---

*4 社会福祉法人日本ライトハウスが厚生省の委託を受けて行う歩行指導員養成課程、または国立身体障害者リハビリテーションセンター学院視覚障害者生活訓練専門職養成課程を修了して、視覚障害児・者の歩行訓練に携わる者。

れた感覚を有効に活用する経験が豊富な盲人*5の多くは、視覚情報に依存せずとも、離れた場所にある障害物の存在を知覚することができる。更にこの能力に優れた者は、障害物の存在の知覚みならず、障害物の距離、方向の認識、また場合によっては大きさ、形状、材質の弁別が可能であるとされる[11)12)]。（図1-1）

障害物知覚は、かつては「顔の眼、または顔面視力（facial vision）」とも呼ばれ、その要因は謎とされてきた。障害物知覚の能力を有する盲人自身も、障害物に接近すると顔等に圧迫感を感じる等の印象があるだけで、その要因は分からないのである。今世紀になって、障害物知覚の要因を科学的に解明する研究が行われるようになり、その結果、障害物知覚が聴覚による音響心理現象であることだけは解明されている[9)]。しかし、それ以後の研究は、障害物知覚が音響心理現象であることが解明さたのにもかかわらず、その殆どが音響学的知見を十分考慮に入れないで行われているため、詳細は依然として不明確な点が多いままとなっている（詳しくは第2章で述べる）。

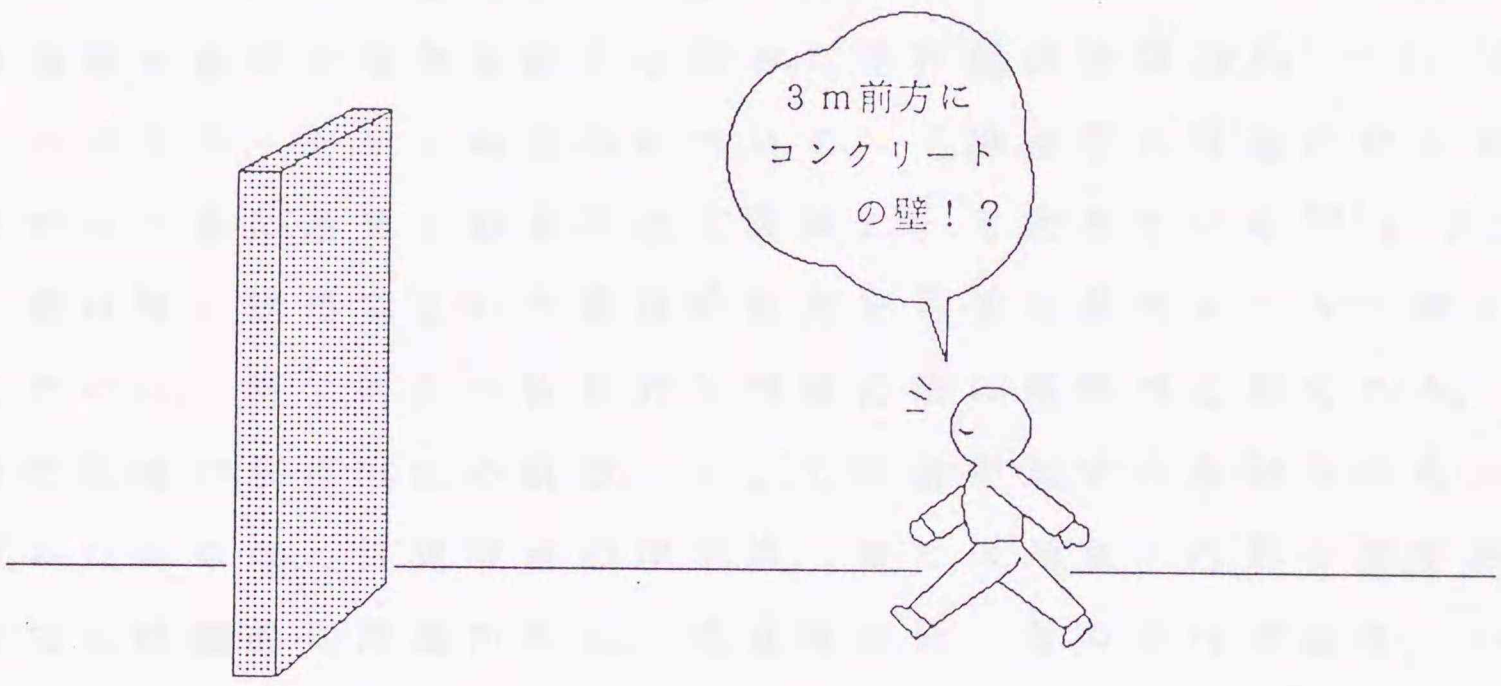


図 1-1　障害物知覚の1例

---

*5　視覚を用いて日常生活を行うことが困難な者。視覚障害は「盲」と「弱視」に分類される。弱視者とは、視覚による日常生活は可能であるが、著しく不自由である者をいう[10)]。

現在のところ、視覚障害児・者の特殊教育・リハビリテーションにおいて、残された感覚のうち聴覚を有効に活用する訓練は、音を発する対象物（自動車や自動ドア等）の認知を想定したものが殆どである。障害物知覚即ち音を発しない対象物を聴覚で認知することを想定した訓練は、一部の訓練士が被訓練者の顔に板を近づけて感じ方の変化を覚え込ませる等の方法で訓練を行っている以外、実質殆ど行われていないのが現状であり、視覚障害児・者自身が歩行訓練や日常生活の中で経験的に獲得していくことに任せている場合が多い。障害物知覚の訓練方法については、歩行指導書等に簡潔な記述[13]がみられるものの、障害物知覚の要因の詳細が解明されてない以上、科学的かつ体系的方法論は存在していないのが現状である。

障害物知覚の獲得を想定した視覚障害児・者の聴覚訓練(auditory training)の重要性については、1963年にWright[14]がその基本理念を打ち出している。しかし、現状は上述の通りである。視覚障害児・者が経験的に障害物知覚を獲得することに任せている現行の方法では、獲得に時間がかかり過ぎたり、経験にばらつきがでたり、また人によっては獲得できない場合も起こり得る。世界保健機関(WHO)では、障害者のリハビリテーションの目的について、「障害者の機能的能力を可能な最大レベルに達せしめること（抜粋）」と定めている[15]。視覚障害児・者の障害物知覚という機能的能力を可能な最大レベルへ達せしめるためには、科学的かつ体系的な訓練方法の構築が必要である。

障害物知覚の訓練方法の構築、そして障害物知覚の有効な活用方法の構築のためには、視覚障害心理学的、または知覚・行動心理学的研究だけでは技術的に問題がある。視覚障害児・者の歩行方法は、1-1で述べたように、様々な方法論を以て発展してきたが、それらの方法論の中には「視覚障害」とは一見何等関係のない科学（例えば、盲導犬については「イヌ」の行動に関する科学）の導入によって可能となったものがある。障害物知覚の訓練方法、及び有効な活用方法の構築には、その要因の詳細な解明が必要であり、障害物知覚が音響心理現象である以上、「音響学」という科学の本格的な導入が必要である。

1-3 歩行補助装置

残された感覚や白杖及び盲導犬だけでは不十分な環境認知機能を補うものとして、超音波センサや光センサ等の電子技術を利用した「歩行補助装置」なるものが存在することは1-1で述べた。

歩行補助装置は2つに大別される。1つは、これから進むべき歩行路についてのみの情報を提供することを目的としたもので、「歩行安全指示器」あるいは「障害物探知器」と呼ばれる。もう1つは、広範囲に直前の環境についての情報を提供することを目的としたもので、「環境探知器」と呼ばれる。

現在我国に導入されている歩行補助装置は、「ソニックガイド(Sonicguide)」及び「モーワットセンサ(Mowat sensor)」の2機種であり、両機種とも使用方法によっては環境探知器の機能を持つ。

ソニックガイドは、1969～1974年にかけてイギリス人技術者Lasley Kayがニュージーランドにおいて幾度もの改良の末完成させたもので、眼鏡型超音波探知器である（図1-2）。この装置は、前方約5m、左右幅約3mの領域を超音波センサによって探索し、得られた環境情報を可聴周波数の信号音に変換して聴覚から提示するものである。この装置が提示する信号音の両耳情報及び音色により、探索領域内の物体の距離、方向、大きさの認識、及び材質の弁別が可能である。

モーワットセンサは、1972年ニュージーランドの電気技師Geoff Mowatが開発したもので、懐中電灯型超音波探知器である（図1-3）。この装置は、前方最大4mの距離内を超音波センサによって探索し、得られた情報を振動刺激に変換して触覚から提示するものである。この装置が提示する振動刺激の周波数により、探索距離内の物体の距離の認識が可能である。

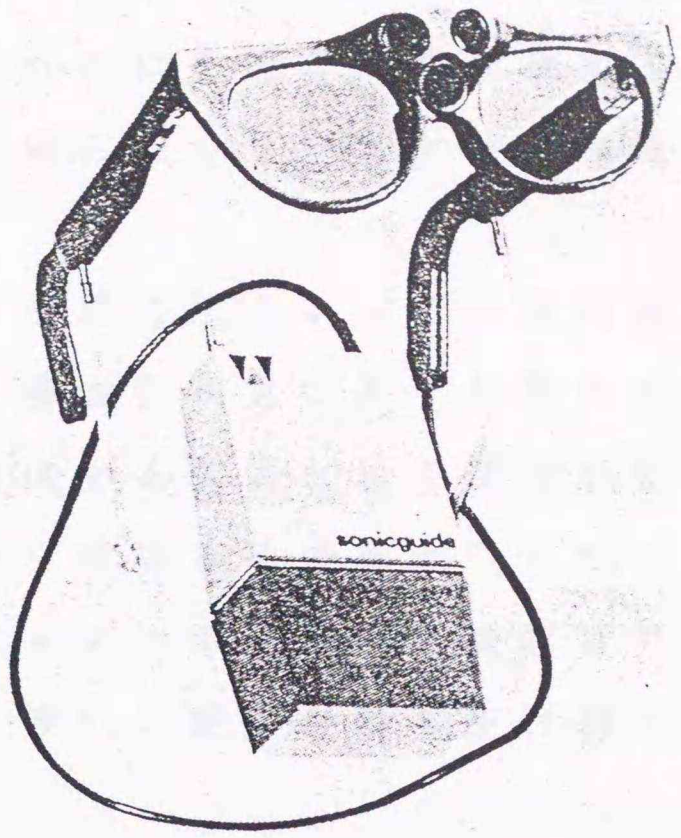


図 1-2　ソニックガイド(Sonicguide)の外観図[16]

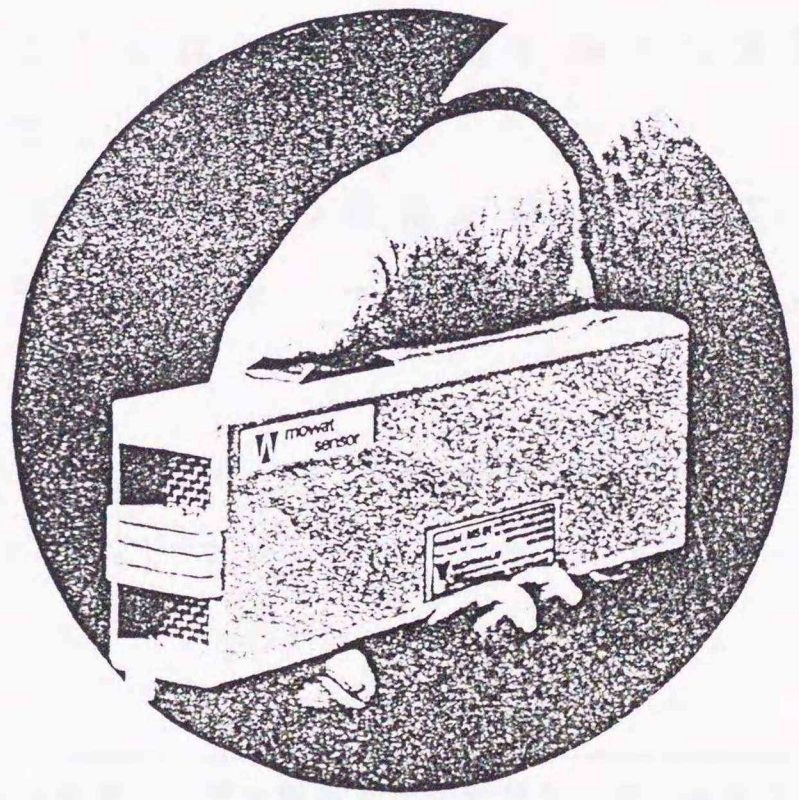


図 1-3　モーワットセンサ(Mowat sensor)の外観図[6]

両歩行補助装置とも、提示される信号音や振動刺激によって環境認知ができるようになるための特殊な訓練を要する。ソニックガイドの訓練期間は最低約3週間、モーワットセンサは最低約1週間である。（以上文献[6]）

両歩行補助装置は、使用方法によっては環境探知器の機能を持ち、白杖や盲導犬、または障害物知覚のような残された感覚だけでは得ることが困難な情報を提供する装置として期待が寄せられた。歩行補助装置は更に、単に歩行における補助具としてだけではなく、視覚障害児・者のレクリエーションへの活用等も検討されたことがある[16]。そして電子技術の発展に伴い、更に有効な歩行補助装置の開発も期待された。

しかし、これらの期待は歩行補助装置を始めとする障害者の福祉機器*6の流通事情、または歩行補助装置を使用した訓練の実状に関わる社会的問題、及び歩行補助装置の仕様に関わる技術的問題に阻まれ、歩行補助装置の普及・改良は難航しているのが現状である。

1-1で述べた歩行補助装置による訓練実績233例（ソニックガイド122例、モーワットセンサ111例）は、歩行訓練の対象となる重度視覚障害児・者数約20万人と比べると、あまりにも貧弱な数である。この理由は大きく分けて2つある。

1つは、歩行補助装置本体の価格が高いことである（ソニックガイドは約60万円、モーワットセンサは約10万円）。これらの購入費用は、

---

*6 別名リハビリテーション機器。「福祉機器」なる用語は、厚生省及び全国社会福祉協議会主催の第1回社会福祉機器展（1974年東京）が開催された頃から使われはじめたとされる。リハビリテーション機器（福祉機器）とは、リハビリテーションを必要とする対象者の、日常生活及び社会生活におけるその活動を支援し、あるいは増大させるために工夫されたすべての機器をいう[17]。

ソニックガイドを補装具*7として認定している横浜市と神奈川県以外、原則として視覚障害児・者の全額自己負担である。歩行補助装置を始めとする障害者の福祉機器の多くが、量産ではなく受注生産の形式を採らざるを得ないため、低価格化は非常に難しいのが現状である。また、公的研究機関が新たに福祉機器を開発した場合、生産・商品化については民間企業に委託することになるが、経済的利益を殆ど生み出すことのない歩行補助装置の生産・商品化を民間企業が引き受ける例は極めて少ない。ある視覚障害教育機関が、既に国外で開発されている歩行補助装置の商品化を民間企業へ依頼したところ、費用が回収できないとの理由から断られた例もある[19]。このような歩行補助装置を始めとする障害者の福祉機器の流通事情が改善されない限り、多くの視覚障害児・者が歩行補助装置を日常生活での歩行において気軽に活用することは極めて困難である。

2つめの理由は、歩行補助装置を使用した歩行訓練を行う歩行訓練士（ソニックガイド及びモーワットセンサ指導員*8）の絶対数の不足である。歩行訓練士の絶対数の不足に加えて、歩行補助装置指導員は更に数が少なく、我国の1991年までの指導員数はソニックガイド指導員25名、モーワットセンサ指導員44名である（実働指導員数は更に少ない）[7]。この現状では、視覚障害児・者が歩行補助装置の有効性を知り訓練を受けることを希望しても、訓練を受けられないという事態

---

*7 身体の障害に対してその可動域を拡大し、職業や日常生活における操作性を改善するために身体に装着する器具をいう。補装具として認定されている器具の購入の際には、公的な経済援助が受けられる（補装具の交付）。視覚障害児・者の補装具としては、一般に、矯正用等の眼鏡、義眼、盲人安全杖、点字器が認定されている[18]。

*8 社会福祉法人日本ライトハウスが両歩行補助装置の製造元（ Wormald International Sensory Aids Limited（ 現在Pulse Data International Limited ））の認可を得て行っているソニックガイド及びモーワットセンサ指導員養成講習会を修了し、歩行補助装置を使用した訓練を行う者。同講習会は、1975年に三菱財団の助成事業の一環として開始された。

が起こり得る。歩行補助装置指導員の資格を持たない歩行訓練士が、歩行補助装置の使用を希望する視覚障害者のために、民間の視覚障害者援護団体から寄付を募りやっと歩行補助装置指導員の資格を取得して訓練を行えたという例[8]もあるが、これは好運な一例である。歩行補助装置の訓練に限らず視覚障害者のリハビリテーションそのものが公的制度化していない我国においては、特殊な訓練を要する歩行補助装置が普及することは極めて難しいのが現状である。

また、従来の歩行補助装置のハードウェアにも技術的問題がないわけではない。1-1で述べた訓練実績233例はあくまで訓練実績なのであって、実働台数ではない。高価な歩行補助装置を購入し、かつ困難な状況において歩行補助装置を使用した歩行訓練を受けたのにもかかわらず、訓練終了後継続して使用し続けている例は少ないとされる。特にモーワットセンサよりソニックガイドの方が使用を中止する例が多いとされるが、その理由として、「(1)生活地域の歩行においては白杖だけで十分でありソニックガイドでの探索はあまり必要ではない（即ち視覚障害児・者の日常生活にとっては過剰性能であり、視覚障害児・者が日常生活の歩行においてどのような情報を必要としているか的が十分に絞られていない）」、「(2)ソニックガイドは眼鏡部分が太く重いので長時間掛けにくい（携帯方法の問題）」等が挙げられ[20]、また非公式ではあるが「(3)提示される信号音が自然の音の聞こえを妨げる（情報提示方法の問題）」等の理由も聞かれる。

特に(1)の「視覚障害児・者が日常生活の歩行においてどのような情報を必要としているか」は、歩行補助装置開発における究極の問題であり、我国で行われた歩行補助装置の開発計画*9が失敗に終わった理由も、この問題を解決できなかったことが最大の理由とされる[7]。高度な電子技術にものをいわせ、必要以上に高性能な装置を開発するだ

---

*9 1979年に、通産省関連の研究事業、医療福祉機器技術研究開発委託制度により、我国独自の歩行補助装置を開発することを目的として開始された。しかし、開発は失敗に終わっている。

けでは、視覚障害児・者の日常生活の中でのニーズには答えられないのである。

また、(3)の「情報提示方法の問題」は、特に聴覚的経験の豊富な先天盲*10から多く訴えられるとされる。装置が提示する信号音は、単に自然の音の聞こえを阻害しかねないばかりか、この信号音による環境認知の概念と、先天盲の多くが備えている障害物知覚のような自然の聴覚による環境認知の概念とは明らかに異なるものであるため、違和感を生じることがある。(3)の問題について、ソニックガイドの普及に携わる視覚障害教育機関では、「電子機器について正しい理解をし、一度肯定的な評価をしてみることが大切である」という立場に立ち、事実上解決できない問題として捉えていくという考え方をしている場合もある[19]。しかし、「自然の音の聞こえ」は視覚障害児・者の環境認知にとって非常に重要であり、障害物知覚のような「残された感覚を有効に活用する方法」と、歩行補助装置のような「補助具」が対立することのないよう今後考えて行かなければならない。

以上のように、歩行補助装置の普及・改良は、歩行補助装置を始めとする障害者の福祉機器の流通事情、または歩行補助装置を使用した訓練の実状に関わる社会的問題、及び歩行補助装置の仕様に関わる技術的問題に阻まれ、難航しているのが現状である。高度な電子技術の発達とは裏腹に、歩行補助装置の普及・改良活動は現在下火になりつつある。歩行補助装置の交付・訓練を保証する然るべき公的社会制度の確立を熱望するとともに、我々技術者は上述のような技術的問題を解決しなければならない。

---

*10 早期に失明した者。先天盲の「先天」は医学的先天性ではなく心理学的先天性であることに注意しなければならない。正確には「先天および早期失明盲」というべきであるという指摘もある[21]。

1-4 本研究の目的

視覚障害児・者の歩行方法は、視覚以外の残された感覚を有効に活用するところから、白杖及び盲導犬、そして電子技術を利用した歩行補助装置を使用する等、様々な方法論を以て発展し、これらの方法論の更なる発展と普及が望まれる一方で、克服しなければならない社会的及び技術的課題が多いことを1-1～1-3で述べた。

歩行訓練、及び盲導犬や歩行補助装置の普及に関わる社会的問題の一日も早い解決を願いつつ、本研究は、残された感覚を有効に活用する一手法である「障害物知覚」の訓練方法と、「歩行補助装置」の仕様に関する技術的問題の解決のために、以下に示す事項を最終目標と定める。

1. 音響学的手段により、視覚障害児・者の特殊教育・リハビリテーションにおける障害物知覚獲得のための聴覚訓練方法を確立する。

2. 障害物知覚を獲得した視覚障害児・者の歩行補助を目的として、超音波センサや光センサを用いた従来型の方式ではなく、障害物知覚の感度を増強することにより環境認知機能を補う「補聴器方式」の歩行補助装置を開発する。

2. の事項については説明を補足する。本方式は、従来型のようにセンサが捉えた環境情報を信号音や振動刺激で提示する方式ではなく、障害物知覚という聴覚の能力を高めることによって環境認知機能を補う方式である。この方式は、人工的な信号音によって情報を提示する従来型方式の問題として1-3で挙げられた「提示される信号音が自然の音の聞こえを妨げる」ような障害はなくなり、かつ障害物知覚との間に環境認知の概念の矛盾を生じることもない。また、従来型の歩行補助装置が、高価格であり、また訓練を受けられることが社会的に保証されていないのにもかかわらず特殊な訓練を要することから、その使

用を希望する視覚障害児・者の手に殆ど渡らないことは1-3で述べた。本方式は、一種の「補聴器」であり、超音波センサや光センサを用いたいわゆる「探知器」に比べ低価格で実現できる。また特殊な訓練については、1. の事項で掲げた聴覚訓練等により障害物知覚を獲得し、かつ白杖歩行法または盲導犬歩行法を修得していることを条件として、不要となる。

以上に示した2つの最終目標を達成するためには、障害物知覚の要因の詳細を解明することが必要である。本論文は、障害物知覚の要因の詳細を解明するために行った音響心理・物理学的研究の報告である。

1-5 本論文の構成

本論文は全5章で構成されている。各章の内容は、以下に示す通りである。

第1章では、本研究の背景、特に、視覚障害児・者の訓練方法、及び従来の歩行補助装置に関する社会的・技術的問題点について触れた。そして、本研究の2つの最終目標（上述）と、そのために障害物知覚の要因の解明が必要であることを述べた。

第2章では、障害物知覚に関する従来の研究について考察し、その問題点、及びこれから研究を行う上での指針について述べる。

第3章では、障害物知覚の要因を調べる実験を行い、最後に仮説を提唱した。まず盲人の障害物知覚の過程を観察する実験を行う。次に、障害物知覚の物理的要因となると考えられる障害物による「反射」、及び「遮音」の両音響現象について、音響工学的手段を用い、その心理的な知覚特性を調べる。最後に本章で導かれた知見・仮説から、障害物に接近した際に音場から受ける心理的印象の変化を、障害物からの距離の変化に対応させてまとめ、障害物知覚の要因の仮説として提

唱する。

第４章では、第３章で提唱した仮説のうちから５つの仮説を選び、これらを検証するための心理実験を行う。特に、足音（盲人自身が音源である音）、及び環境騒音（盲人自身が音源ではない音）の両方について、障害物に接近に伴い反射音の音像の融合、または移動が知覚されることを立証する。また、障害物近距離における障害物の存在感を盲人に知覚させている物理的要因が環境騒音の反射・遮音であり、かつ距離感が環境騒音の反射音の遅延時間に対応することを示す。

第５章では、本研究の結論の要約と、今後の課題、及び展望について述べる。特に今後の展望においては、本研究で得られた知見より障害物知覚の理論的な訓練方法が構築される可能性について述べ、また「補聴器」式歩行補助装置に関する技術的な言及を行う。

※ 用語について

第１章では、社会制度との対応を明確にする等の理由により、歩行訓練の対象となる「視覚に障害を持つ者」を、脚注[*1]で定義される「視覚障害児・者」、または「重度視覚障害児・者」として記述した。第２章以降では、研究の対象となる「視覚に障害を持つ者」を、脚注[*5]で定義される「盲人」として記述する。

なお、「盲（もう）」という表現はいわゆる差別的表現と誤解されることがまれにあるが、「盲人」を始め「盲児」「盲目」「盲学校」「盲学生」等の表現は差別的表現ではない[22]ことを予め付記しておく。

参考文献（第１章）

1) 厚生省編、「厚生白書」（ぎょうせい、東京、1992）、pp.20～21.

2) 文部省、「歩行指導の手引」（慶應通信、東京、1985)、p.1.

3) 文部省、「歩行指導の手引」（慶應通信、東京、1985)、p.120.

4) 内山喜久監修、「視覚聴覚障害事典」（川崎学術出版社、東京、1978）、p.260.

5) 北海道盲導犬協会、「あゆみ（北海道盲導犬協会20周年記念誌）」（北海道盲導犬協会、札幌、1990）.

6) 日本ライトハウス職業・生活訓練センター、「視覚障害者のリハビリテーション Ⅲ. 電子機器を活用した歩行訓練」（日本ライトハウス、大阪、1979).

7) 面高雅紀、「電子行動補助具の歩みと展望」、第11回歩行指導員特別研究会資料、12～25 (1991).

8) 全国訪問型歩行訓練士の会、「青い空と白いつえ＜訪問編＞ 白杖歩行訓練士の実践リポート」（エルピス社、大阪、1993）.

9) 佐藤泰正、「視覚障害学入門」（学芸図書、東京、1991）、p.68.

10) 佐藤泰正、「視覚障害学入門」（学芸図書、東京、1991）、p.8.

11) W.N.Kellogg, "Sonar system of the blind," The Research Bulletin No.4, American Foundation for the Blind, 55-69 (1964).

12) C.E.Rice, "Human echo perception," Science 155, 656-664 (1967).

13) 文部省、「歩行指導の手引」（慶應通信、東京、1985)、pp.66～73.

14) H.N.Wright, "Principles of auditory training for travel," Proceedings of the International Congress on Technology and Blindness Vol.Ⅱ, 149-157 (1963).

15) 小島蓉子編著、「介護福祉士選書・3 障害者福祉論」（建帛社、東京、1990)、p.115.

16) 面高雅紀、「ソニックガイドについて」、第21回IBMウェルフェアセミナー報告集、83～90（1984）.

17) 日本リハビリテーション医学会、「増補改訂版　リハビリテーション白書　－リハビリテーションの現状と課題－」（医歯薬出版、東京、1982）、p.254.

18) 障害者の生活と権利を守る全国連絡協議会編、「知っておきたい障害者福祉制度活用のすべて＜最新版＞」（真珠社、東京、1989）、p.40.

19) 鎭目和彦、「横浜訓盲院における電子機器による歩行訓練」、第11回歩行指導員特別研究会資料、15～18（1991）.

20) 武内清、「京都ライトハウスにおける電子機器による歩行訓練」、第11回歩行指導員特別研究会資料、12～14（1991）.

21) 内山喜久監修、「視覚聴覚障害事典」（川崎学術出版社、東京、1978）、p.128.

22) 直居鉄、「視覚障害者の介護技術　－介護福祉士のために－」（YNT企画、東京、1990）、p.24.

第２章　障害物知覚に関する従来の研究

本章では、障害物知覚に関する従来の研究を紹介し、それらの問題点、及び反省点から得られる今後の研究の方針について述べる。

2-1 従来の研究の概要

2-1-1 従来の仮説[1)]

現在「障害物知覚」と呼ばれている環境認知能力の存在は古くから知られており、1749年に書かれた「盲人書簡(Letter on the Blind ; Diderot著)」の中にも、盲人の持つこの不思議な能力のことが記されている。

障害物知覚の要因に関しては、かつて幾つかの仮説があった。Supaら[2)]はHayesの分類を紹介している。それによると仮説は大きく３つに分類できる。第１の説は「感覚説(sensory theories)」である。障害物知覚は、ある感覚器官の感度が高められ、その閾値や弁別域が向上した結果得られた能力であるという説である。第２の説は「知覚説(perceptual theories)」である。障害物知覚は皮膚や感覚器官からの感覚的な情報を解釈して、ある１つの知覚能力を構成させた結果得られた能力であるという説である。第３の説は「オカルト説(occult theories)」である。障害物知覚は磁気や電気等を感じる第６感によって得られる能力であるという説である。

このような仮説は、盲人の内観報告等から２つに整理された。第１の説は「皮膚感覚説」である。何人かの盲人は障害物があることを顔面、額、頭頂部等で知覚すると主張した。第２の説は「聴覚説」である。これは障害物の存在が聞こえるという経験に基づいている。

障害物知覚の科学的研究は1904年にHellerによって開始された。Hellerは障害物知覚の手がかりが皮膚感覚にあるのか聴覚なのかを確

かめる実験を行った。被験者にフランネルの布を被らせて皮膚感覚を遮断した状態と、耳栓等で聴覚を遮断した状態、そして最後は床に絨毯を敷いて足音がたたないようにした状態を設定して実験を行った結果、聴覚的な手がかりが重要な要因であることを発見した。

2-1-2 "FACIAL VISION"

1944～1950年にかけて、Cornell大学のSupa、Cotzin、及びDallenbach[2)3)]は盲人の障害物知覚の体系的な研究に着手した。"FACIAL VISION"と題されたこの研究は、障害物知覚の要因を厳密な実験によって調べたものと位置づけられている。

研究報告は「3部作」で、第1の報告では、Hellerの実験と同じように、被験者のある感覚を遮断した条件下で実験を行い、その結果、障害物知覚のために皮膚感覚は必要でも十分でもなく、「耳」が刺激されることが必要十分な条件であることを導いている。第2の報告では、視聴覚複合障害者を被験者として実験を行い、その結果、「耳」のうち、「外耳」に対する刺激は必要十分な条件ではなく、「聴覚」刺激が必要十分であることを導いている。第3の報告では、障害物知覚を誘発する聴覚刺激が障害物からの「反射音」であることを導き、さらにその定量的分析を行っているが、その詳細に関しては2-2-1で説明することにする。

2-1-3 その後の研究

その後、1963～1964年にかけて、Wright[4)]、Welch[5)]、及びKehler[5)]は、障害物知覚の要因となる聴覚刺激に関して、障害物からの「反射音」の他に、障害物による遮音効果等によって作られる「音の影(sound shadow)」の2つが重要な要素となる可能性を指摘している。

しかし、"FACIAL VISION"の後は、障害物知覚の要因をより詳しく調査しようという試みよりも、むしろ障害物知覚における障害物の

検出能力や分解能を定量的に分析する研究が盛んに行われるようになった。

Kellog(1964年)[7]は、障害物の距離、大きさ、材質の弁別能力を調べる実験を行った。まず、直径1ft(約30cm)の木製の円板を障害物と仮定し、遮音室の中で被験者が座った状態で、円板までの距離の違いを一対比較により判断させ、距離の弁別域を測定した。実験条件として、被験者に自由に音(声、舌打ち等)を発生させた。その結果、1人の盲人の被験者は、2ft(約60cm)の距離において4.3inch(約11cm)の違いを弁別できた。この時の比弁別域1/5.6は、片眼による奥行知覚の比弁別域1/2を上回る値であった。また、材質の弁別に関しては、布や木、金属等6種類の材質の違いを弁別させた結果、硬いもの柔らかいものの違いは言うに及ばず、布の中でもベルベットとデニムの違いまで区別することができた。

Rice(1967年)[8]は、Kelloggと同様に自発的に発生させた様々な音を手がかりとした場合の、障害物の形状の大きさ、弁別、方向の弁別能力を調べる実験を行った。その結果、いずれの要素も弁別が可能であるという結果が得られた。

その後、Strellowら(1982年)[9]、及びSchenkmanら(1986年)[10]は、それぞれ足音、及び白杖をつく音の反射音を使って障害物知覚の能力を測定し、報告した。また、Ashmeadら(1989年)[11]らは、先天盲児の障害物知覚の能力を測定し、報告した。

2-2 従来の研究に対する考察

2-2-1 "FACIAL VISION"の第3の報告

障害物知覚の要因を定量的に調べた研究は、"FACIAL VISION"が実質的に最新のものということになる。ここで、2-1-2で保留にしておいた、"FACIAL VISION"の第3の報告[3]の内容を紹介する。

第１と第２の報告で、障害物知覚のために聴覚刺激が必要十分であることを見い出したCotzinとDallenbachは、図2-1に示すような実験装置を用いて実験を行った。方法は、台車の下に取り付けたスピーカから刺激音（純音または白色雑音）を出力し、障害物と仮定した正面の壁からの反射音を、スピーカの下に取り付けたマイクで拾って、遮音室にいる被験者にヘッドホンで聞かせて障害物の有無を判断させるというものであった。台車は被験者がペダルで操作できるようにしてあり、速さはヒトの歩行速度(0～4ft/sec)の範囲で調節できた（4ftは約1.2m）。応答の方法は、被験者が障害物の存在に気付いたところで台車を停止させ、台車と壁までの距離を測定する方法をとった。

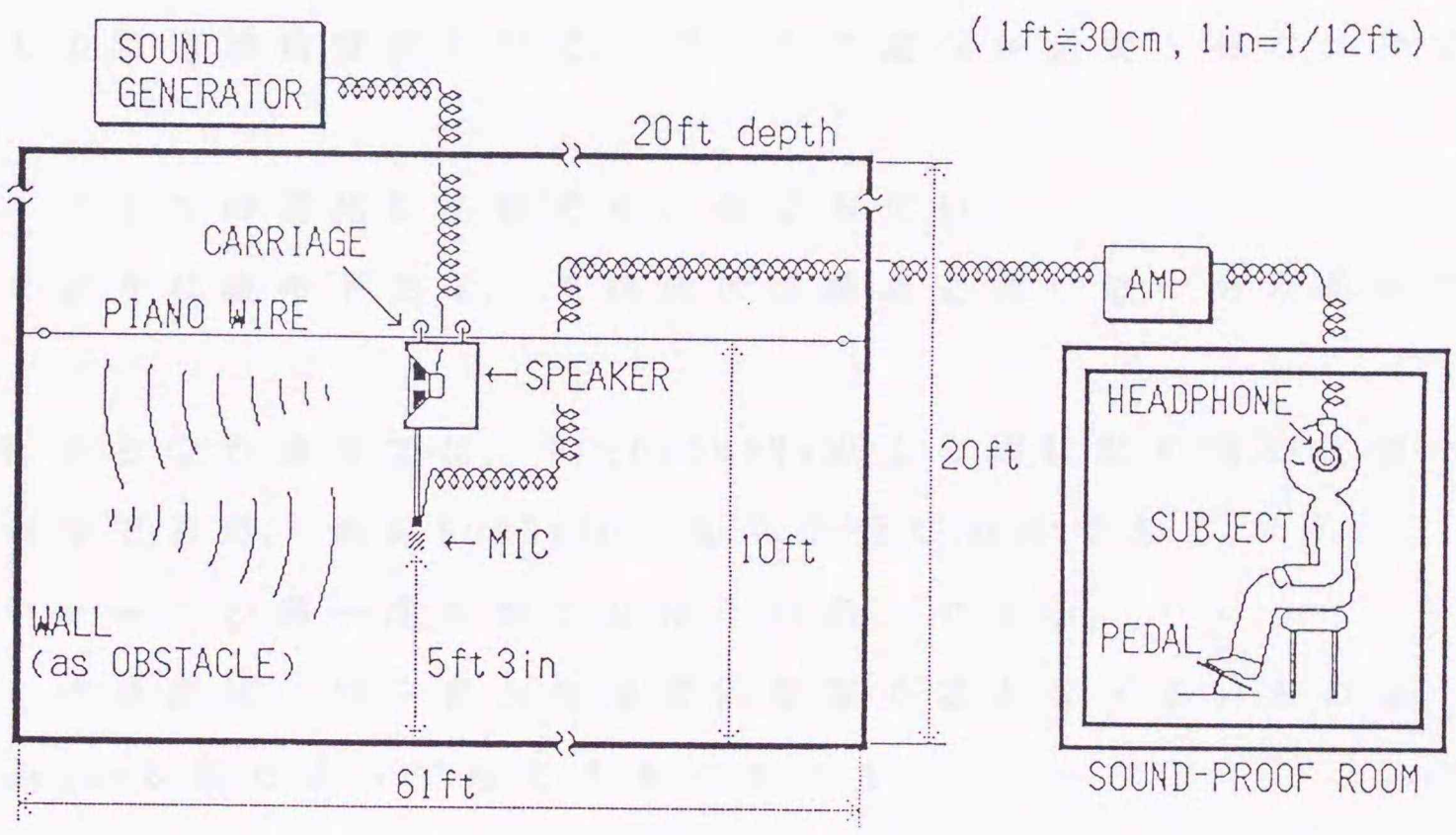


図 2-1 "FACIAL VISION"の第３の報告で用いられた実験装置

そして、正眼者2名（障害物知覚の訓練済み）と盲人2名の計4名を被験者として次のことを確かめる実験を行った。

実験1　足音のような断続音ではなく、連続音で障害物を知覚できるか（刺激音は白色雑音の連続音）。

実験2　刺激音なしで障害物を知覚できるか。

実験3　ピッチ（音の高さ）は障害物知覚においてどんな役割を果たすのか　（刺激音は様々な周波数の純音）。

実験4　ラウドネス（音の大きさ）は障害物知覚においてどんな役割を果たすのか（刺激音は白色雑音）。

その結果、Cotzinらは次のような結論を得た。

(1) 盲人の障害物知覚において、ピッチの変化が必要十分な条件である。

(2) ラウドネスの変化は必要でも十分でもない。

(3) 同じような条件下では、連続音は断続音と同じ位十分な条件である。

(4) 歩行する位の速さでは、約10,000Hz以上の周波数の音が必要十分な条件である。約8,000Hz以下は不十分な条件である。

(5) 高いトーンの単一周波数の音は十分条件である。

(6) ピッチの変化、即ち盲人の障害物知覚の基となっているのは、Doppler効果によって起こるものである。

2-2-2 "FACIAL VISION"の問題点

Cotzinらのこの実験は、実験室内の音をマイクで拾ってヘッドホンで被験者に提示する方法をとっているため、実験室内の音場が正確に被験者のもとで再現されておらず、聴覚の重要な要素である頭部音響伝達特性が全く考慮されていない。従って、この実験によって導かれ

た結果は、音場が正確に再現されなくとも影響のない周波数及び音の大きさだけが手がかりとなり得る状況下に関するものであって、それは一般的な障害物知覚の要因となる音場の変化とは異なっている。

Cotzinらが、Doppler効果によるピッチの変化が障害物知覚に必要十分な条件であると主張する根拠は、「障害物に近付くにつれ、音のピッチが連続的に上がり続ける」という被験者の内観報告に基づいている。Cotzinらは、この音のピッチの変化の様子がDoppler効果に似ていると考察している。しかし、Doppler効果によってピッチが連続的に上がり続けるためには、障害物に向かって加速して行かなければならず、一般的には考え難い。また、仮にCotzinらの主張が正しいとすれば、静止した状態では障害物の存在を知覚できないことになる。（ピッチ変化については2-2-3で更に詳しく述べる）

また、約10,000Hz以上の刺激音が必要であるという実験結果に対するCotzinらの考察にも無理がある。Cotzinらは、歩行する程度の速度(約4ft/sec)で起こるDoppler shiftは約0.53%と僅かであるため、約10,000Hz以上の高い音でなければ周波数変化が被験者には知覚できなかったのであろうと考察している。しかし、Showerら[12]の報告によるヒトの聴覚の周波数の比弁別域の特性を見る限りでは、ヒトの聴覚による約0.53%の周波数変化の弁別は、10,000Hzより低い周波数の範囲でも可能であることが窺える（図2-2）。Cotzinらの実験で何故約10,000Hz未満の刺激音で良い結果が得られなかったのかについては、高音の優位な白色雑音によって被験者を条件付けしたためであるというTwersky（1951年）[13]の考察もあるが、この考察も推測の域を出ず、不明である。いずれにしろこの約10,000以上という条件も、断定的なものではない。

以上のことから、障害物知覚の要因に関するCotzinらの報告は、一般的な障害物知覚の要因を導いたものであるとは考え難い。

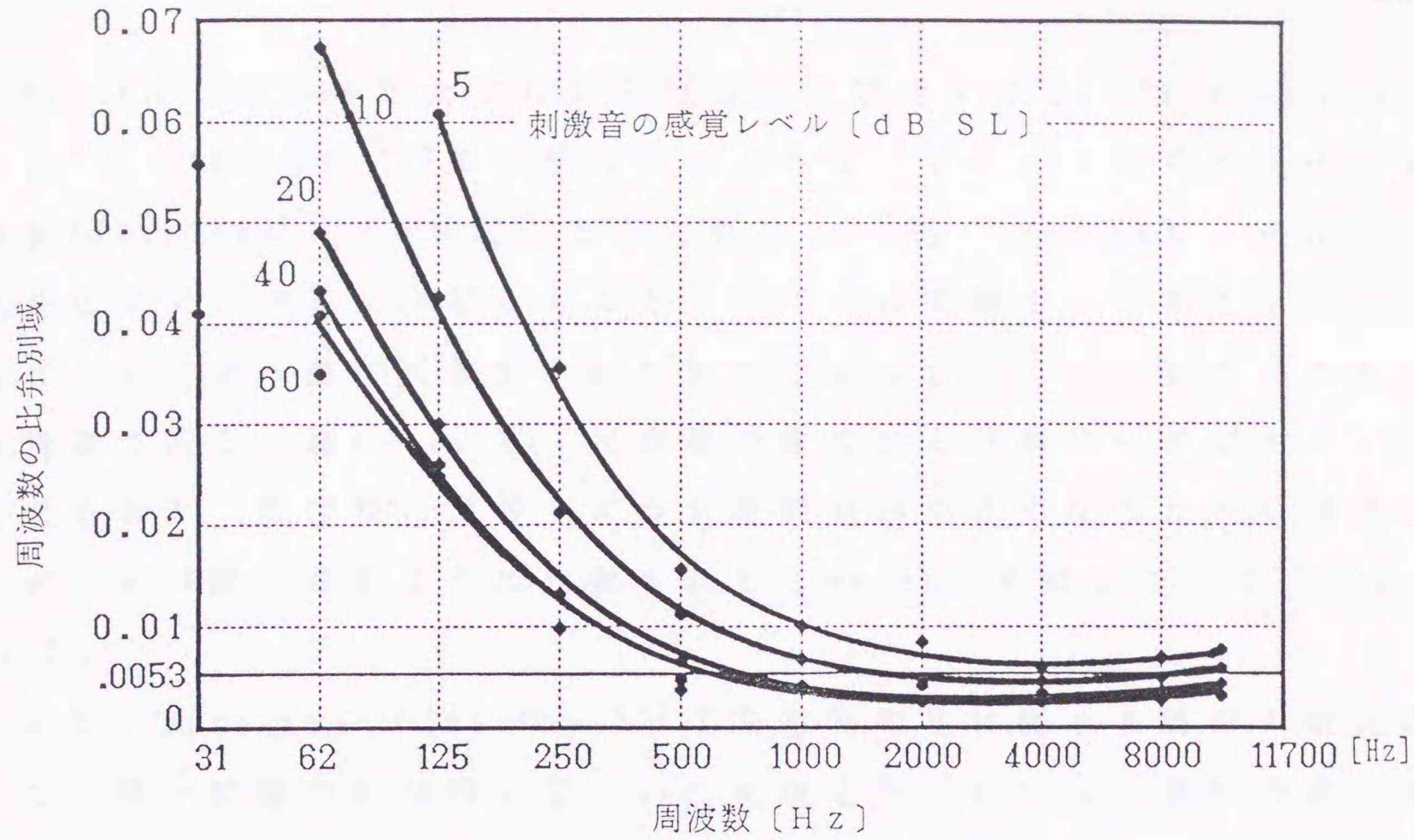


図 2-2　ヒトの聴覚の周波数の比弁別域の特性(Showerら, 1931)[12)]

2-2-3 ピッチ変化について

Cotzinらの「ピッチ変化はDoppler効果によるもの」という考察は、2-2-2で述べたとおり、疑わしいといわざるを得ない。Twerskyは、Cotzinらの実験で反射音のピッチが高くなり続けるように被験者が知覚した理由について、Stevens（1935年）[14)]の報告にあるような音の大きさの増加に伴う心理学的なピッチ上昇知覚（図2-3）によるものであると考察している[12)]。しかしStevensの報告にあるような著しいピッチ変化の心理特性は、現在の研究では報告されておらず[15)]、Twerskyの考察も信憑性に欠ける。結局、Cotzinらの実験で反射音のピッチが高くなり続けるように被験者が知覚した理由は、今をもって不明である。

しかし、CotzinらやTwerskyが考察した理由とはまた別の理由により、障害物に接近するとピッチ変化が知覚される可能性があるという考察が報告されている。

Welchは、足音等をたてながら障害物に接近すると、Thurlow（1955年）[16]（1957年）[17]の報告にあるようなダブルパルスのピッチ知覚現象(Thurlowピッチ)が起こると考察している。Thurlowピッチは、周期的なダブルパルスが聞こえると、パルスの間隔を1周期とするようなピッチ（即ち基本周波数が時間差の逆数の音程）が知覚されるという現象である（図2-4(a)）。足音等の直接音と反射音をダブルパルスと考えると、障害物に近付くにつれ時間差が小さくなるため、連続的にピッチが高くなるように知覚されるとWelchは考察している（図2-4(b)）。

また、Bassettら（1964年）[18]（障害物知覚に関する従来の研究の中で、唯一音響学的知見に基づいた実験を行った）は、環境音等の連続音を障害物知覚の手がかりとした場合にも、ピッチ知覚現象（現在でいうところのカラーレーション(coloration)）が起こると報告している。カラーレーションは、主に連続音において、直接音と反射音の時間差の逆数を基本周波数とするようなピッチを知覚する現象である。これにより、Welchの考察にある足音等のようなバースト音と同様、環境音等のような連続音でも、障害物に近付くにつれ連続的にピッチが高くなるように知覚される。Bassettらは、これらのことを立証する心理実験を行っている（図2-5）。

Welchや、Bassettらの報告による反射音のピッチ変化は、障害物に近づいていった場合に知覚される音の変化の1つとして、障害物知覚の心理的要因の1つとなっている可能性がある。反射音のピッチ変化は、障害物知覚の要因に関する仮説（第3章）の中に加える。

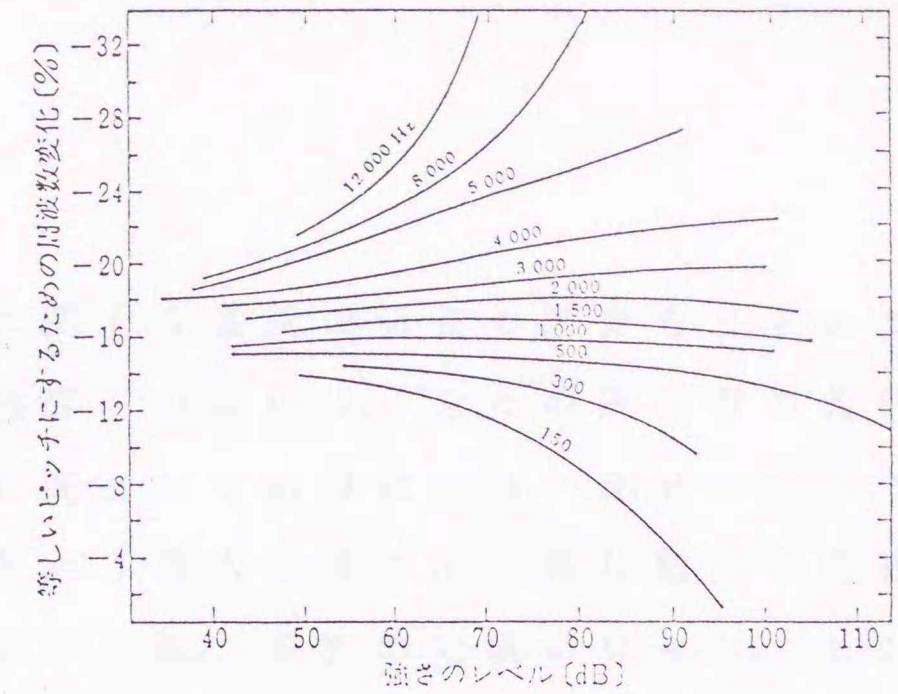


図 2-3　純音の強度と音の高さの関係(Stevens, 1935)[14]

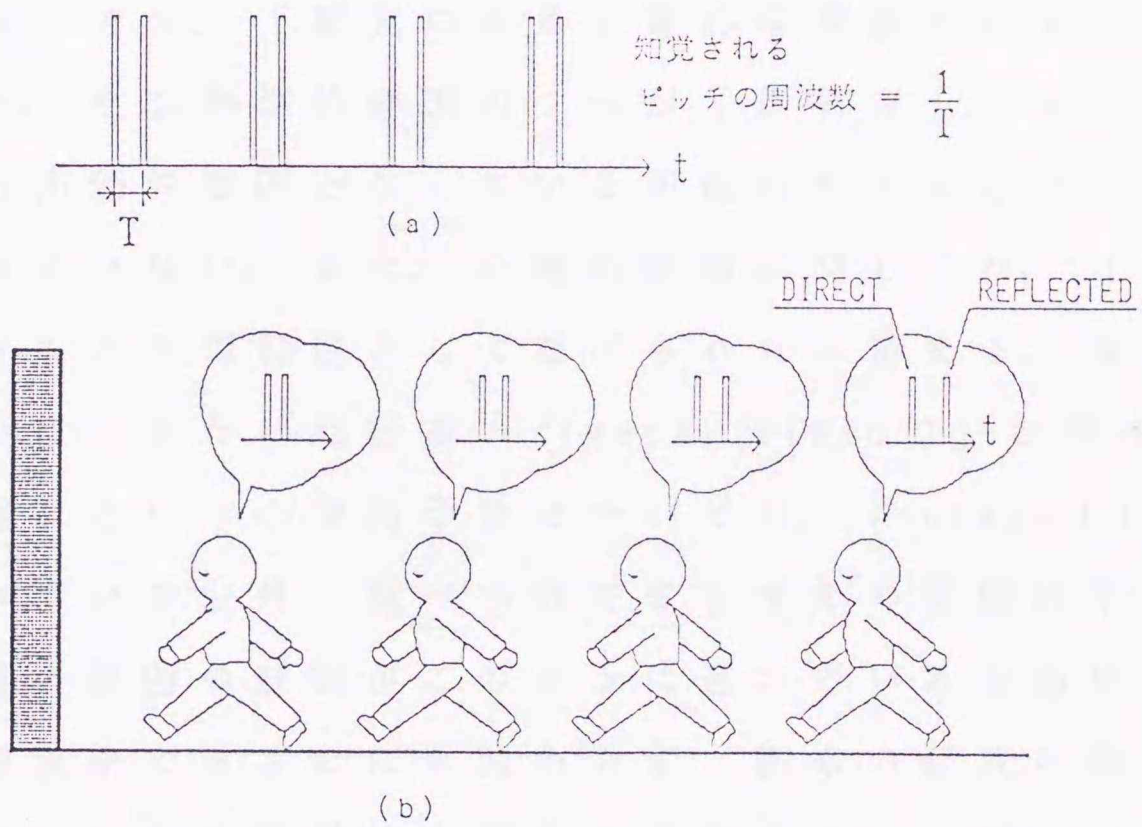


図 2-4　(a) Thurlowピッチ[16)17)]を知覚させるダブルパルスの例
(b) 足音のピッチが連続的に高くなる課程

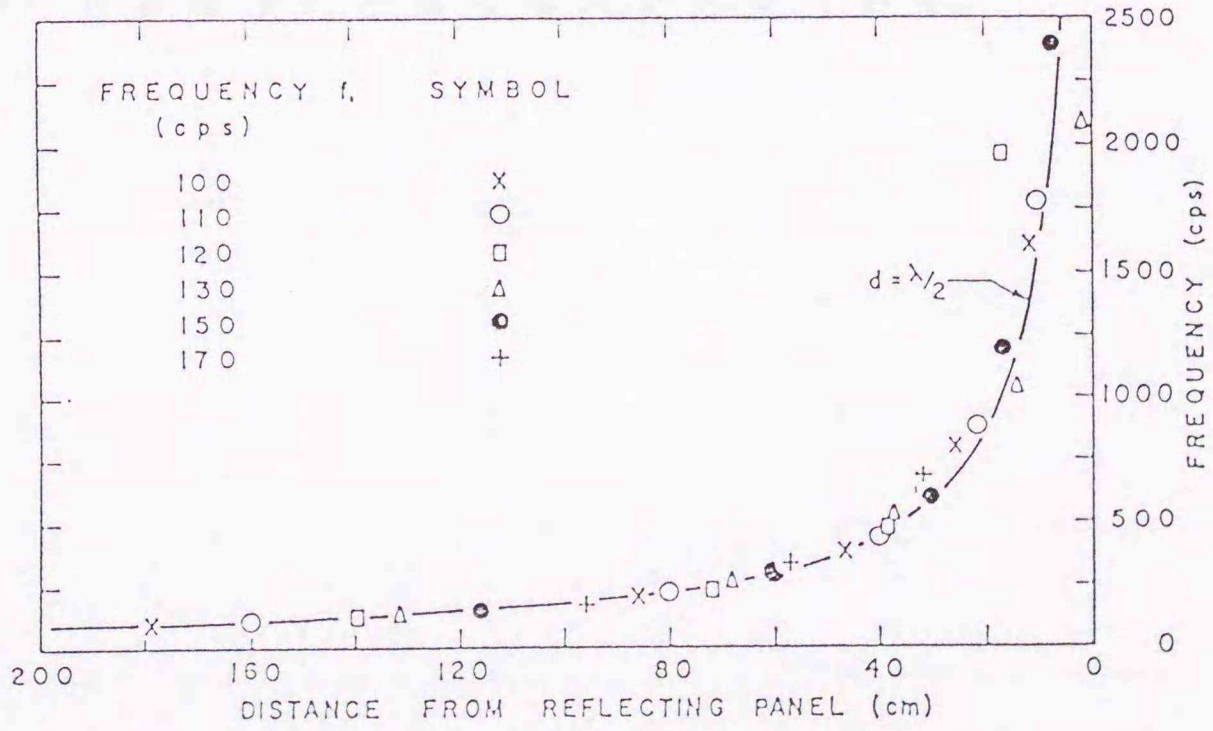


図 2-5　反射面からの距離と周波数の関係(Bassettら, 1964)[15]

2-3 第2章のまとめ

障害物知覚に関する従来の研究の歴史をまとめて、表2-1に示す（但し、表中の「内容」の欄には、各々の研究者の報告内容全てではなく、障害物知覚の研究として新規性の高い部分についてのみ記載する）。

障害物知覚という盲人の持つ不思議な能力の存在は、古くからいろいろな仮説が立てられ、研究の対象になった。しかし、障害物知覚の要因の定量的な分析に関しては、最も厳密な研究とされるCotzinらの"FACIAL VISION"でさえ、疑わしい結果しか導いていない。結局、障害物知覚については、「聴覚による音響心理現象である」という茫然とした事実と、その物理的要因の1つが「反射音」であり、その他に「音の影」も物理的要因となっている可能性があるという定性的な結論しか得られていない。また、心理的要因に関しては、「ピッチ変化」が知覚されることが可能性として挙げられたに留まる。障害物知覚がかつて「顔の目、または顔面視力(facial vision)」と呼ばれた由縁である「圧迫感」という心理的印象については、Juurmaa（1970年）[19]が考察を述べている以外、調べられておらずその要因は不明である。

障害物知覚の要因の解明がこのように遅れている理由は、障害物知覚が音響心理現象であるのにも関わらず、従来の研究の殆ど(Bassettらの研究を除く）が音響学的知見を十分考慮にいれずに行われているためであると判断せざるを得ない。障害物知覚の要因の詳細を解明するためには、従来のような知覚・行動心理学的手法だけでは困難であり、最終的には音響学的手法の導入が必要である。

表 2-1　障害物知覚に関する研究の歴史
（但し、表中の「内容」の欄には、各々の研究者の報告内容全てではなく、障害物知覚の研究として新規性の高い部分についてのみ記載する）。

年	名前	内容
1749	・D.Diderot	「盲人書簡」の中で、障害物知覚について記述する。
1800年代		（「聴覚説」と「皮膚感覚説」の両方が存在する。）
1904	・T.Heller	障害物知覚が聴覚によって起こることを導く。
1944 ～ 1950	・M.Cotzin[2)3)] M.Supa K.M.Dallenbach	障害物からの反射音が要因の１つであることを導く。また、Doppler効果による反射音のピッチの上昇が重要であると考察する。
1951	・V.Twersky[13)]	Cotzinらのピッチ上昇に対する考察の問題点を指摘する。ピッチ上昇は、音の強度変化による音の高さの変化の知覚（Stevens,1935[14)]）によるものと考察する。
1963	・H.N.Wright[4)]	視覚障害者の歩行訓練における、障害物知覚を想定した音響訓練の重要性を提唱する。障害物知覚の要因を、反射、遮音、障害物自身が発する音の３つに分類する。
1964	・I.G.Bassett[18)] E.J.Eastmond	ピッチ上昇はカラーレーションによるものと考察し、これを立証する心理実験を行う。
	・J.R.Welch[5)]	ピッチ上昇はThurlowピッチ(Thurlow,1955[16)],1957[17)])によるものと考察する。
	・I.Kehler[6)]	反射の他に、遮音が障害物知覚の要因となる可能性があると言及する。
	・W.N.Kellogg[7)]	反射音を用いて障害物知覚の能力の程度を測定する。大きさ、距離、材質の弁別が可能であることを導く。
1967	・C.E.Rice[8)]	反射音を用いて障害物知覚の能力の程度を測定する。大きさ、形状、方向の弁別が可能であることを導く。
1970	・J.Juurmaa[19)]	障害物知覚における圧迫感の要因についての考察を述べる。
1982	・E.R.Strelow[9)] J.A.Brakyn	足音の反射音を使って障害物知覚の実験を行う。
1986	・B.N.Schenkman[10)] G.Jansson	白杖の反射音を使って障害物知覚の実験を行う。
1989	・D.H.Ashmead[11)] E.W.Hill C.R.Talor	先天盲児を被験者にして、障害物知覚の実験を行う。

参考文献（第２章）

1) 佐藤泰正、「視覚障害心理学」（学芸図書、東京、1987）、pp.41～45.

2) M.Supa, M.Cotzin, & K.M.Dallenbach, "Facial vision : The perception of obstacles by the blind," Amer. J. Psychol. 57, 133-183 (1944).

3) M.Cotzin, & K.M.Dallenbach, "Facial vision : The role of pitch and loudness in the perception of obstacles by the blind," Amer. J. Psychol. 63, 485-515 (1950).

4) H.N.Wright, "Principles of auditory training for travel," Proceedings of the International Congress on Technology and Blindness Vol.Ⅱ, 149-157 (1963).

5) J.R.Welch, "A psychoacoustic study of factors affecting human echolocation," The Research Bulletin No.4, American Foundation for the Blind, 1-13 (1964).

6) I.Kohler, "Orientation by aural clues," The Research Bulletin No.4, American Foundation for the Blind, 14-53 (1964).

7) W.N.Kellogg, "Sonar system of the blind," The Research Bulletin No.4, American Foundation for the Blind, 55-69 (1964).

8) C.E.Rice, "Human echo perception," Science 155, 656-664 (1967).

9) E.R.Strelow, & J.A.Brabyn, "Locomotion of the blind controlled by natural sound cues," Perception 11, 635-640 (1982).

10) B.N.Schenkman, & G.Jansson, "The detection and localization of object by the blind with the aid of long-cane tapping sounds," Human Factors 28, 607-618 (1986).

11) D.H.Ashmead, E.W.Hill, & C.R.Talor, "Obstacle perception by congenitally blind children," Perception & Psychophysics 46(5), 425-433 (1989).

12) E.G.Shower, & R.Biddulph, "Differential pitch sensitivity of the ear," J. Acoust. Soc. Amer. 3, 275-287 (1931).

13) V.Twersky, "On the physical basis of the perception of obstacles by the blind," Amer. J. Psychol. 64, 409-416 (1951).

14) S.S.Stevens, "The relation of pitch to intensity," J. Acoust. Soc. Amer. 6, 150-154 (1935).

15) 日本音響学会編、「音響工学講座6・聴覚と音響心理」（コロナ社、東京、1978）、p.98.

16) W.R.Thurlow, "Pitch perception for certain periodic auditory stimuli," J. Acoust. Soc. Amer. 22(6), 132-137 (1955).

17) W.R.Thurlow, "Further observation on pitch associated with a time difference between two pulse trains," J. Acoust. Soc. Amer. 27(1), 1310-1311 (1957).

18) I.G.Bassett, & E.J.Eastmond, "Echolocation: Measurement of pitch versus distance for sounds reflected from a flat surface," J. Acoust. Soc. Amer. 36(5), 911-916 (1964).

19) J.Juurmaa, "On the accuracy of obstacle detection by the blind - part I," The New Outlook for the Blind 64(3), 65-72 (1970).

第３章　障害物知覚の要因に関する仮説の提唱

本章では、障害物知覚の要因について、これを調べるための実験を行い、仮説を提唱する。

実験は、まず単純に「障害物知覚」という現象を観察するところから開始した（3-1で述べる）。次に、従来の研究の中で、障害物知覚の物理的要因として報告された「反射音（反射）」（3-2で述べる）と「音の影（遮音）」（3-3で述べる）の両現象について、その心理的な知覚特性を調べた。

3-1 障害物知覚の観察

本節ではまず、障害物知覚という現象を観察してみることにした。

場所は北海道高等盲学校の体育館で、壁（木製）を障害物と仮定した。被験者は同校の盲学生３名（15～17才、先天性全盲[*11]）とした。

3-1-1 歩行時における障害物知覚の実験

歩行時における障害物知覚の過程を確かめる実験を行った。

まず、歩行中に障害物に遭遇したという状況を考える。この時、盲人が障害物に近付いて行く間に次のような過程を経ることが、盲人の内観報告やCotzinらの実験[1)]から分かっている（図3-1）。

① 十分離れた距離から障害物に近付いて行くと、数m手前でその存在に気付く。

② 障害物の存在を感じながら、更に近付いて行くと、障害物から数

---

*11 「先天性」の意味は脚注[*10]参照。「全盲」は視力0を意味する。

十cm手前で衝突しそうな感じを受ける。

Cotzinらは、①をfirst perception、②をfinal appraisalと呼んだ。以後この呼称を借用する。

実験方法を説明する。図3-1のように被験者を障害物から十分遠方(約10m以上)の場所に立たせ、合図とともに障害物に向かって歩かせる。歩行速度は通常彼らが歩くのと同じ位の速さとした。そして、first perceptionの場所で一旦停止させ、障害物から被験者の爪先までの距離を測定した。更にそこから障害物に向かって、衝突しないように通常よりゆっくり歩かせる。そして、final appraisalの場所で再び停止させ、同様にして距離を測定した。一人の被験者についてこの試行を20回行った。

実験を行っている体育館は被験者が普段歩き慣れている場所なので、特定の構造物（例えば床の換気口やその他の凹凸）を手がかりとしないように、体育館内で場所を常に変えながら実験を行った。また、自分のいる場所が体育館内の何処なのか被験者には分からないようにした。

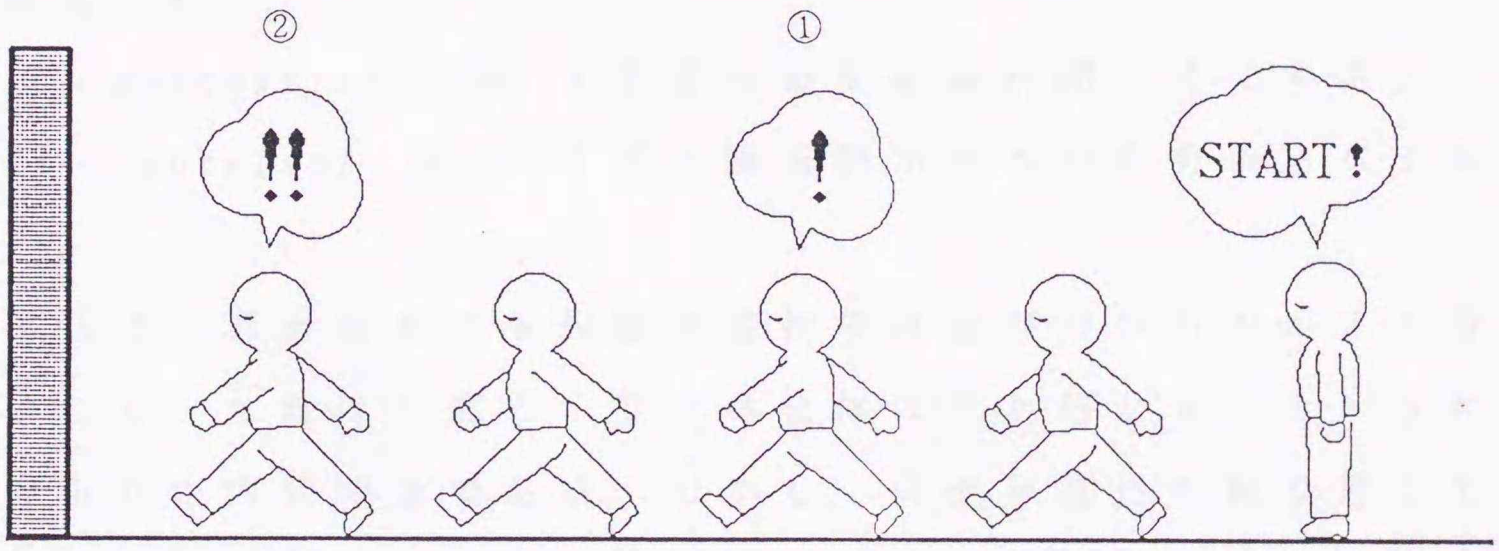


図 3-1　歩行時における障害物知覚の課程
(① first perception と ② final appraisal)

結果を表3-1に示す。表中の値は、各被験者のfirst perceptionとfinal appraisalの距離の平均と標準偏差である。

表 3-1 歩行時における障害物知覚の実験結果（単位 m）

subject	first perception		final appraisal	
	average	s.d.	average	s.d.
Y.N	2.79	0.84	0.39	0.19
T.M	1.59	0.71	0.41	0.25
Y.K	2.62	0.96	0.23	0.15

また、その時の盲人の内観報告は次のようなものであった。

被験者Y.N

first perception の時 「足音等の反射音が聞こえてくる」

final appraisal の時 「再び障害物があるのが分からなくなる」

他の2名は、自分自身でも何故障害物の存在が分かるのかよく分からないらしく、ただばく然と「顔や体全体に何か感じる」というのが最初に得られた内観報告である。しかし、何度か試行を繰り返しているうちに次のような内観報告が得られた。

被験者Y.K

final appraisal の時 「前方が静かになるような気がする」

3-1-2 静止時における障害物知覚の実験

次に、静止した状態で障害物知覚が可能か否かを確かめる実験を行った。この実験には、Doppler効果によるピッチの変化が障害物知覚に必要十分な条件であるというCotzinらの主張が正しいか否かをあらためて検証するという意味もある。

実験方法を説明する。まず被験者に耳栓をさせ、頭を白衣で覆い、聴覚と皮膚感覚を遮断した。この程度の遮断方法でも、自分の周囲の状況が分からなくなると被験者は報告している。この状態で更に体育館の中を連れてまわり、自分のいる場所が体育館内の何処なのか被験者に分からないようにした。そしてある所で静止させて、耳栓と白衣を取って感覚を復帰させ、前方の障害物の有無を静止したままで応答させた（図3-2）。一人の被験者についてこの試行を20回（障害物がある場所に10回、ない場所に10回静止させる）行い、正答率を算出した。

静止させる場所は、障害物がある状態として障害物から約1.6m以内の場所と、ない状態として約5m以上離れた場所である。約1.6mという距離は、3-1の実験結果から考えて、障害物知覚が可能であると考えられる距離である。また静止している間は、聴覚的な手がかりを十分に活用できるように、首を動かしたり足音等の音をたてる等の行為を被験者に許可した。

その結果、3名の被験者とも正答率は100%であった。

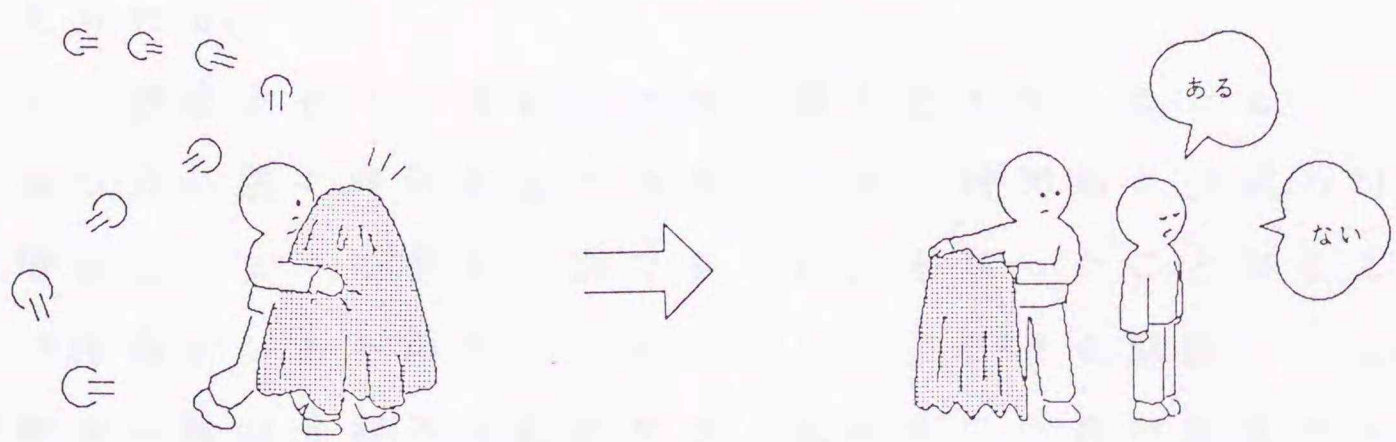


図 3-2　静止時における障害物知覚の実験方法

3-1-3 考察

3-1-1の実験により、歩行時の障害物知覚におけるfirst perception及びfinal appraisalの過程を確かめることができた。更に3-1-2の実験により、障害物知覚は盲人が静止していても起こることが確かめられ、Doppler効果によるピッチの変化が必要十分な条件であるというCotzinらの主張は、一般的には成立しないものであることが分かった。また、本章の実験は2つとも、実験条件を極端に厳しくせず、あくまでも通常盲人が生活している空間内の音場と同じ条件で実験を行ったので、得られた内観報告は通常盲人が障害物知覚の手がかりとしている聴覚刺激の変化をよく反映していると考えることができる。

3-1-1の実験における盲人の内観報告について考察する。

Cotzinらの報告では、ラウドネスの変化は障害物知覚に必要でも十分でもないとしているが、ある距離になって「足音等の反射音が聞こえてくる」物理的な理由は、距離減衰による音の大きさの変化であると考えらる。足音や、白杖をつく音等は、点音源から発せられると考えられるため、音圧は音源からの距離に反比例する。従ってある程度障害物に近付かなければ反射音は聞こえてこないことになる。このことはTwerskyも指摘している[2)]。

またfinal appraisalにおける、「再び障害物があるのが分からなくなる」ことや、「前方が静かになるような気がする」ことの理由は2つ考えられる。

第1の理由として、障害物との距離が近くなったために、直接音と反射音の耳に届く時間の差が小さくなり、時間的に分解不可能（時間的に隣接した2つの音を区別できない）となったことが考えられる。「再び障害物があるのが分からなくなる」ことの原因として、直接音と反射音が時間分解不可能になり、反射音の存在が知覚されなくなることが考えられる。

第2の理由として、遮音効果（従来の研究では「音の影」）が考えられる。障害物の後方に音源を持つ環境騒音は、障害物によって透過

損失（及び、障害物を回折して届く環境騒音が存在する場合は、回折損失）を受けて到来しにくくなる。このことが、「前方が静かになるような気がする」こと関与していることは十分考えられる。

3-1-4 まとめ

障害物知覚という現象を観察するための実験を行った。その結果、Cotzinらによって報告されたDoppler効果は、障害物知覚のために必要な条件ではないことが分かった。

実験結果や盲人の内観報告から、障害物知覚の要因に関し、歩行時の障害物知覚の過程と照らし合わせて、次のような定性的な仮説を提唱する。

first perception ： 足音等の反射音が聞こえ始める。

final appraisal ： 直接音と反射音の時間分解不可、または障害物の遮音効果により、前方が沈黙したように感じられる。

3-2 反射と障害物知覚の関係

従来の研究に加えて、3-1の実験における被験者の内観報告からも、足音等の反射音が障害物知覚の物理的要因となる可能性が示された。

障害物に接近していく場合、心理的に知覚される反射音の変化として、従来の研究で報告された「ピッチ変化」の他に、「音像の変化」が起こると考えられる。しかし従来の研究では、音像の変化は考慮されたことがない。本節では、反射音の変化のうち、特に音像の変化について、障害物知覚との関係について調べる。

3-2-1 先行音効果

反射音の音像の変化に関する既知の音響心理現象の1つに、「先行音効果(precedence effect)[3]」がある。

図3-3(a)のように、ヒトの顔から等距離に、2つの音源を置く。図中では左側を直接音源、右側を反射音源とする。直接音と反射音を想定して、この2つの音源から同じ音を時間差⊿tで出力したとすると、音は⊿tの値によって、次のような聞こえ方の変化をすることが知られている(図3-3(b)(1)～(3))。

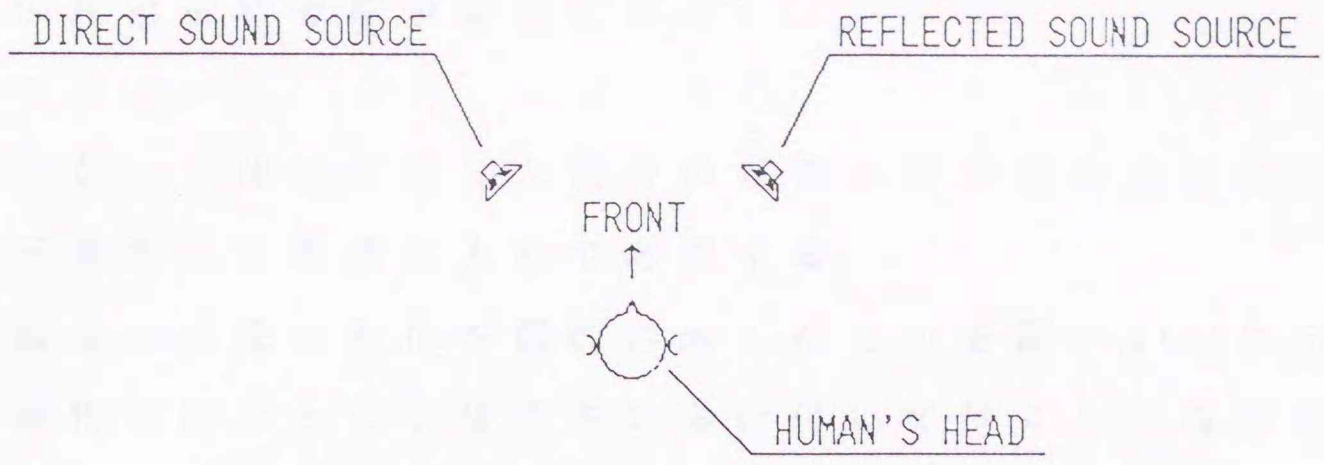
(1) ⊿t 約50msec～ : 反射音と直接音の音像はそれぞれの音源位置に定位し、反射音は直接音と分離したエコーとして聞こえる。

(2) ⊿t 約1～約30msec : 反射音の音像は、直接音の音像と融合して直接音源に 定位し、直接音と分離したエコーとして聞こえなくなる。

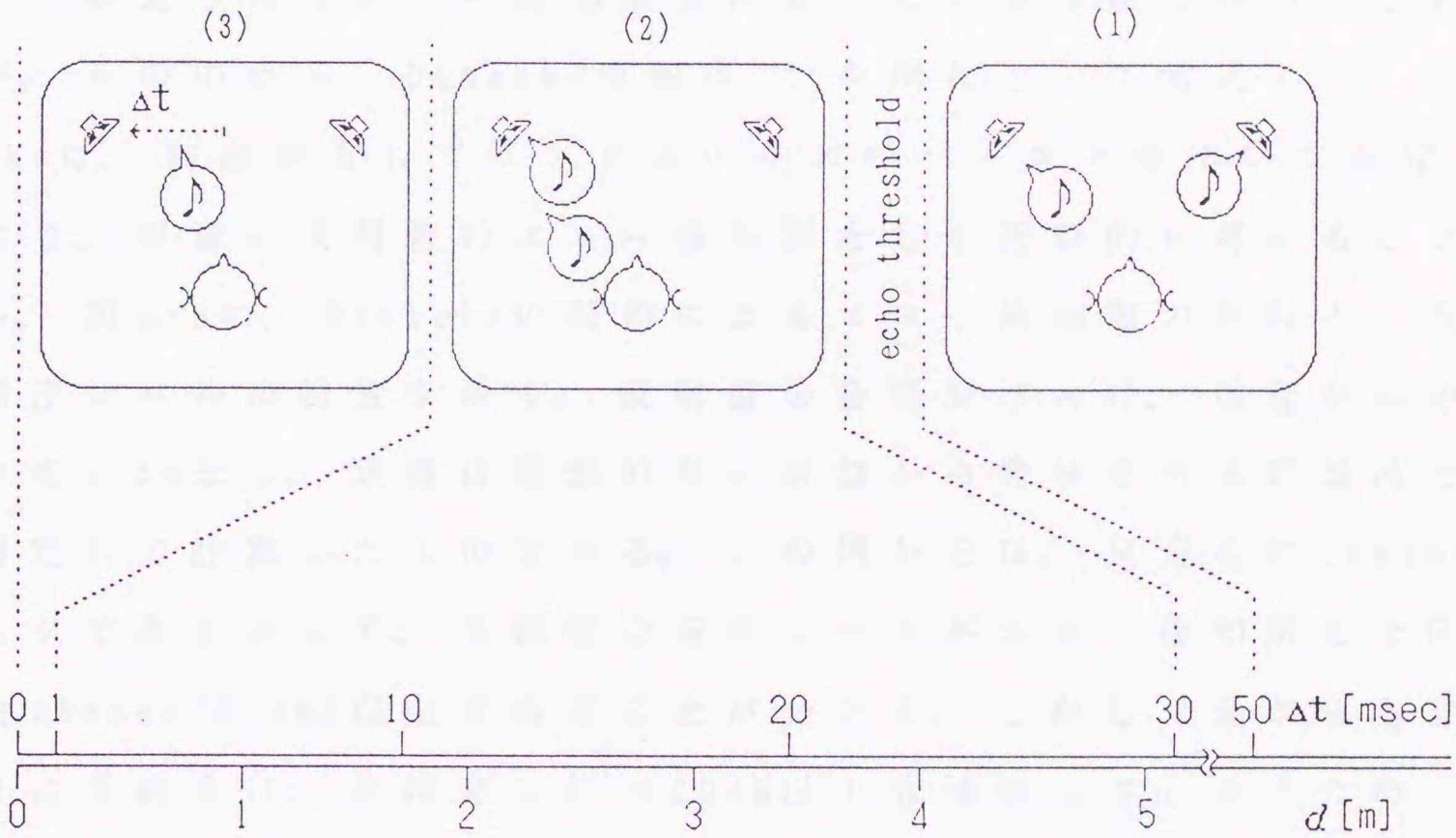
(3) ⊿t 0～約1msec : 反射音と直接音は区別ができなくなり、ひとつの音として聞こえる。音像は、⊿tが0の時は2つの音源の中心に定位し、⊿tが増えるに従って直接音源の方に連続的に移動する。

(2)のように直接音と反射音の音像が融合して知覚される音響心理現象を「先行音効果(または第1波面の法則、Haas効果、聴覚抑制効果[4])」という。

また、2つの音像が分離して知覚される最小の時間差を「エコー検知限(echo threshold)[5]」という。一般にエコー検知限は、音源の位置によって、または刺激音の種類によって異なることが報告されている[4][5]。



(a)



横軸：直接音と反射音の時間差〔ｍｓｅｃ〕（上）
及び、障害物までの距離〔ｍ〕（下）

(b)

図 3-3 (a) 先行音効果の実験における標準的な音源の配置
(b) 直接音と反射音の時間差⊿tに対する聞こえ方の変化

3-2-2 足音の反射音の音像の変化

障害物に向かって歩いて行った場合の足音の反射音の音像の変化について、先行音効果を考慮に入れて考察する。

足音の反射音の音像の変化を図的に表したものを図3-4(a)に示す。

まず、障害物に向かって十分遠方から近付いて行くと、直接音と反射音の時間差がエコー検知限より大きい距離範囲では、反射音が障害物からエコーとして聞こえてくると考えられる（図3-4(a)（1））。ただし、この場合のエコー検知限に関しては、反射音は直接音より多く距離減衰していることを考慮しなければならない。直接音と反射音の音圧レベルが違う時のエコー検知限を測定した結果は幾つか報告されているが、その中から、Damaskeの報告[14]を例にとって考える。

Damaskeは、刺激音としてランダムノイズのバーストを用いて測定を行っており、足音の反射音のエコー検知限として近似的に考えることができる。図3-5に、Damaskeの報告によるエコー検知限の特性と、反射音の音圧レベルの特性を示す。反射音の音圧レベルは、地面からの耳の高さを1.5mとし、足音は理想的な点音源から発せられる球面波であると仮定して計算したものである。この例からは、足音を約10msecのクリックであるとして、反射音の音圧レベルがエコー検知限を上回るのは約35msec(約6m)以上であることが分かる。しかし、図からも分かるように反射音は、直接音に比べ20dB以上も減衰してしまうため、多少大きめの足音を立てなければ聞こえてこない。特に盲人は正眼者に比べて小さな動作で慎重に歩くことが一般的であり[6]、通常の歩行ではこの状態から足音の反射音をエコーとして聞くことはないと考えることができる

もし、反射音が聞こえてくるとすれば、更に障害物に近付いたところとなる（図中3-4(a)（2））。しかしその距離で仮に反射音が聞こえてきたとしても、その音像は反射音源ではなく、先行音効果によって、直接音の音像と融合し、直接音源である足元に定位すると考えることができる。

更に障害物に近付いて行くと、直接音と反射音は区別がつかなくなり、反射音の存在が分からなくなると考えることができる（図3-4(a)(3)）。

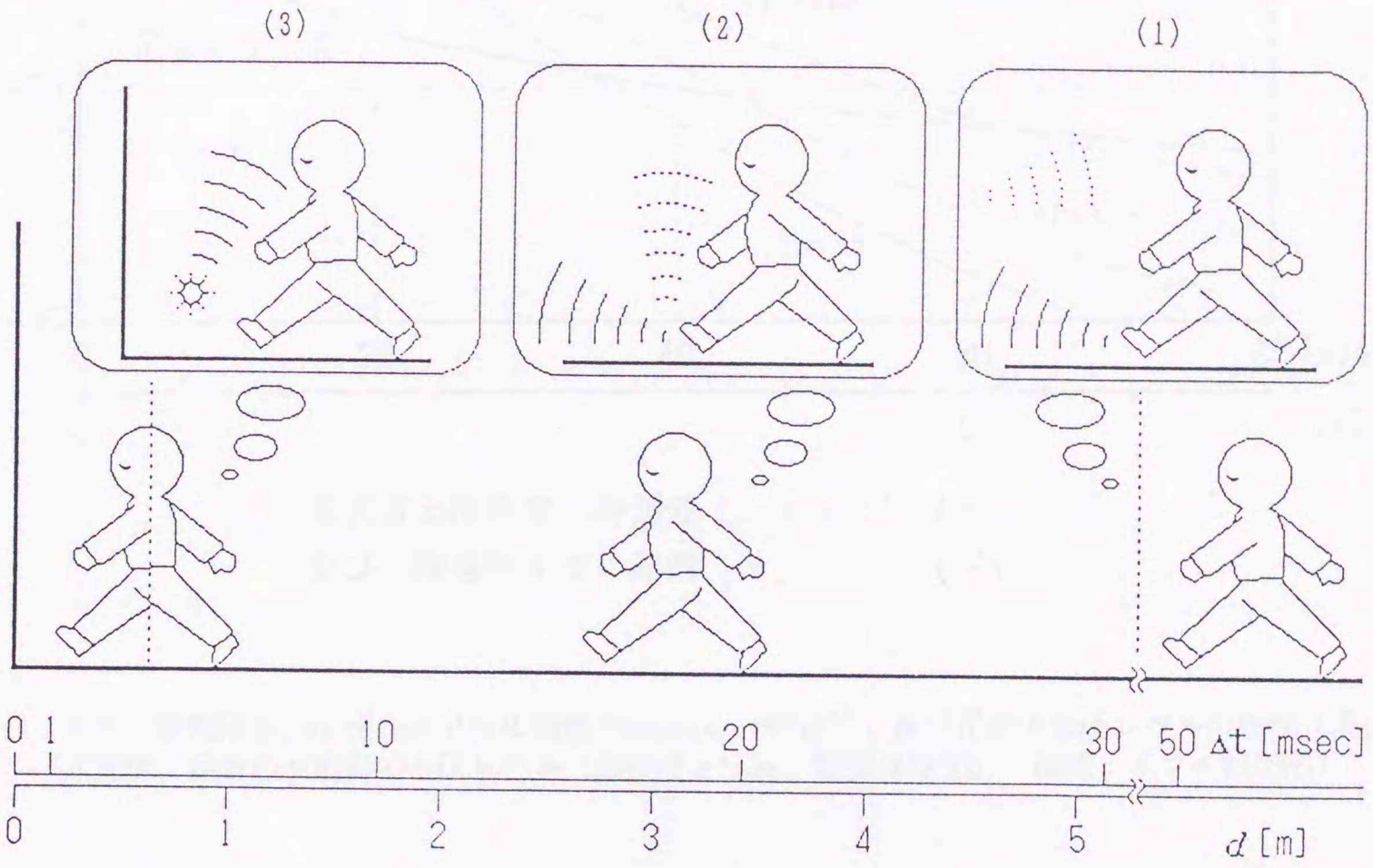
3-2-3 実験結果との照合

3-1-1で行った歩行時における障害物知覚実験の結果を図3-4(b)に示す。棒グラフの右端はfirst perception、左端はfinal appraisalの距離の平均である。T印は標準偏差である。図3-4(a)(b)より、first perceptionの位置が、反射音が聞こえはじめる範囲内（3-2-2の考察）にあり、final appraisalの位置が、反射音の存在が分からなくなる範囲内（3-2-2の考察）にあることが窺える。また図3-4は、3-1-1の実験においては、先行音効果の起こる距離範囲内で障害物知覚が起こっていたことを表しており、反射音の音像は反射音源に定位していないことを示している。

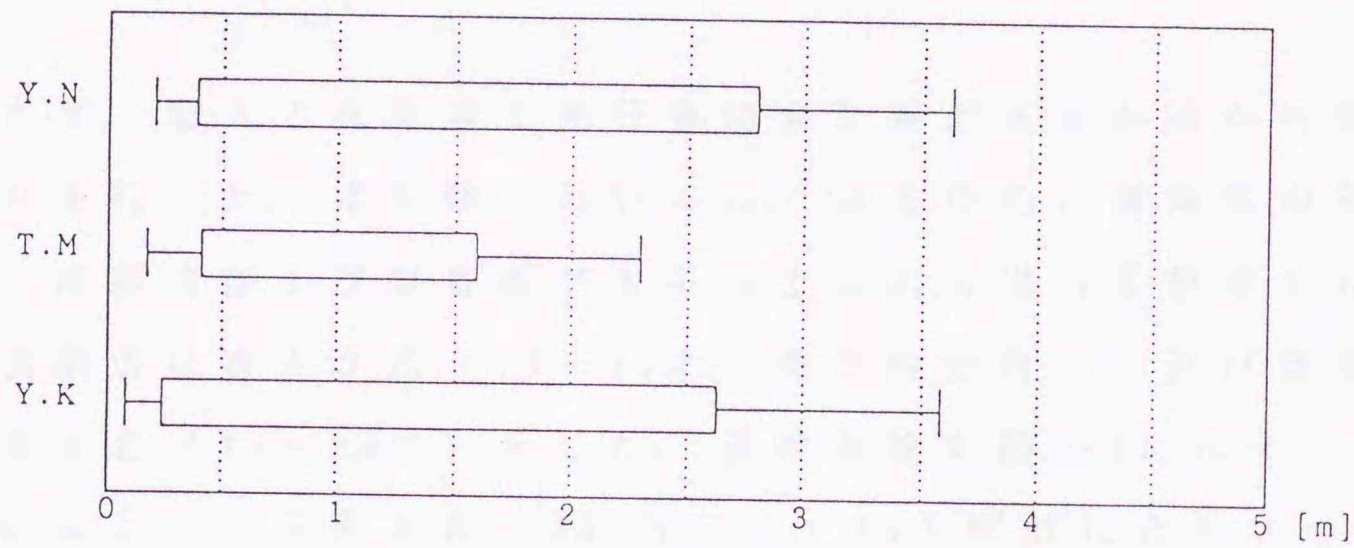
ここで問題にしなければならないのは、障害物知覚における距離感の要因である。障害物知覚の能力に優れた盲人は障害物までの距離をほぼ正確に言い当てる。3-1-1の実験の被験者も、非公式に行った参考実験において、自分が立っている場所から壁までの距離を、歩幅にして1歩程度の誤差で正確に言い当てた。ところが、障害物知覚が起こる場所は図3-4より明らかに、先行音効果の起こる距離範囲であり、反射音の音像を反射音源に定位できないと考えざるを得ない。従って、盲人はどのようにして障害物までの距離感を掴んでいるのかが問題となる。

このことに関する考え方は2つある。1つは、盲人は先行音効果の影響の受け方が正眼者と違っているか、または先行音効果を妨げる工夫をする等して、障害物からかなり近距離でも足音の反射音の音像を反射音源に定位できるという考え方である。もう1つは、足音の反射音以外に別の音響心理・物理的要因を手がかりにしているという考え方である。

3-2-4及び3-2-5ではまず前者の仮説が正しいか否かを確かめることにした。



(a)



(b)

図 3-4 (a) 障害物に向かって歩行した時の足音の音像の変化
(b) 歩行時における障害物知覚の実験結果（表 3-1 参照）
（棒グラフの右端：first perception 左端：final appraisal の距離の平均
T印：標準偏差）

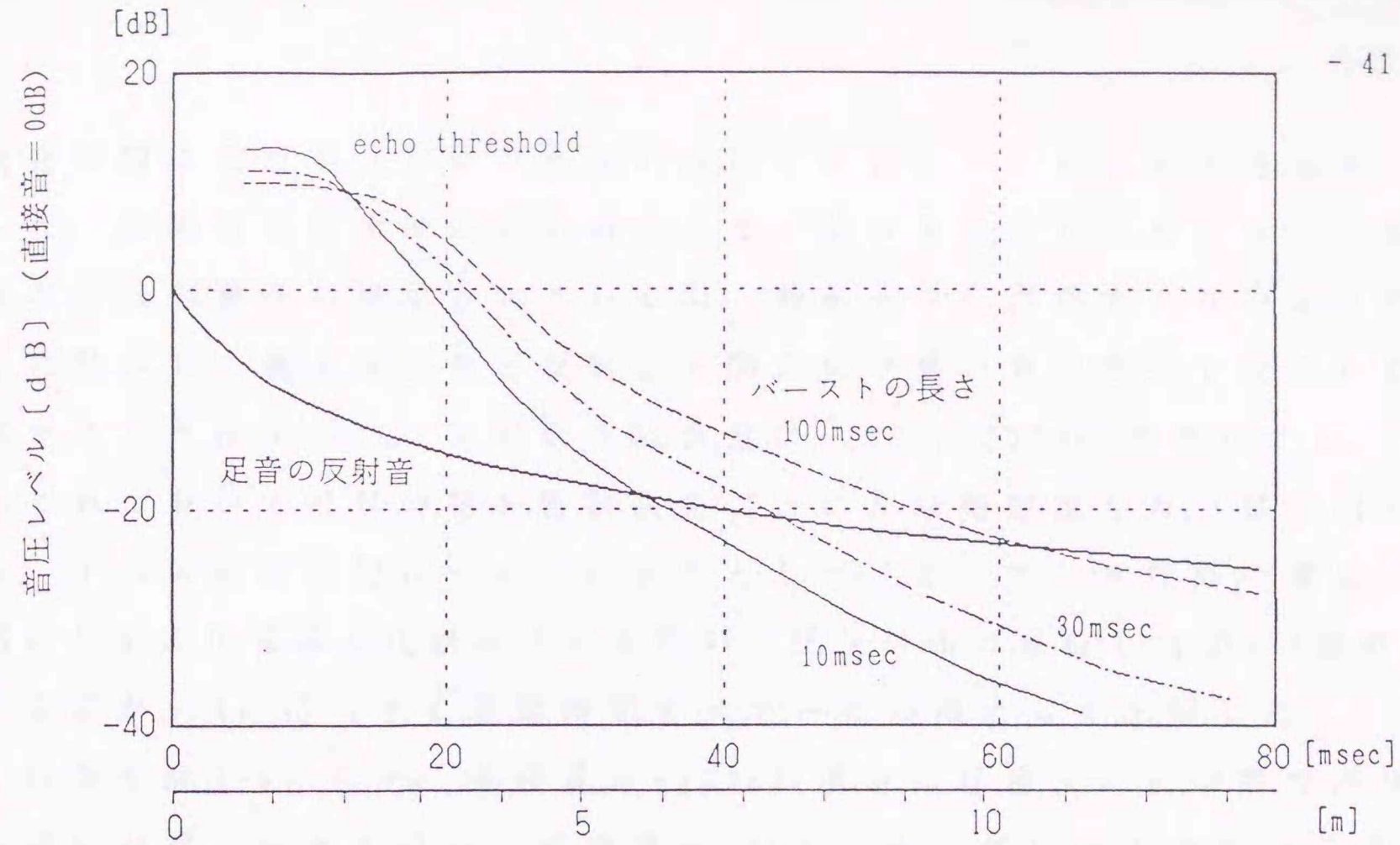


図 3-5　エコー検知限(echo threshold)の特性(Damaske, 1971)[3)]、及び足音の音圧レベルの特性（直接音=0dB）
（太実線：足音の反射音の音圧レベル（耳の高さ1.5m、波面は球面）　細線：エコー検知限）

3-2-4 先行音効果の基礎実験

まず、盲人と正眼者で先行音効果に差があるか否かを確かめる基礎実験を行った。本実験においては、過去の先行音効果の研究[3)]にならい、直接音源と反射音源が水平面上にある場合を想定した。

被験者は盲人３名（17～19才、先天性全盲）、及び目隠しをした正眼者３名（25～30才）とした。実験装置を図3-6に示す。被験者の頭を中心にして、正面と左右30°方向の1.5mの距離に合計３つのスピーカを配置した。中央のスピーカが直接音源、左右のスピーカが反射音源とした。刺激音は白色雑音のバースト（継続時間10msec）で、直接音の大きさは50dBSL、反射音はこれに減衰と遅延をかけたものとした。

実験方法としては、中央のスピーカから直接音、左右いずれかのスピーカから反射音を提示し、被験者には左右どちらのスピーカから反

射音が聞こえたか（判断できない時はその旨）を応答させる方法をとった。刺激音の提示は応答があるまで1秒おきに繰り返し行った。被験者には刺激音が提示されている間、頭部を中心点がずれないよう自由に動かし、最も直接音と反射音を聞き分け易い方向を探りながら応答するよう指示した。反射音の減衰量は-15dB,-20dBの2通りとし、それぞれにおいて遅延時間を各被験者ごとに5段階設定した。試行回数は、1つの遅延時間について20試行とした。そして、5段階の遅延時間に対する正答率を正規確率紙を用いて正規分布に近似し（図3-7参照）、正答率が50%に相当する遅延時間をエコー検知限として記録した。

結果を図3-8に示す。減衰量が-20dBの場合には盲人と正眼者で同様の傾向が得られたものの、減衰量が-15dBの場合には盲人の方が正眼者に比べてエコー検知限が低い傾向にあるという結果が得られた。このことは、現段階において、3-2-3の前者の仮説を棄却できないことを意味する。

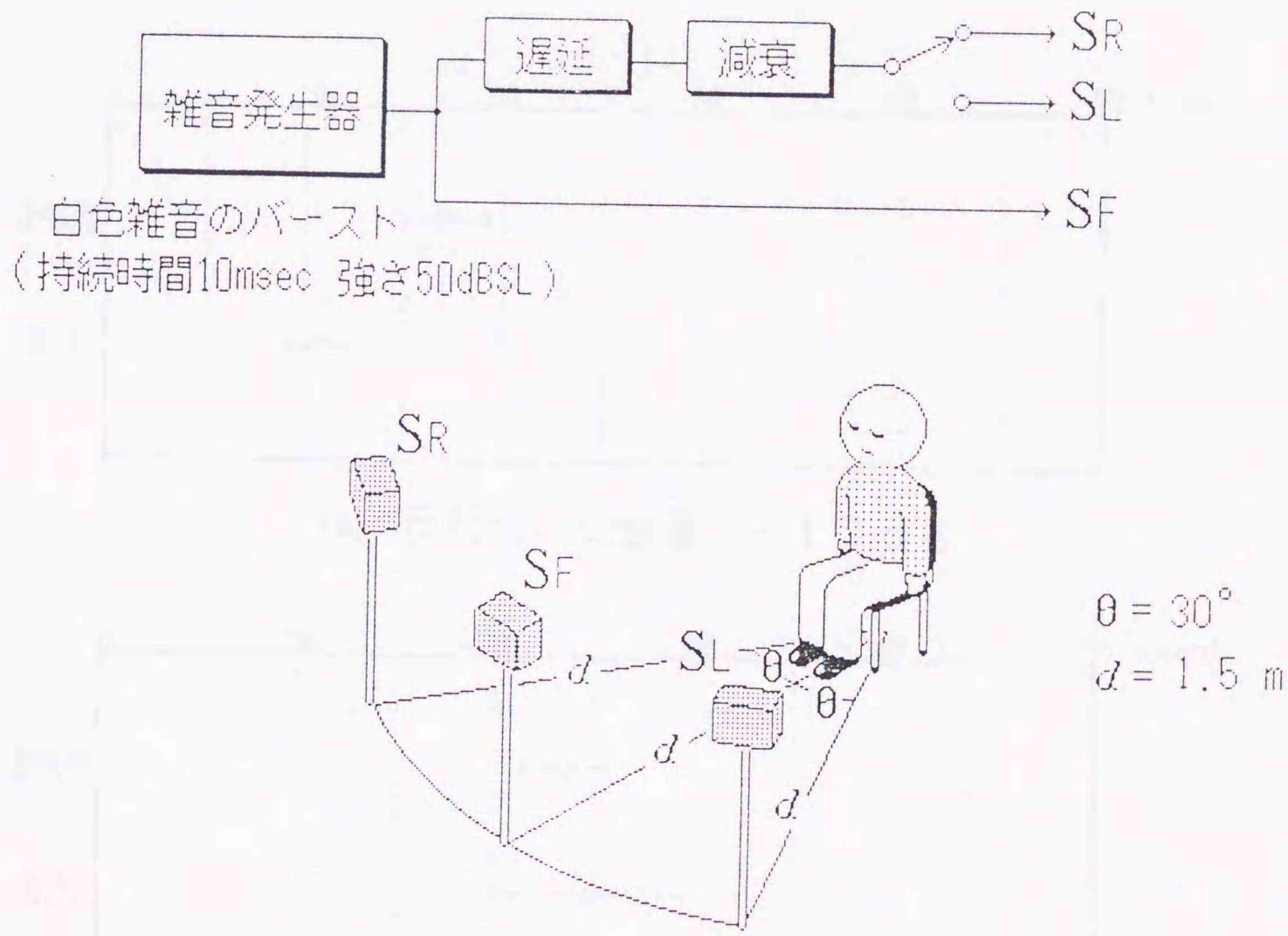


図 3-6　先行音効果の基礎実験のための実験装置

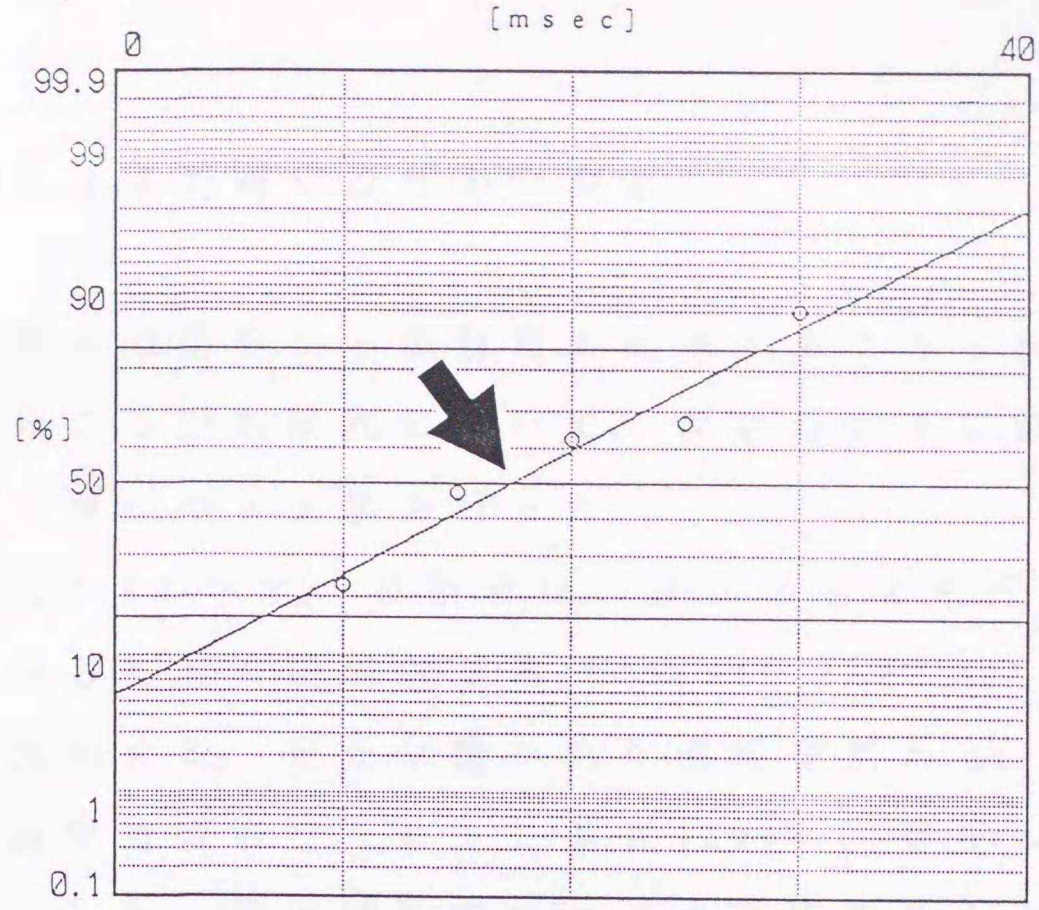
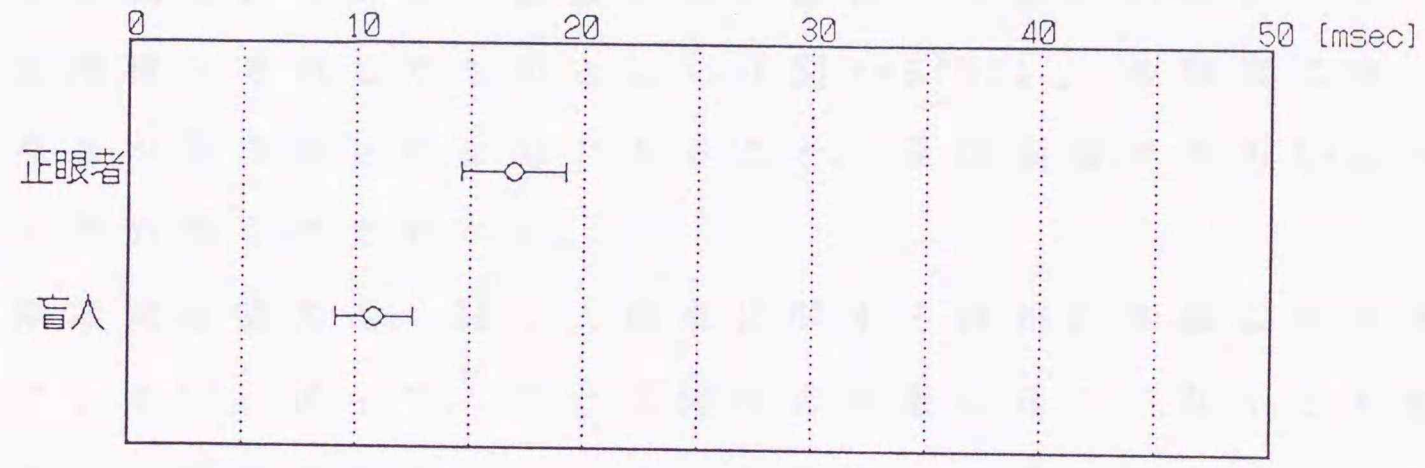
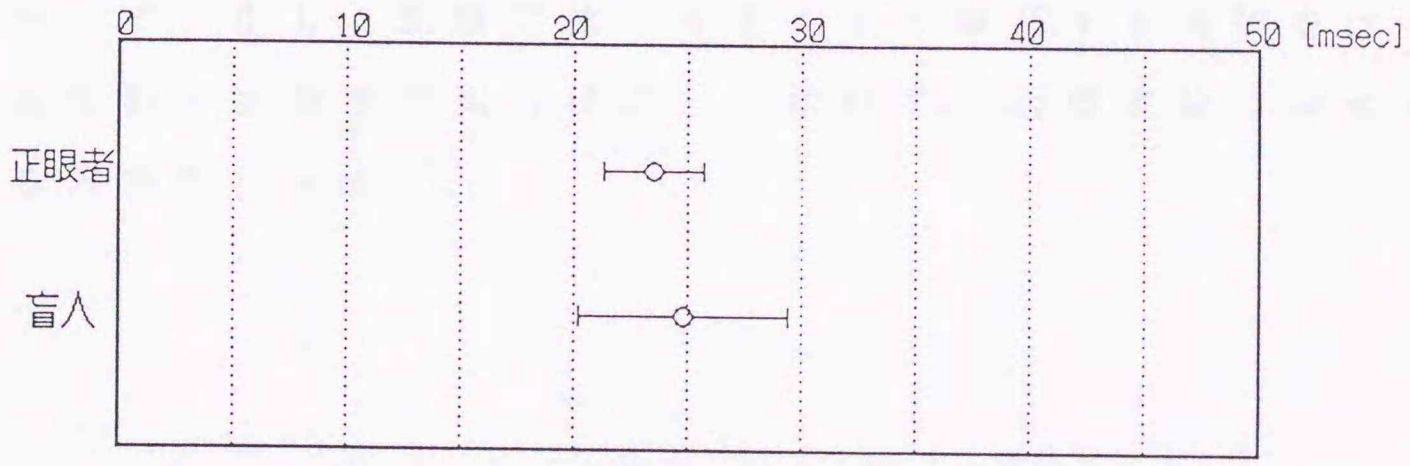


図 3-7　エコー検知限の算出方法
（正規確率紙上に５段階の遅延時間に対する正答率をプロットし、正答率50%に相当する遅延時間を求める）



(a)　反射音の減衰量　－１５ｄＢ



(b)　反射音の減衰量　－２０ｄＢ

図 3-8　エコー検知限の測定結果

3-2-5 反射音による距離定位能力の測定

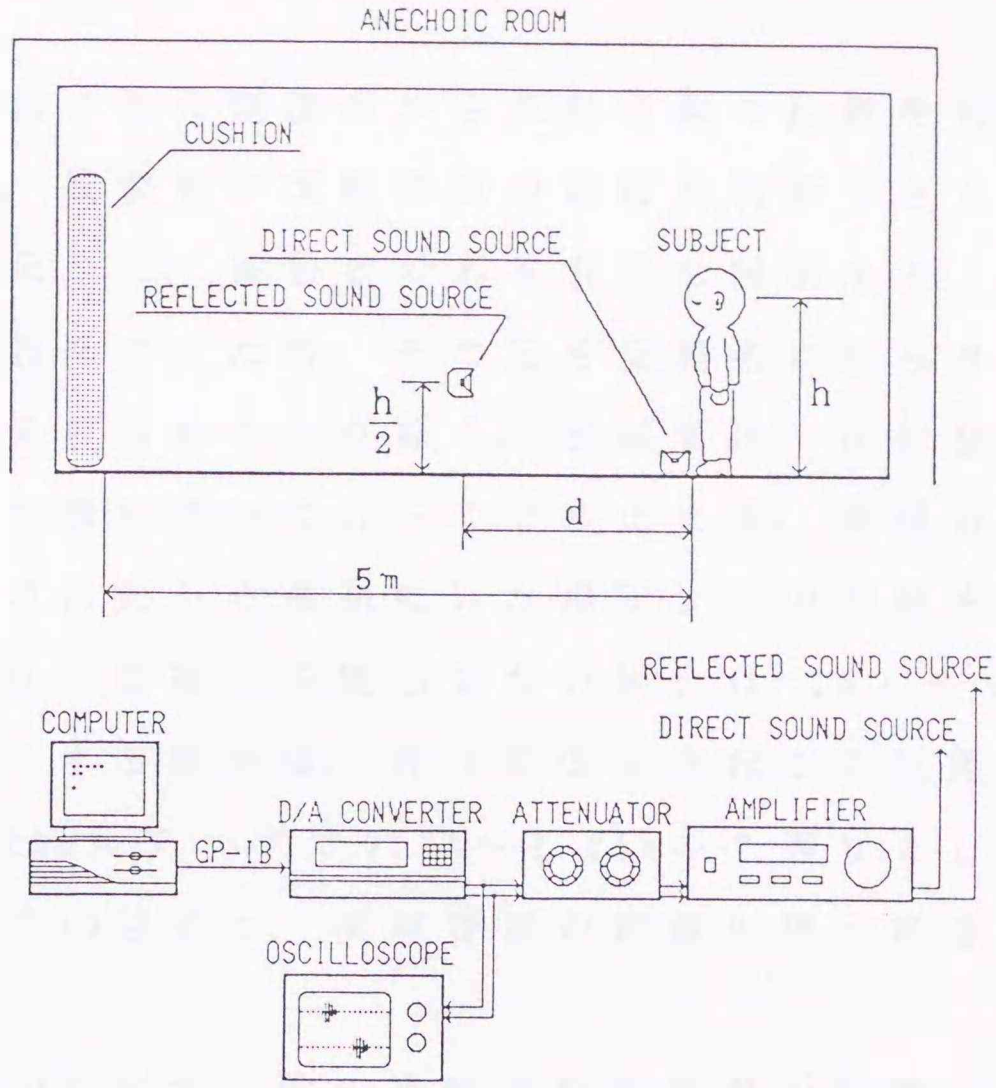
今度は、実際に障害物から反射音が到来するような状況を再現し、先行音効果の起こる距離範囲において、反射音による距離定位が可能であるか否かを確かめる実験を行った。

実験装置を図3-9に示す。被験者は、盲人2名（先天性全盲、17,18才）、及び目隠しをした正眼者2名（21,24才）とした。

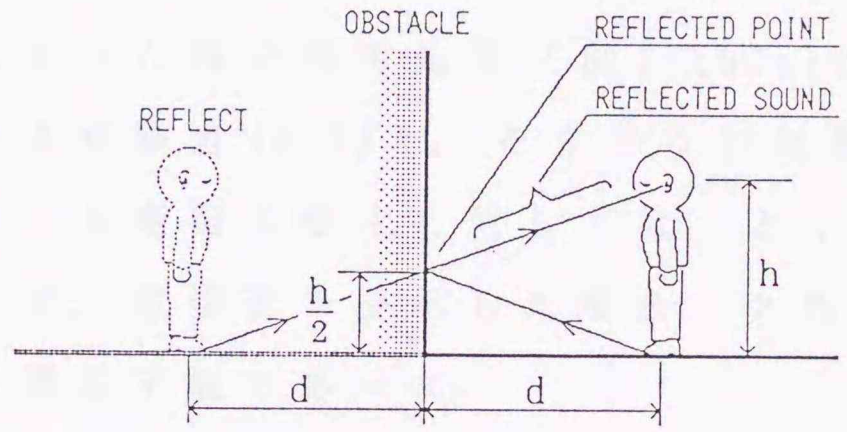
実験方法を説明する。足元に置かれた直接音源から、足音を想定して、刺激音（白色雑音のバースト、長さ10msec、音圧レベル30dBSL）を被験者に提示した。予め被験者にはこの直接音をよく覚えさせておいた。

反射音源は、障害物に関して直接音源と鏡像の位置に置くのが理想的だが、実験室の広さの都合等から、足元から出た音が障害物に反射して耳に届く行程を考えた時の、障害物表面の反射点の位置に置いた。また反射音を想定して反射音源から出力される刺激音は、直接音源から出力した刺激音に対し、直接音源の鏡像の位置から反射点までの時間遅れと減衰を考慮したものとした（図3-9(b)）。被験者には、反射音源の高さが耳の高さの半分であること、及び距離が前方5m以内にあることを予め知らせておいた。

音の距離定位能力は、聞く人の音に関する経験的知識に由来すると言われている[4]。従って、たとえ先行音効果が起こらなくとも被験者によっては正確に定位できないことも考えられる。そこでまず最初に、直接音を提示しないで反射音だけを提示し、先行音効果が起こらない状況において、正しく距離定位できることを確認する実験を行った。次に、直接音と反射音を両方提示した状態で、距離定位に関する特性を調べる実験を行った。

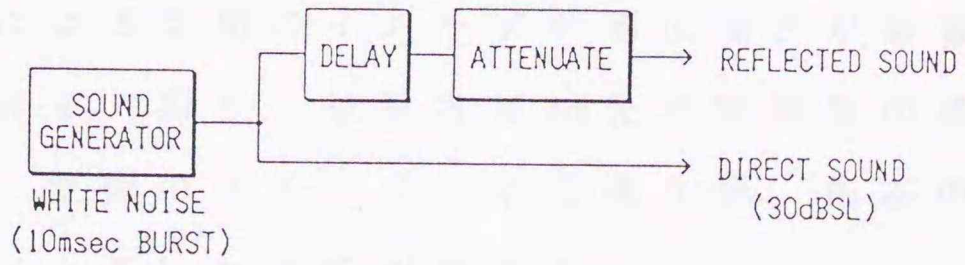


(a)



時間遅れ [msec] $= \dfrac{\sqrt{d^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2}}{c}$　　減衰 $= \left(\frac{1}{2}\right)^2$

C は音速



(b)

図 3-9　反射音による距離定位能力を測定するための実験装置
(a) 実験装置　(h:耳の高さ　d:障害物までの距離)
(b) 反射音源の位置と、出力される刺激音の直接音源に対する時間遅れ及び減衰

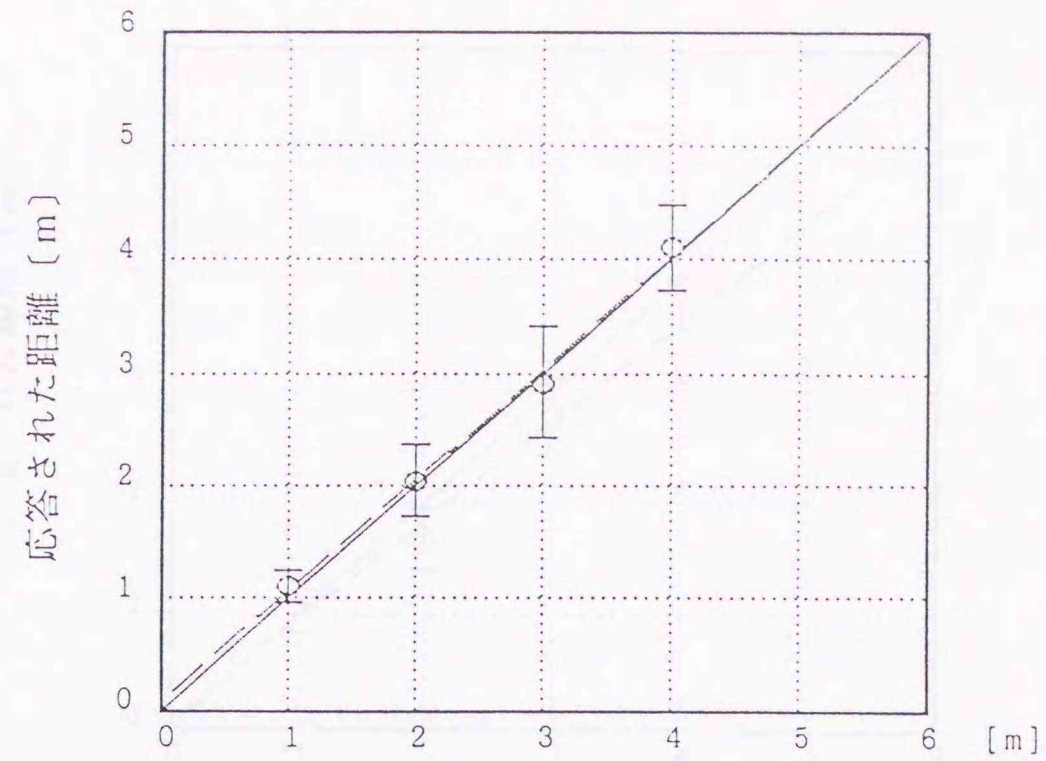
被験者には、提示された刺激音から反射音源の距離を判断し、応答させた。刺激音は、被験者が反射音源の距離を判断できるまで、1secおきに繰り返し提示した。被験者の応答方法を説明する。被験者は、反射音源の距離を判断できた時、その旨を実験者に知らせる。実験者は直接音源、及び反射音源を取り除く。被験者は、反射音源があると判断した場所まで実際に歩いて行って立ち止まる。実験者は、被験者が立ち止まった時の爪先から最初にいた場所までの距離を測定する。

反射音源の距離は、直接音を提示しない場合は1mステップで1～4mの4通りとし、提示する場合は、先行音効果が起こる近距離内で細かく測定するため0.25mステップで0.75～2.25mの7通りとした。試行は、1つの距離において10回ずつ、反射音源の距離の提示順番はランダムとした。

実験結果を図3-10に示す。図の横軸は反射音源の距離、縦軸は被験者によって応答された距離である。また図中の実線は理想値、破線は測定値である。

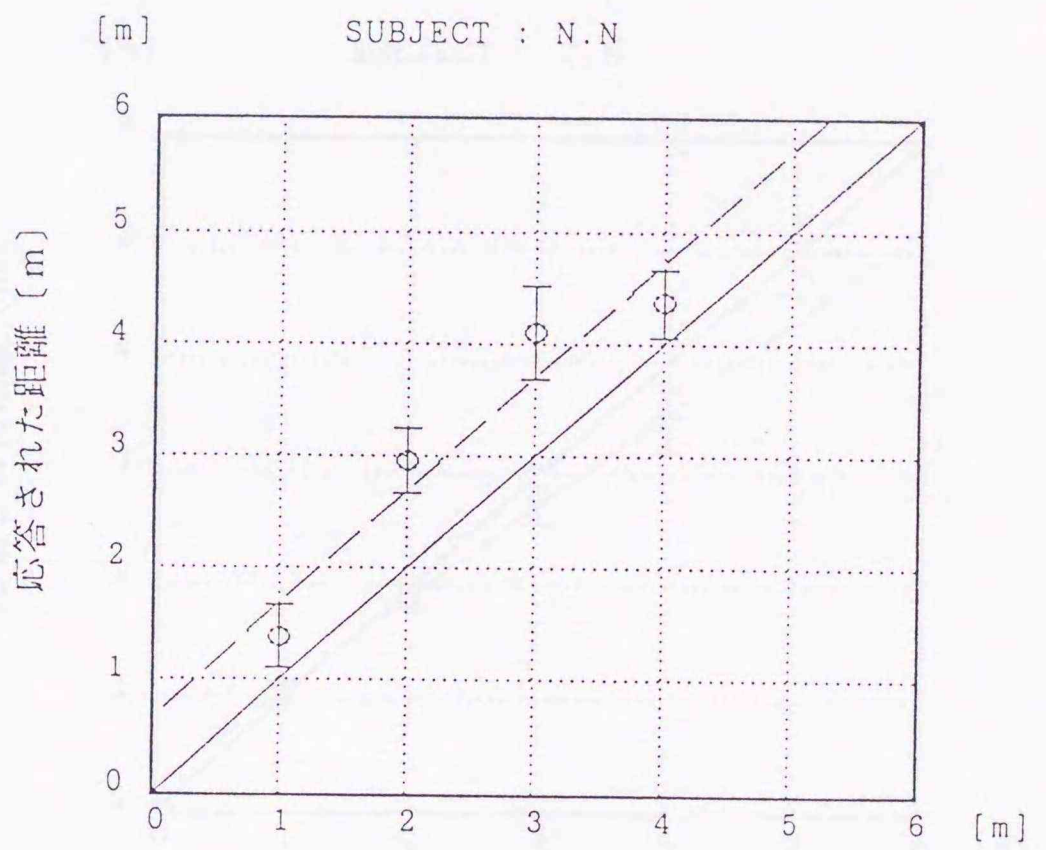
直接音を提示しなかった時の測定結果（図3-10(a)(b)）によると、正確に距離定位できる被験者(N.U)と、そうでない被験者(N.N)とに分かれたものの、2名とも距離の変化に対しては、よく追従していることが分かる。ところが、直接音を提示した場合、2名とも距離定位できなくなり、結果は測定不能であった。

次に盲人の測定結果について考察する。直接音を提示しなかった場合（図3-10(c)(d)）は、2名ともほぼ正確に距離定位してはいるが、遠距離ほど若干手前に応答する傾向にあることが分かる。これは、視覚経験がないことによる空間のイメージの不正確さが影響しているためであると推測できる。即ち、被験者は5m先に実験室の壁があることを知っているので、空間のイメージが不正確な分、応答の際壁に衝突しないよう慎重になっていたと解釈できる。



反射音源までの距離〔m〕

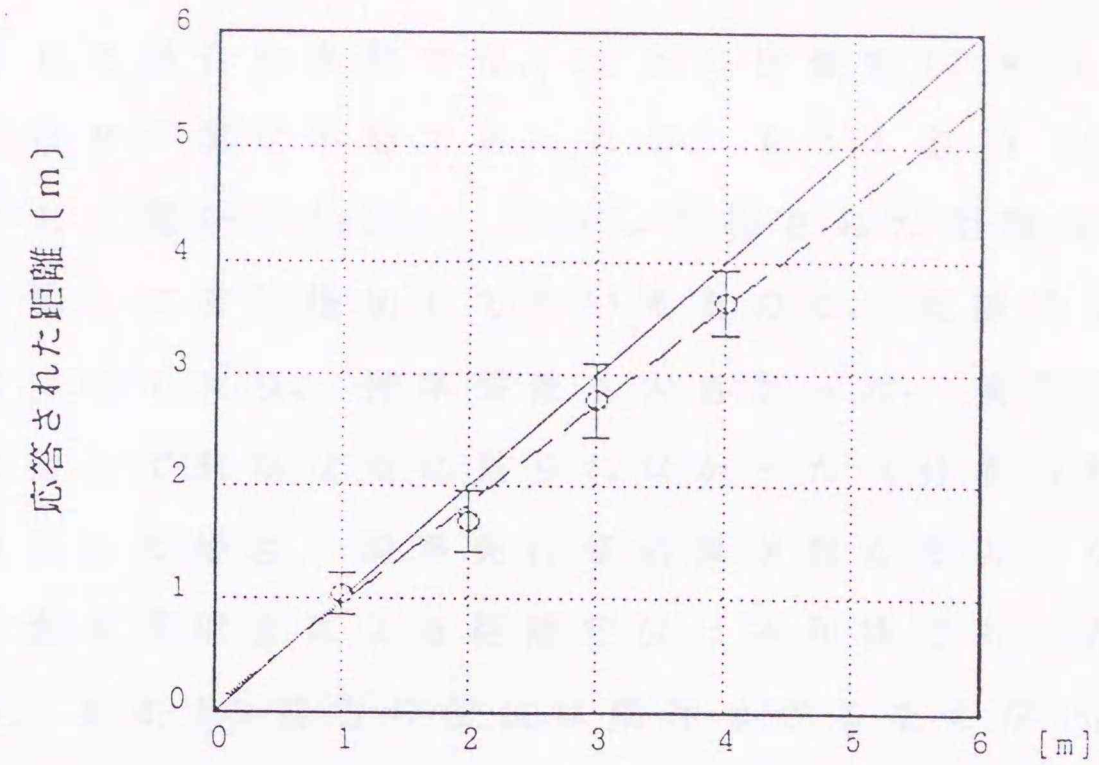
（a）正眼者 直接音なし



反射音源までの距離〔m〕

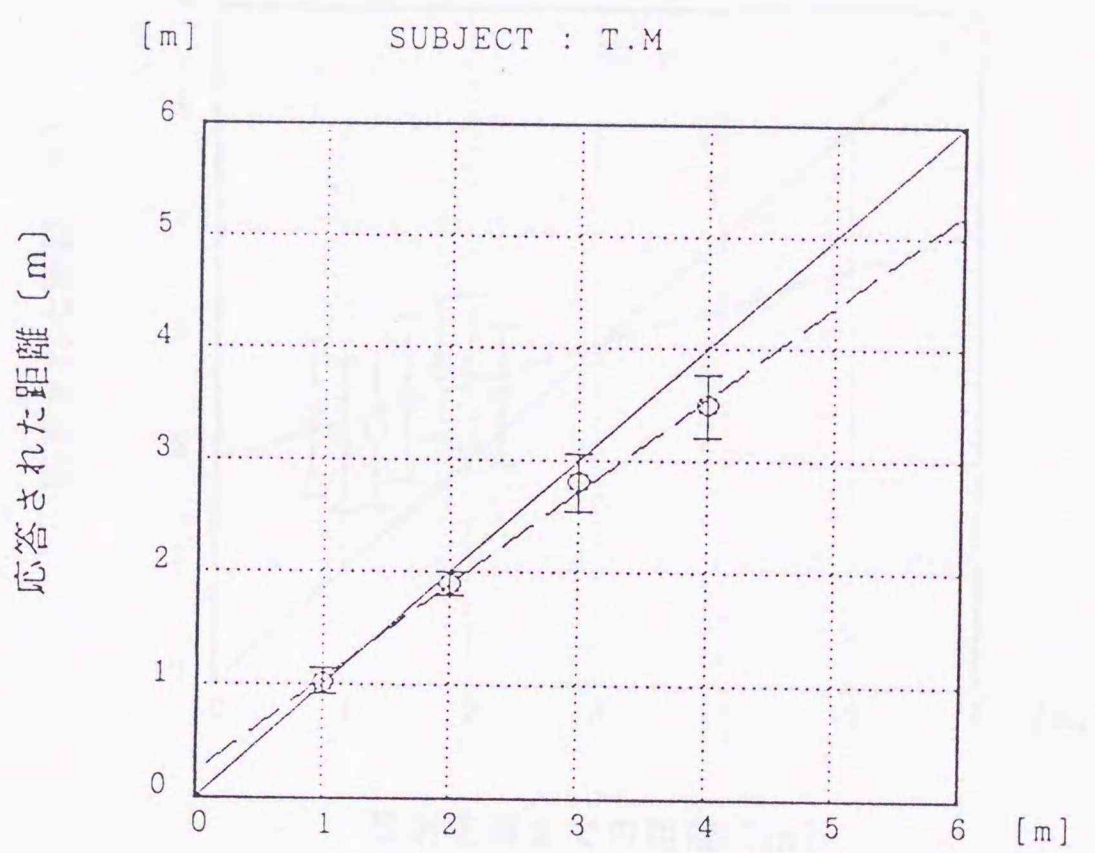
（b）正眼者 直接音なし

図 3-10　反射音による距離定位の実験結果
（○：平均値　　I：標準偏差　　実線：理想値　　破線：測定値の回帰直線）



反射音源までの距離〔m〕

（c）盲人 直接音なし



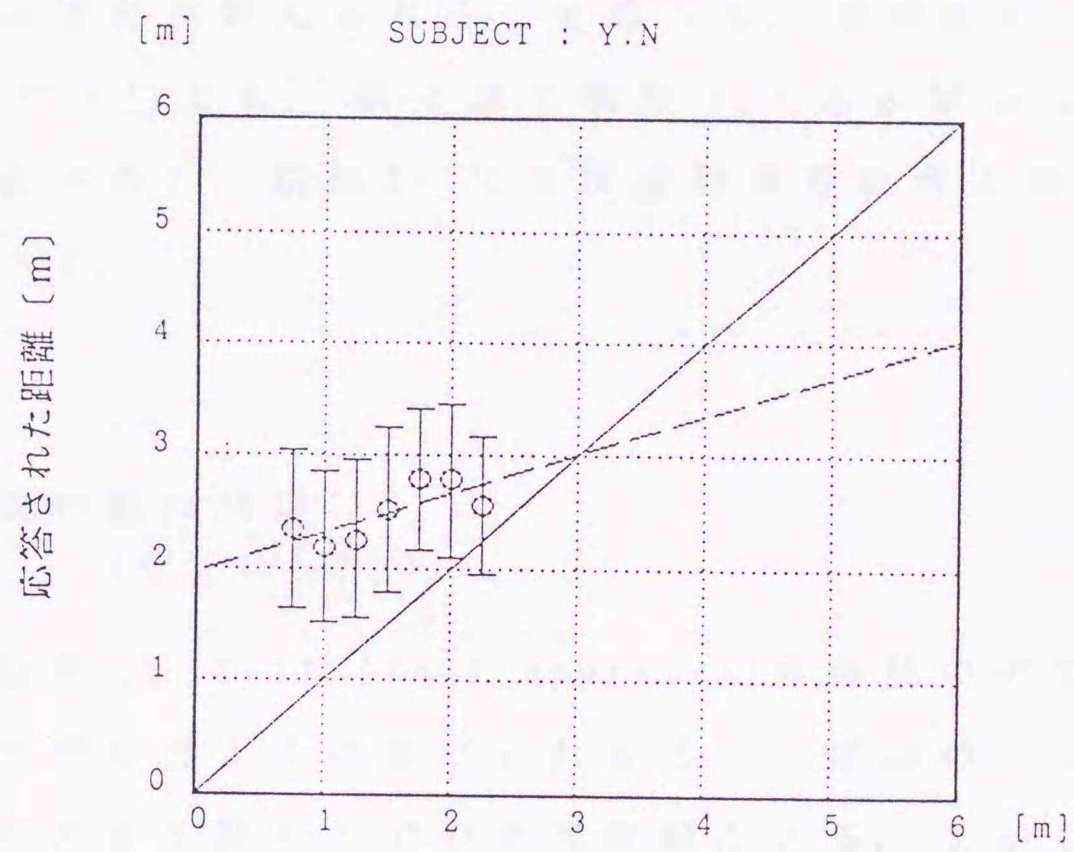
反射音源までの距離〔m〕

（d）盲人 直接音なし

図 3-10　反射音による距離定位の実験結果
（○：平均値　　I：標準偏差　　実線：理想値　　破線：測定値の回帰直線）

直接音を提示した場合の実験では、１名の被験者(T.M)は正眼者同様反射音が距離定位せず測定不能であったが、もう１名(Y.N)からは応答があり測定できた（図3-10(e)）。しかし応答された距離は、反射音源の距離の増加に応じて若干増加してはいるものの、実際の反射音源の距離より大幅にずれており、標準偏差も大きかった。検定を行った結果距離の変化に対して有為な差は見られなかった（分散分析[7]）。結局、直接音を提示した場合、即ち先行音効果が起こるような状況下では、盲人の被験者も反射音による距離定位は不可能であった。

この結果から、3-2-3の前者の仮説は棄却せざるをえない。後者の仮説である、足音の反射音以外に別の音響心理・物理的要因を障害物の距離感の手がかりにしているという説を支持すべきである。



反射音源までの距離〔m〕

（e）盲人 直接音あり

図 3-10　反射音による距離定位の実験結果
（○：平均値　　I：標準偏差　　実線：理想値　　破線：測定値の回帰直線）

3-2-6 まとめ

本章では、足音の反射音に関し、従来の研究では考慮に入れられていない「音像の変化」に着目して、障害物知覚との関係を調べた。

その結果、3-1-1の実験結果により得られたfirst perceptionとfinal appraisalの過程が、反射音の音像の変化と良く対応していることが分かり、足音の反射音が障害物知覚の物理的要因の1つであるといえる。

しかし一方で、先行音効果が起こるような障害物近距離においては、足音の反射音による距離定位が不可能であることが分かり、足音の反射音だけが障害物知覚の物理的要因ではないことが示唆された。

足音の反射音以外に障害物知覚の物理的要因となるものは、環境騒音の反射、または遮音が考えられる。このうち、環境騒音の反射と障害物知覚の関係については、第4章で検証すべき仮説として提唱し（第4章文頭で述べる）、次節3-3では環境騒音の遮音と障害物知覚の関係について述べる。

3-3 遮音と障害物知覚の関係

障害物の遮音効果は、3-1のfinal appraisalの仮説の中でも述べたように、前方が沈黙したように感じられることの要因の1つと考えられ、障害物知覚に大きく関与している可能性がある。しかし、従来の研究においては、遮音効果が障害物知覚の要因となる可能性について、これを示唆するにとどまり、検証したという報告はない。

遮音効果には、透過損失と回折損失の2つの要素がある（図3-11）。3-1の実験のように、閉じた建物の壁の内側を障害物とした場合は、透過損失だけが関与するが、屋外にある塀等を障害物とした場合は、障害物を回折して到来するような環境騒音が存在し、従って回折損失も関与する。回折損失は距離が障害物に近いほど大きくなるので、障害

物後方から到来する環境騒音の音圧レベルは、障害物に近づくに従い低くなる。従って、遮音効果は主に障害物の近距離において、重要な物理的要因となる可能性がある。

本節では、障害物に環境騒音が遮音されているような状況を再現し、障害物の遮音効果と障害物知覚の関係について調べる。まず心理実験により、遮音効果による音場の変化（ここではあえて音圧レベルの減少だけに限定しない）が障害物知覚の要因となり得ることを明らかにする。次に音場の変化を物理的に測定し、障害物に接近した時の音場の心理的印象を推測する。

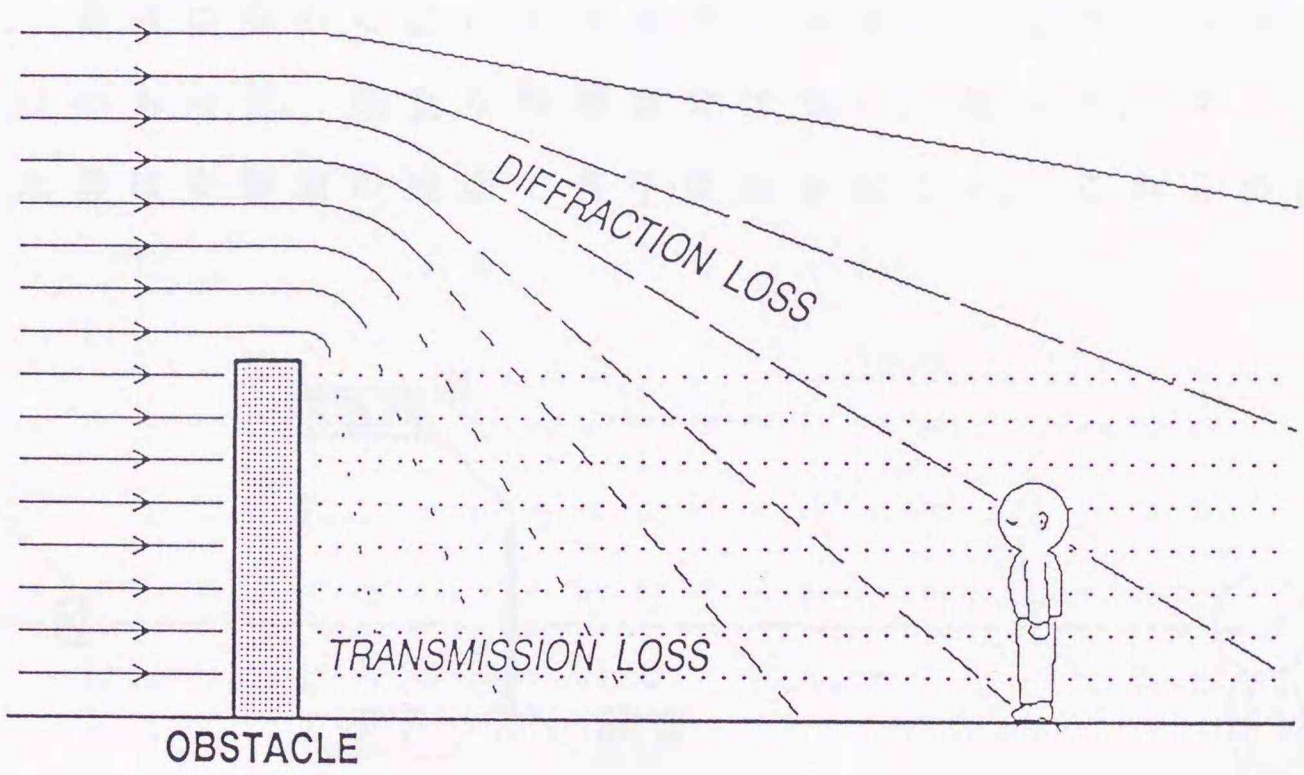
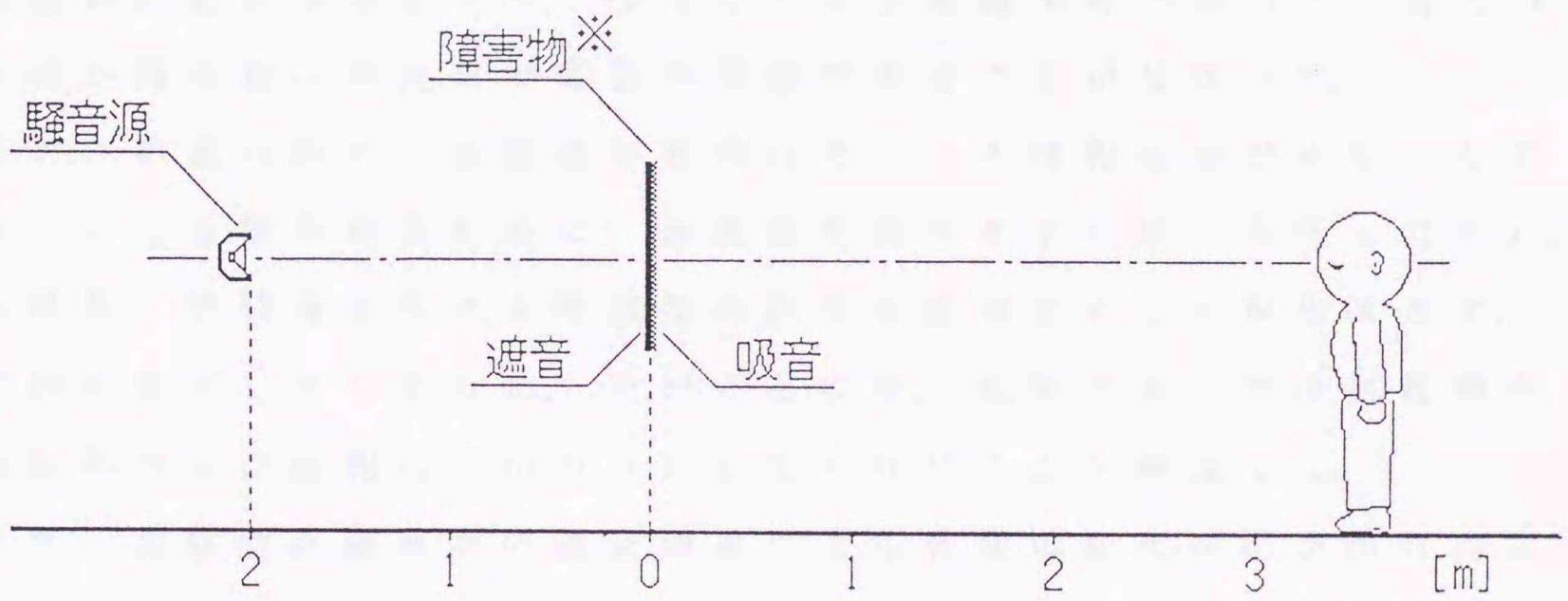


図 3-11　遮音の概念図

3-3-1 実験装置

実験装置を図3-12に示す。障害物は90cm×90cm（厚さ24mm、密度450kg/m³）のランバーボードで、この実験においては被験者が障害物からの反射音を手がかりにしないように、吸音材として障害物の被験者側の面に25mm厚のグラスウールを貼った。また、足音が立たないよう床に絨毯を敷いた。障害物はその中心の高さと被験者の頭の中心の高さが一致するよう配置し、その後方2mに音源としてスピーカ（SRP-S300;SONY)を配置した。刺激音は白色雑音の連続音（スピーカの2m前方で約42dB-A）を用いた。白色雑音はノイズジェネレータ（RN-01;RION）で発生させ、アンプ(AUA-5600;DianGo)を通してスピーカから出力した。

実験室は、普通の室内の壁にグラスウールボードをならべ床に絨毯を敷いただけのもので、完全な無響室ではない。従って、スピーカから発せられた音は実験室の壁面で若干反射を起こす。これらの反射音



※ 寸法　縦90cm × 横90cm
　材質　遮音材　24㎜厚ランバーボード（密度 450 kg/m³）
　　吸音材　25㎜厚グラスウール

図 3-12　遮音と障害物知覚の関係を調べる実験装置

は、スピーカからの直接音に対し約数十msecの時間遅れで被験者の耳に届くので、直接音とは物理的に無相関な騒音となる。本実験においては、スピーカから被験者に届く直接音は、障害物の遮音効果を受けた環境騒音とし、実験室の壁面の反射によって被験者に届いた音は、直接音に対して側方から到来する周囲の環境騒音とみなすことができる。

3-3-2 障害物知覚の心理実験

被験者は盲人3名（17～19才、先天性全盲）である。被験者には、約3mの距離から障害物に向かってゆっくり歩かせ、障害物の存在を感じた場所で立ち止まるという応答方法をとらせた。そして、障害物から足の爪先までの距離を記録した。試行回数は1人の被験者につき20試行とした。

結果を図3-13に示す。平均約38cmとかなり障害物に接近した距離に被験者の応答が集中したが、少なくとも本実験条件において、盲人の被験者が障害物に衝突せず応答が可能であることが分かった。

なお、応答の際に、被験者が音場以外からの情報を手がかりにしていないことを確かめるために、刺激音を提示せずに試行を行ってみた。その結果、被験者3名とも障害物の存在を認識することが出来きず、障害物に衝突してしまった。このことより、実験においては被験者が音場以外からの情報を手がかりにしていないことを確認した。

また、被験者が障害物の遮音効果による音場の変化を手がかりにして応答していることを確かめるために、障害物を取り除いた状態で刺激音を提示して試行を行ってみた。その結果、被験者3名とも、応答せずにスピーカの位置まで歩いて行った。このことより、実験においては被験者が障害物の遮音効果による音場の変化を手がかりにして応答していることを確認した。

以上の結果から、障害物の遮音効果による音場の変化が障害物知覚の要因となり得ることが確認できた。

3-3-3 音場の物理的測定

次に、被験者の代わりにダミーヘッドを用いて、音場の物理的測定を行った。測定項目は、音圧レベル、両耳間相関係数[8]、スペクトルのそれぞれ距離に対する変化である。

心理実験における被験者の頭の高さ（約1.5m）にダミーヘッド（type 4128;B&K）を配置し、その両耳で観測された信号を20Hz～20kHzのバンドパスフィルタを通して4096 point 50kHz samplingでデジタイザ(H-312;AUTONICS)から計算機(PC9801RA;NEC)に取り込み、各物理量を計算により求めた。

図3-14、3-15、3-16にそれぞれ音圧、両耳間相関係数、スペクトルの距離に対する変化を示す。音圧及びスペクトルは、両耳の測定値の平均値を示してあり、また音圧及び両耳間相関係数は比較のため障害物を取り除いて騒音源が見通せる状態での測定結果も示してある。

測定結果について説明する。

図3-14は、障害物がない場合には、距離が減少するに従い音圧レベルが単調に増加していることを表している。これに対して障害物がある場合には、約1mの距離から、音源に近付いているのにもかかわらず、音圧レベルが減少していることを示している。この結果より、障害物の存在によって、障害物から約1m以内の距離で遮音効果が顕著に現れていることが確認できる。

図3-15は、障害物がない場合には、距離の減少に伴い両耳間相関係数が増加していく傾向にあることを表している。これに対して障害物がある場合には、逆に減少傾向にあることを示している。両耳間相関係数の距離に対する変化の原因は、実験室壁面からの反射音に対する直接音の音圧レベルの変化によるものと考えられる。

図3-16のスペクトルは、距離の減少に従い高音部ほど大きく減少する傾向にある。この結果は、周波数が高いほど透過・回折損失が大きいという一般的音響特性と一致する。

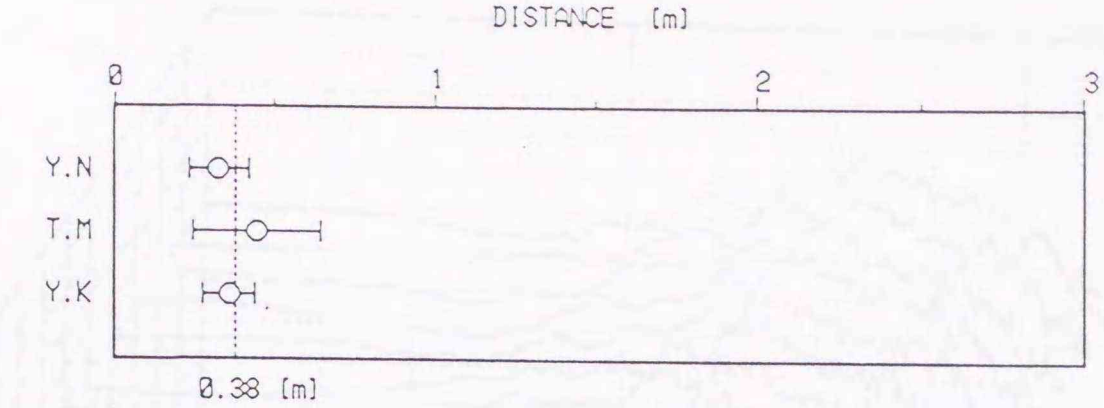


図 3-13　遮音による障害物知覚の実験結果
（障害物の存在を知覚し歩行を停止した時の障害物からの距離）

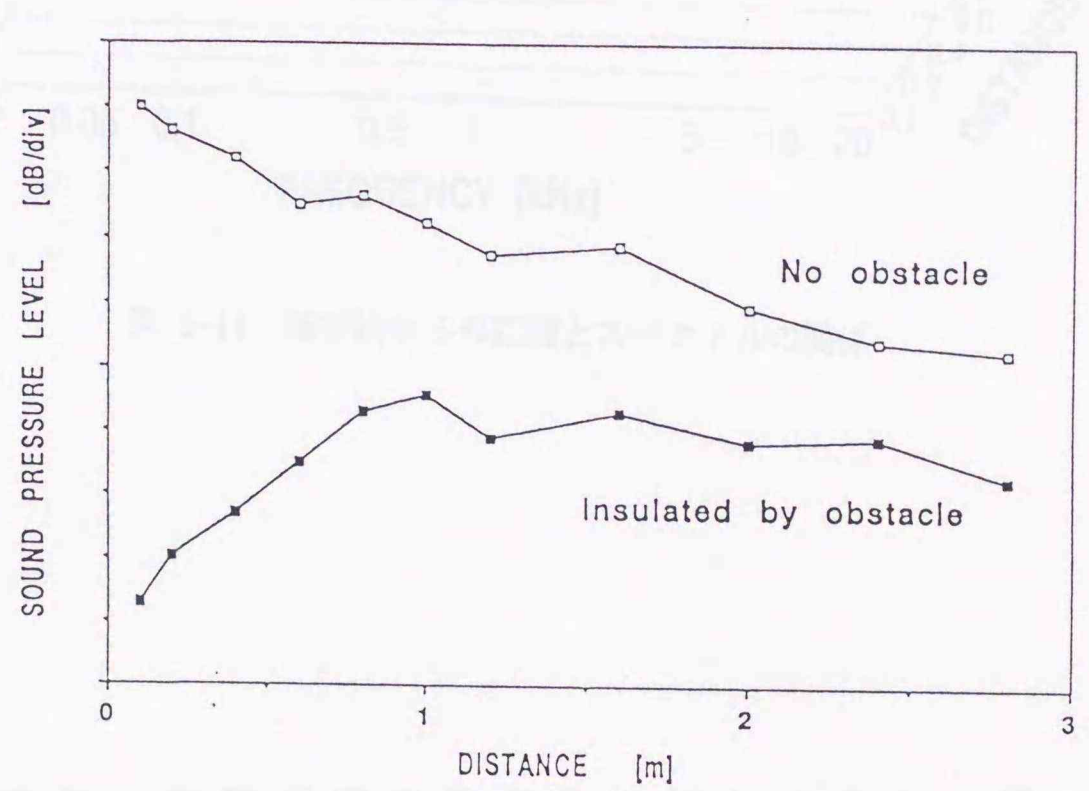


図 3-14　障害物からの距離と音圧レベルの関係

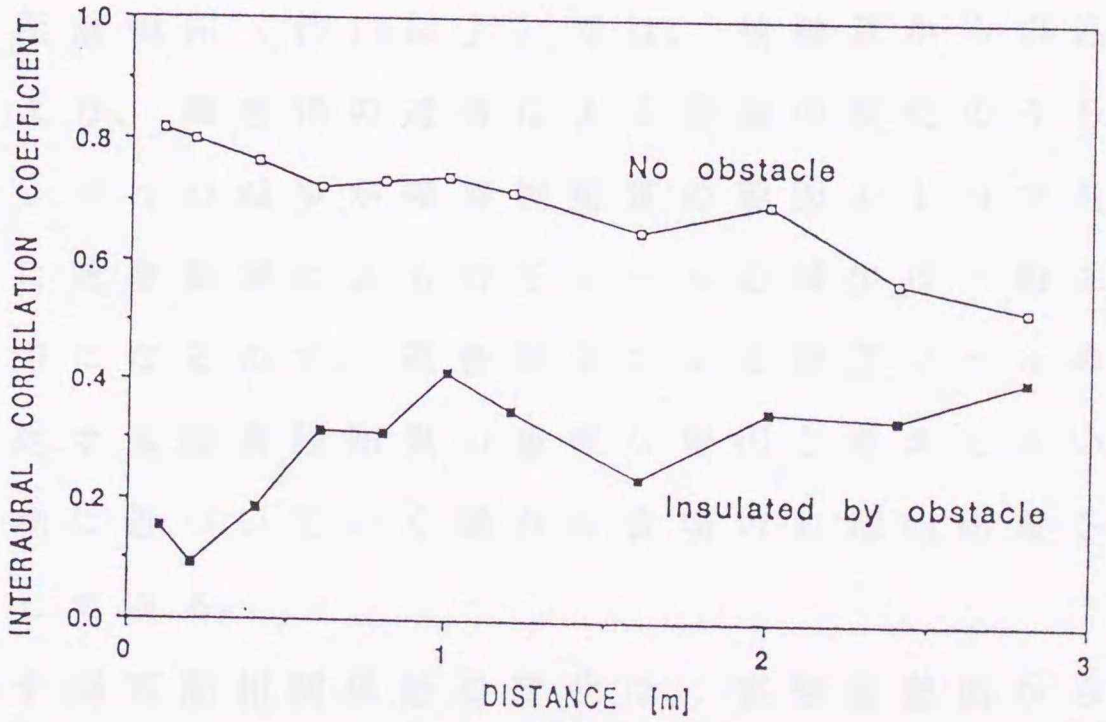


図 3-15　障害物からの距離と両耳間相関係数の関係

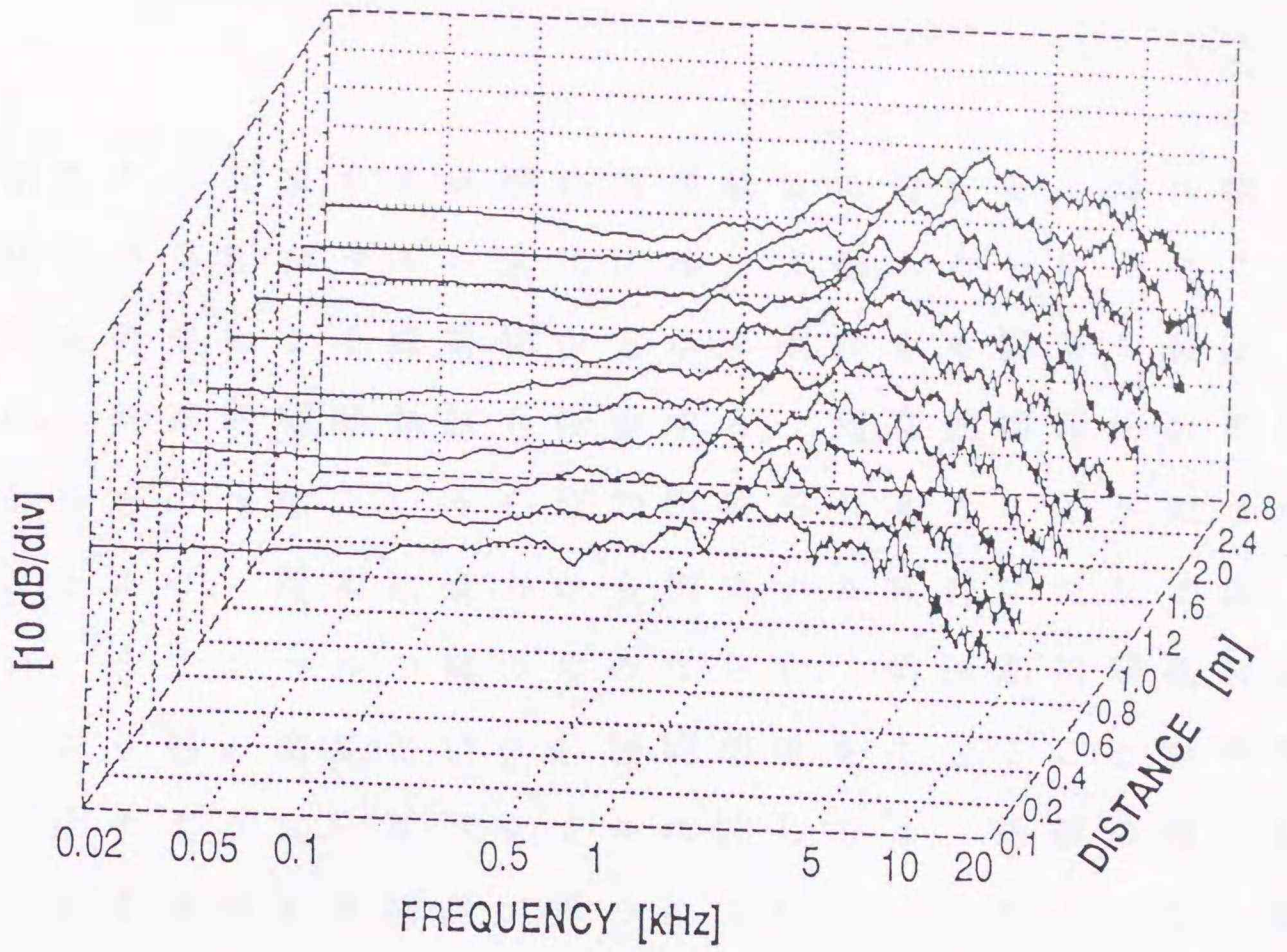


図 3-16　障害物からの距離とスペクトルの関係

3-3-4 考察

心理実験の結果と物理測定の結果を比較してみる。図3-13に示す被験者の応答は、図3-14の障害物がある場合において、距離の減少に伴い音圧レベルが減少している距離範囲（約1m以内）に集中している。これに対して、障害物がある場合でも距離の減少に伴い音圧レベルが増加している距離範囲（約1m以上）では、被験者からの応答はなかった。このことより、障害物の遮音による音場の変化のうち、距離の減少に伴う音圧レベルの減少が障害物知覚の要因の1つであることが推測できる。特に遮音効果による音圧レベルの減少は一般に障害物から近距離ほど顕著になるので、遮音効果による音圧レベルの減少は近距離の障害物に対する障害物知覚の重要な要因と考えてよい。

更に、障害物に近づいていく場合の音場の心理的印象を物理測定の結果から推測してみる。

図3-15に示す両耳間相関係数の変化は、実験室壁面から到来する反

射音即ち側方から到来する周囲の環境騒音に対する、障害物後方から到来する騒音の音圧レベルの変化に伴って起こるものと考えられる。障害物の遮音効果による障害物後方から到来する騒音の音圧レベルの減少に伴い、両耳間相関係数も減少する。両耳間相関係数の減少は、音像の広がり感の増加という心理的印象を与えることが知られている[8]。このことより、障害物後方から到来する騒音に対しては、距離の減少に伴い、音圧レベルの減少のみならず、両耳間相関係数の減少即ち音像の広がり感の増加という心理的印象を生じることが予想される。

図3-16に示すように、スペクトルに関しては、距離の減少に伴い高音部ほど大きく減少する傾向が得られている。このことは、距離の減少に伴い、高音部の減少という音色の変化を心理的印象として受けている可能性がある。

3-3-5 まとめ

従来の研究では検証されていなかった障害物の遮音効果による音場の変化と障害物知覚の関係について、

(1) 障害物の遮音効果を想定した障害物知覚の心理実験によって、遮音効果による音場の変化が障害物知覚の要因となり得ることを明らかにした。

(2) 心理実験の結果と音場の物理測定の結果を比較することにより、遮音効果による音圧レベルの減少が近距離の障害物に対する障害物知覚の要因の1つであると推測した。

(3) 物理測定の結果より、障害物に近づいていく場合の音場の心理的印象を推測した。その結果、音像の広がり感の増加及び高音部の減少という心理的印象を生じると推測した。

3-4 第3章のまとめ

本章では、障害物知覚の要因について、これを調べるための実験を行った。

実験は、まず単純に「障害物知覚」という現象を観察するところから開始し、次に従来の研究の中で、障害物知覚の物理的要因として報告された「反射」と「遮音」の両物理現象について、その心理的な知覚特性を調べた。

本節では、これらの結果を基に、以下のような障害物知覚の要因の仮説を提唱する（図3-17）。

今、十分遠方の距離から障害物に向かって盲人が歩行していくことを考えた時、盲人に観測される音響心理・物理的変化を追って行くと次のようになる。

まず、障害物にある程度の距離まで近付くと、障害物に対して盲人と同じ側に音源を持つ環境騒音の反射音、または足音や白杖を突く音の反射音が聞こえ始めるはずである（図3-17(a)）。足音や白杖を突く音が十分大きい場合、反射音は先行音効果の影響を受けないような遠距離で聞こえ始めることになるので、反射音の音像は反射音源（即ち障害物に対する直接音源の鏡像）に定位し、遠距離の障害物の位置を知るのに非常に有効な情報源ということになる。但し、3-2-2における考察では先行音効果の影響を受けない距離とは少なくとも約6m以上であり、その時の足元に音源を持つ音の減衰量は直接音に比べ約20dB以上となるので、先行音効果の影響を受けないような遠距離で反射音を聞くためには、直接音が約20dBSL以上に聞こえる足音または白杖を突く音を立てて歩く必要がある。

更に障害物に近付いて行くと、先行音効果により、反射音は直接音の音像と融合した合成音像として直接音源に定位して知覚される（図3-17(b)）。この時、従来の研究で報告されたThurlow ピッチまたはカ

ラーレーションによる「ピッチ変化」が知覚されると推測する。

また近距離においては、遮音による音場の変化、即ち障害物後方から到来する騒音の音圧の降下及び高音部の減衰が盲人に観測されるはずである。反射音は障害物に近付くにつれ段々音圧レベルが増加し、またピッチが高くなって知覚されるのに対し、障害物後方から到来する騒音は遮音の影響により音圧レベルが減少し、またスペクトルの高音部が減少する。また、両耳間相関係数の減少により、障害物後方から到来する騒音の音像が更に広がって知覚されると推測する。反射音がどちらかといえば遠距離で有効な情報源となることに対して、遮音の効果は比較的近距離においてその影響が現れるので、遮音は障害物が直前まで迫って来ている時にその情報を得るのに有効な手がかりとなる。

障害物の直前（直接音と反射音の時間差が数msecの距離）になると、直接音と反射音の合成音像は直接音源よりも障害物に近い位置に定位して知覚されるようになる。また、遮音のため前方には音像が殆ど存在しない状況となる（図3-17(c)）。これらの音像の変化が、眼前に障害物が迫ったことを盲人に認識させ、衝突前に回避することを可能にしていると考えてよい。

盲人の多くは、「障害物に近付くと、顔や体全体に圧迫感を覚える」という内観報告をしている。かつてこの内観報告が、障害物知覚における皮膚感覚説（第2章参照）の基となり、障害物知覚が「顔の目、または顔面視力」といわれる由縁となった。この圧迫感は、皮膚感覚ではなくて、先行音効果及び遮音効果によって前方から音像が消失することにより、眼前に音を遮る物体が存在することを盲人に連想させることによって心理的に誘発される1種の錯覚であると推測する。

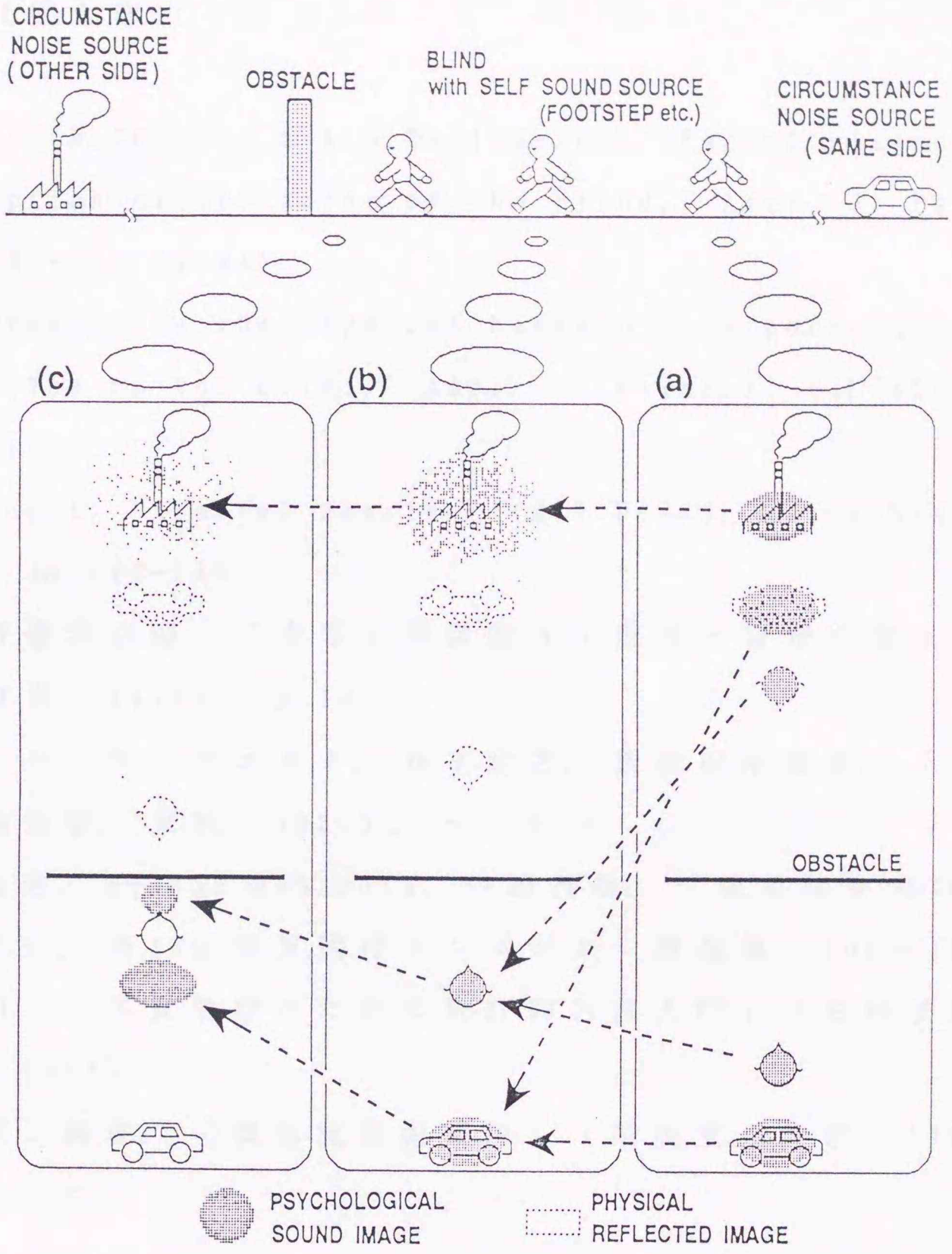


図 3-17　障害物知覚の要因の仮説
(a) 障害物から約6m以上の距離
(b) 先行音効果の影響を受ける距離範囲
(c) 直接音と反射音の時間差が数msecとなるような距離

参考文献（第３章）

1) M.Supa, M.Cotzin, & K.M.Dallenbach, "Facial vision : The perception of obstacles by the blind," Amer. J. Psychol. 57, 133-183 (1944).

2) V.Twersky, "On the physical basis of the perception of obstacles by the blind," Amer. J. Psychol. 64, 409-416 (1951).

3) J.Blauert, "Spatial Hearing" (MIT PRESS, Massachusetts, 1983), pp.222-235.

4) 日本音響学会編、「音響工学講座６・聴覚と音響心理」（コロナ社、東京、1978）、p.181.

5) イェンス　ブラウエルト、森本政之、後藤敏幸編著、「空間音響」（鹿島出版、東京、1986）、p.143.

6) 中村貴志、Djadja Rahardja、中田英雄、「視覚障害者の歩行姿勢の分析」、第16回感覚代行シンポジウム講演集、105～109（1990).

7) 鐵健司、「品質管理のための統計的方法入門」（日科技連出版、東京、1977）.

8) 樋渡涓二編著、「視聴覚情報概論」（昭晃堂、東京、1987）、pp.129～131.

第４章　障害物知覚の要因に関する仮説の検証

本報告では、まず第３章で提唱した障害物知覚の要因のうち、反射音に関する以下に示す３つの仮説

仮説１：自分自身が音源であるような音（足音または白杖をつく音等）について、遠方の距離から障害物に近づいていくと、反射音の音像は、最初は直接音と分離して障害物方向に定位するが、やがて直接音の音像と融合して障害物方向に定位しなくなる。（図4-1 矢印１）

仮説２：自分以外のものが音源であるような音（環境騒音等）についても、反射音の音像は、仮説１と同様の変化をする。（図4-2 矢印２）

仮説３：仮説２において直接音と反射音の融合によってできた合成音像は、更に障害物に接近した場合、直接音源の位置から障害物方向に移動する。（図4-3 矢印３）

及び、3-2-6で保留にした環境騒音の反射、及び3-5で調べた環境騒音の遮音に関する以下の２つの仮説

仮説４：障害物近距離において、環境騒音に対する反射と遮音の両音響現象が、盲人に障害物の存在感を与える要因の１つである。

仮説５：障害物近距離において、環境騒音の反射音の遅れ時間が、盲人に障害物の距離感を与えている要因の１つである。

合計５つの仮説を、心理実験により検証した。

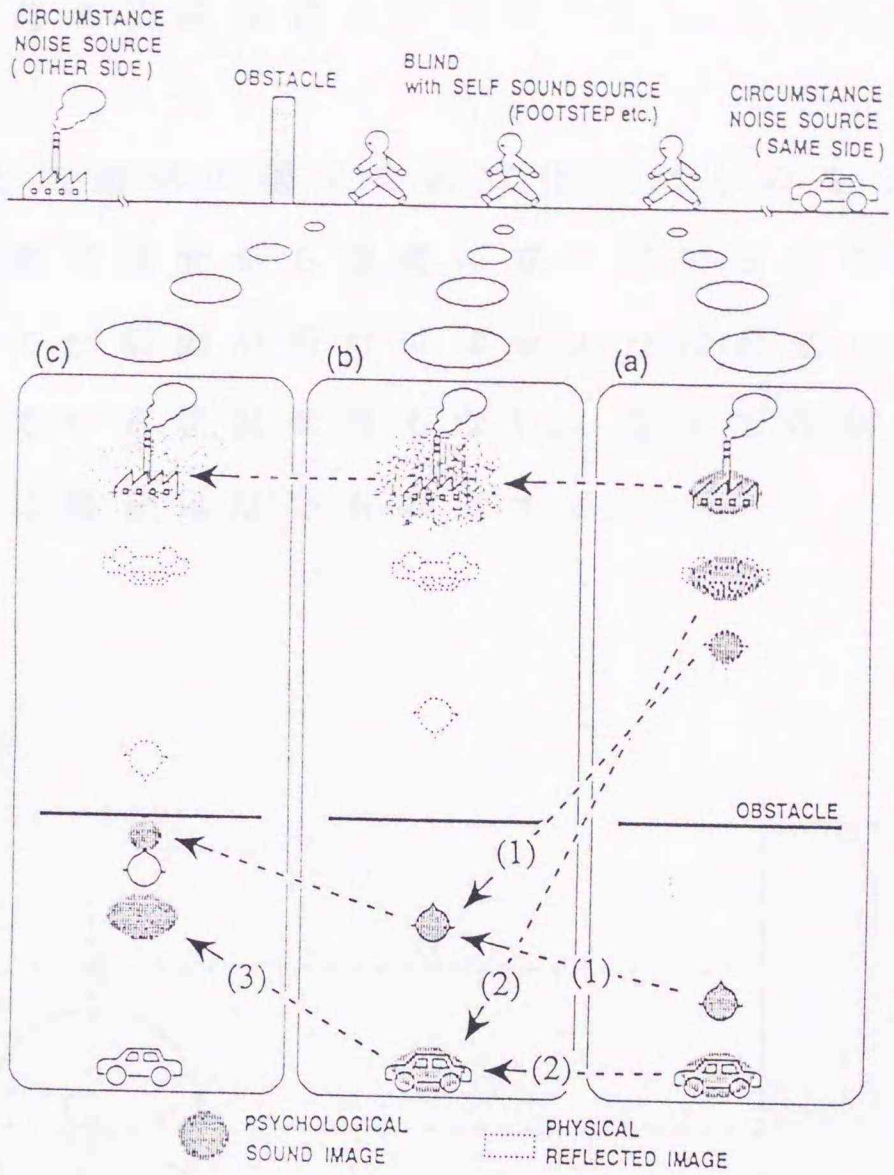


図 4-1　仮説１～３（図中矢印１～３）

4-1 仮説1の検証

足音の反射音の音像の変化については、3-2で述べたDamaskeの測定結果[1]を基に考察し、仮説を提唱した。しかし、先行音効果は音源の位置によってもその過程が異なる。本検証実験では、音源位置をDamaskeや3-2-4の実験のように音源を水平面上とするのではなく、足音の直接音源と反射音源の位置関係を極力正確に再現して、音像の変化を調べる。

4-1-1 障害物との遭遇の状況設定

図4-2に、障害物との遭遇の状況を図式化したものを示す。障害物は十分大きな平面の障壁で地面から垂直に立っているものとする。また、盲人は障害物に対して前額面が平行になるように直立しているものとする。今回は移動している状況は考えない。従って反射音のDoppler効果はない。また周囲に騒音はないものとする。

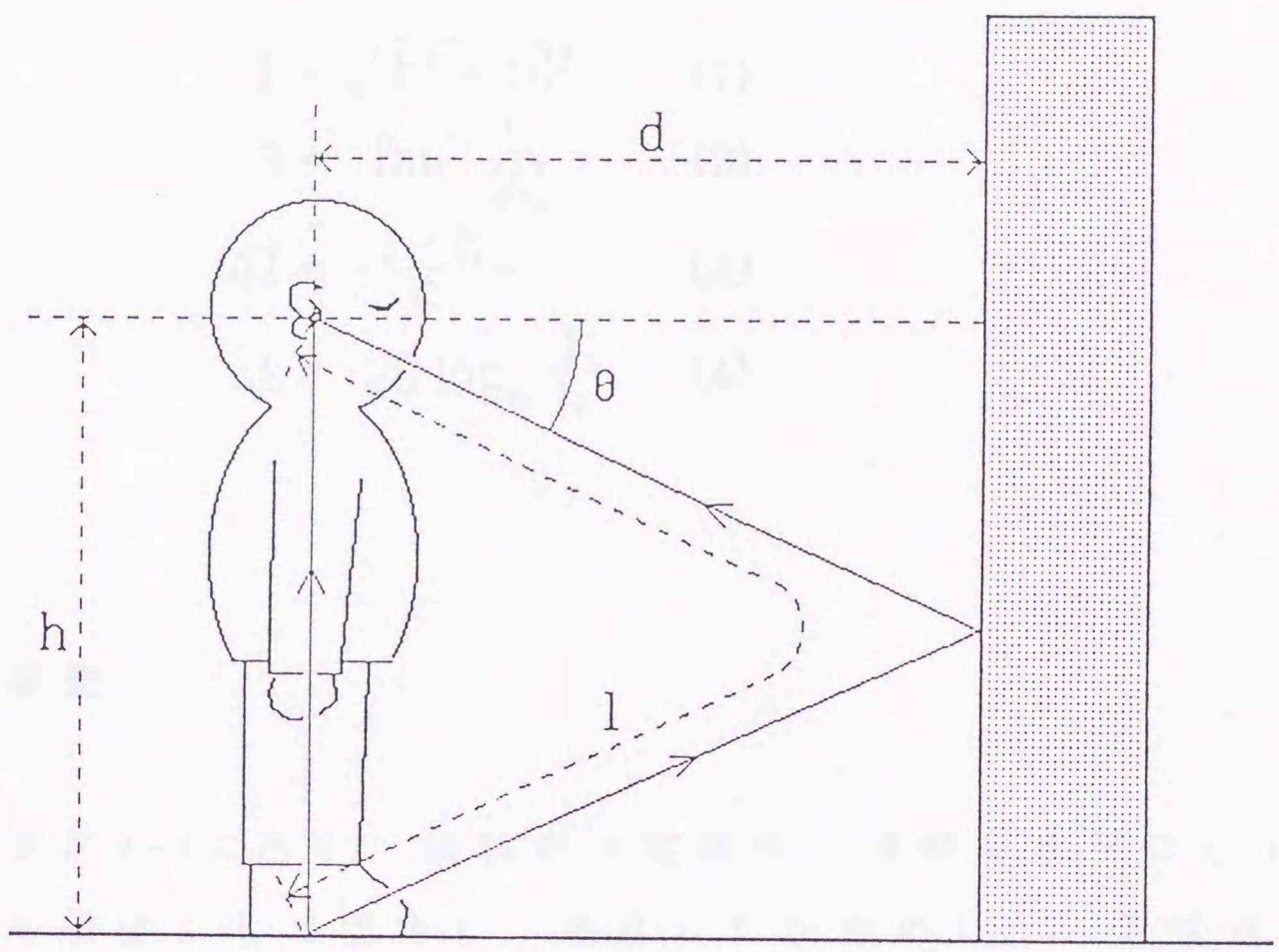


図 4-2　仮説1の検証実験における障害物との遭遇の状況

音の伝搬に関しては、今回は最も単純な条件を設定した。障害物知覚の手がかりとなる音の直接音源は点音源で足元に位置するものとし、直接音が耳に至るまでに胴体の遮音の影響は受けないものとする。また障害物表面における反射損失はなく音は鏡面反射するものとする。この設定条件において、盲人の耳の高さをh、障害物から耳までの距離をd、音速をcとすると、反射音の耳までの伝搬経路長l、到来方向の俯角θ、直接音に対する反射音の遅延時間ΔT及び減衰量ΔLは式(1)～(4)で表される。

$$l = \sqrt{h^2 + 4d^2} \qquad (1)$$

$$\theta = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{h}{2d} \qquad (2)$$

$$\Delta T = \frac{l - h}{c} \qquad (3)$$

$$\Delta L = -20 \log_{10}\frac{l}{h} \qquad (4)$$

4-1-2 実験装置

実験装置を図4-3に示す。被験者は実験中、耳軸を水平にして頭頂を上に、頭部を垂直にして固定し、直立した状態にした。直接音源は、本来は足の下に配置するべきであるが、これでは足や胴体の遮音の影響を大きく受けてしまうので、今回の実験では爪先の位置に配置した。反射音源は、本来は障害物に対して直接音源の鏡像の位置に配置するのが理想的であるが、実験室の広さの都合上、直接音源と等距離の位置に配置することにした。また、反射音の到来方向の俯角θは、式(1)(2)(3)から分かる通り、遅延時間ΔTに応じて変化するので、反射音源としては到来方向の変化に対応した複数の音源を用いるのが理想的である。しかし今回の実験で用いる遅延時間の組み合わせの場合、各遅

延時間に対する反射音の到来方向の俯角θの差は僅か約0.5°～7.4°しかなく、音源を複数配置することはスピーカの寸法上難しい。そこで本実験装置では、実験に用いる各遅延時間に対する俯角θの平均値を求め、この俯角の方向に反射音源を1つだけ配置した。この時の本来の到来方向との誤差は、今回の実験で用いる遅延時間の場合、9°未満である。

刺激音は計算機(PC9801RA;NEC)で算出した白色雑音のバースト(継続時間10msec、$\cos^2$窓)で、12bit 2ch D/Aコンバータ(H-312;AUTONICS)を用いて20μsec stepで出力し、20kHz 48dB/oct ローパスフィルタ(P-85;NF)を通してアンプ(AUA-5600;DianGo)で増幅し、スピーカ(SRP-S300;SONY)から出力した。直接音の音圧レベルは50dBSL、反射音はこれに遅延、減衰を施したものである。遅延、減衰の処理は計算機上で行った。

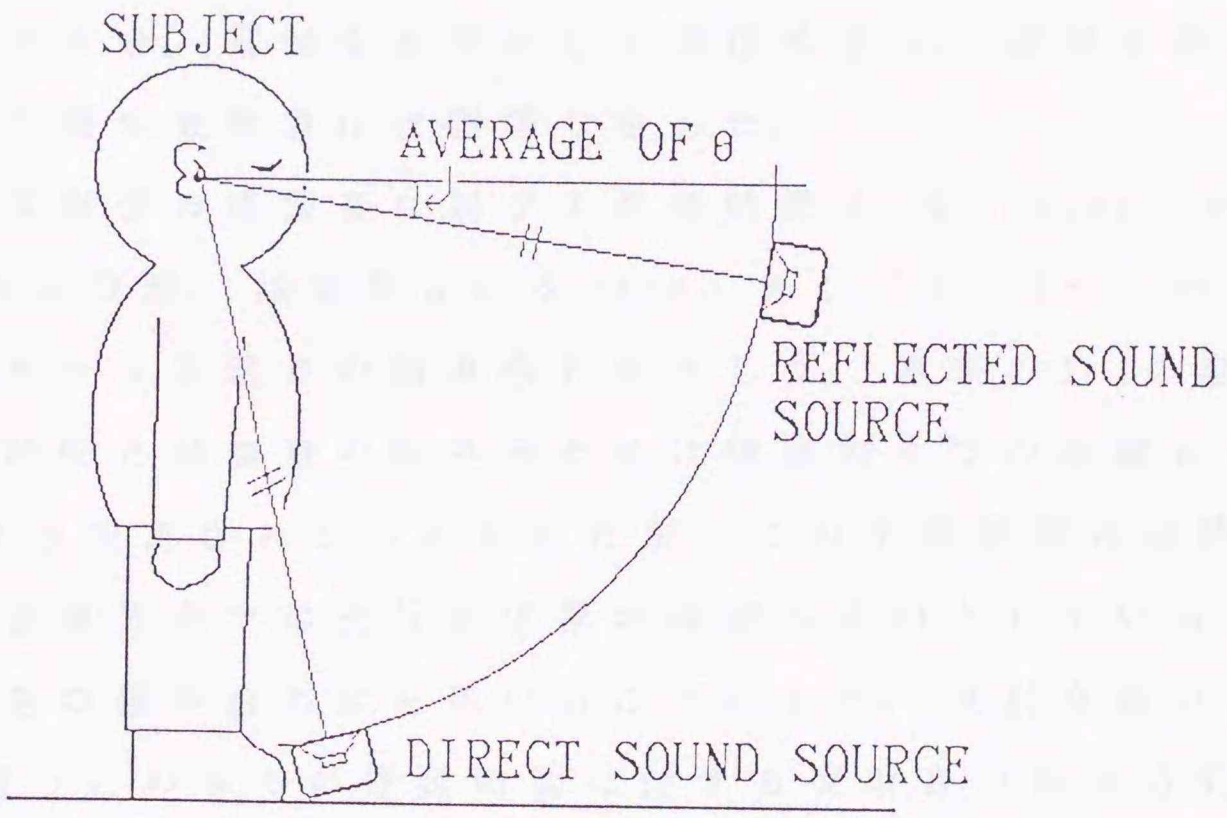


図 4-3　仮説1検証のための実験装置（足音を手がかりにしている場合を想定）

4-1-3 先行音効果の確認のための予備実験

先行音効果に関する従来の研究は主に直接音源と反射音源が水平面上に存在する場合について行われてきている[1)]。4-1-1で設定した障害物知覚の状況のように、音源が水平面上にない場合においても同様の現象が起こるか否かをまず調べる必要がある。

4-1-2で設定した音源方向で先行音効果が起こるか否かを確認するための予備実験を行った。

(1) 実験方法

被験者は正眼者3名（23～25才）と盲人2名（19～20才、先天性全盲）である。この予備実験は、障害物知覚を特に想定せず、単に4-1-2で設定した音源方向で先行音効果が起こるか否かを確認することを目的としているので、あえて正眼者も被験者に加えた。被験者は4-1-2の設定通り直立させ、耳軸を水平にして頭頂を上に、頭部を垂直にして固定した。正眼の被験者には眼隠しをした。

刺激は、反射音の直接音に対する遅延時間ΔTを10msecステップで10～50msecの5段階、減衰量ΔLを-5dBステップで-10～-30dBの5段階、全部で5×5＝25通りの組み合わせとした。本来4-1-1の設定に従うなら、遅延時間と減衰量の組み合わせは障害物までの距離に応じて式(1)(3)(4)より決定されるべきものだが、この予備実験は純粋に4.1.2で設定した音源方向での先行音効果の確認を目的としているので、このような任意の組み合わせを用いることにした。反射音源の俯角は4-1-2の設定通りこの5つの遅延時間に対する反射音の到来方向の俯角θの平均値とした。耳の高さ1.5mの被験者の場合の平均値は約9.2°、実際の到来方向との最大誤差は約8.6°である。

被験者には、直接音源の位置に関しては予め足元にあることを知らせてあるが、反射音源の位置は知らせていない。被験者の応答方法としては、図4-4に示す通り、提示された刺激に対し、反射音の音像の到

来方向を「指さし」により指示させる方法をとった。反射音の音像と直接音の音像が融合して音像が分離しなかった場合は、融合した音像の重心を指示させた。「指さし」による指示方法は、頭部の中心と指先の延長が音像の方向を示すように指示させるようにした。なお実験開始前に、この方法によって正中面上の任意の音源方向を10°以内の誤差で指示出来るよう、予め被験者に練習をさせた。被験者の応答は、図4-4に示すように、反射音源方向から10°以内（以下本論文では応答Aと呼ぶ）、直接音源方向から10°以内（応答C）、それ以外の方向（応答B）という3種類に分けて記録した。音源であるスピーカの側面には10°を示すゲージが取り付けてあり、実験者は、被験者の「指さし」指示とゲージとを目視により比較して、A、B、Cのいずれかで記録した。

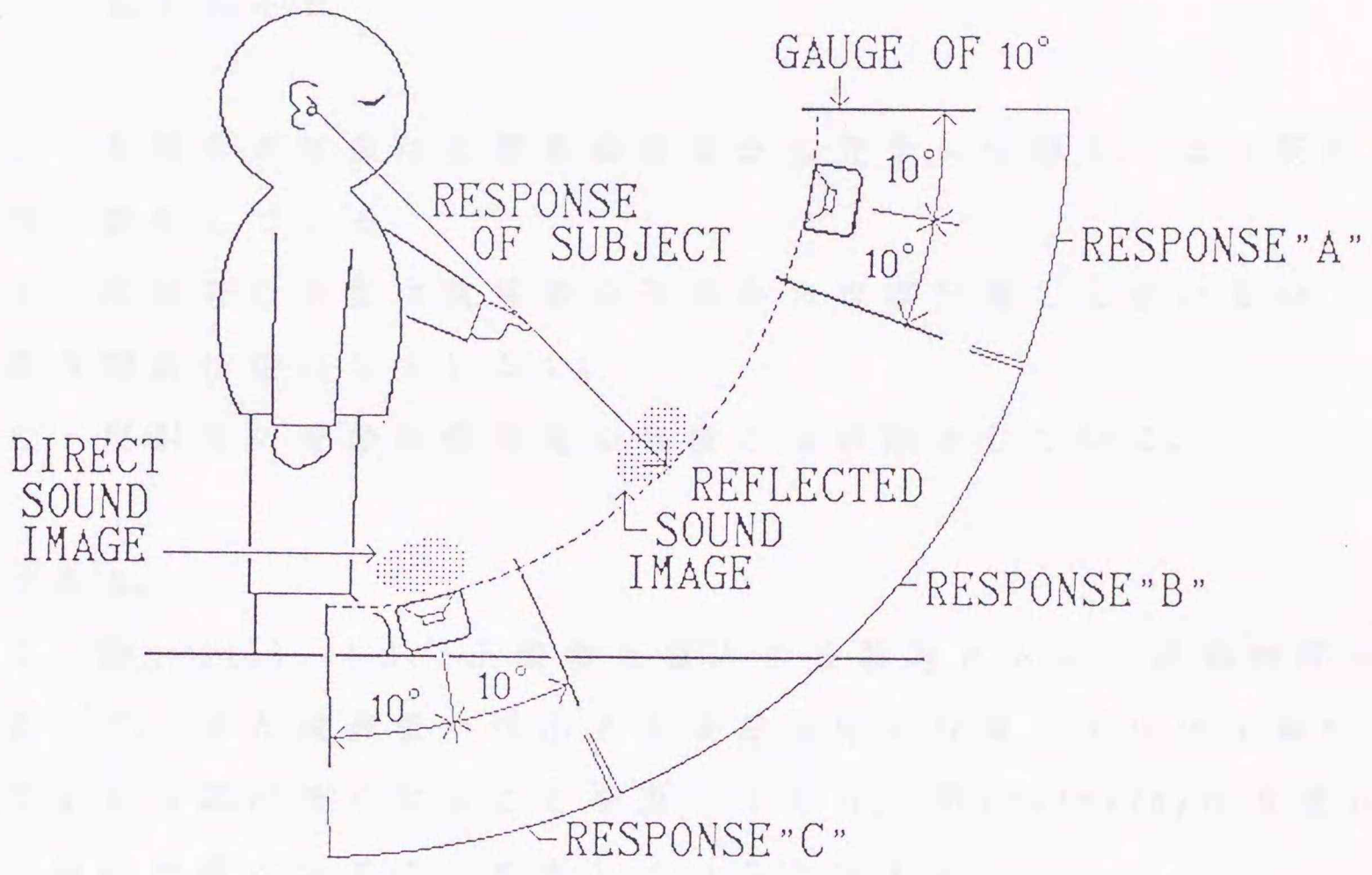


図 4-4　被験者の応答方法

刺激回数は、遅延時間と減衰量の1組を1度だけ提示して1試行とし、1セッションにつき6試行×25組＝150回をランダムに行い、これを1人の被験者につき3セッション行った。即ち、1人の被験者からは1組の刺激につき18回の回答を得た。所要時間は1セッションにつき約15分で、次のセッションまでは10分以上の休息をとらせた。

(2) 実験結果

図4-5(a)(b)(c)(d)にそれぞれ、正眼者3名合計の応答A、応答C、及び盲人2名合計の応答A、応答Cの回答率を示す。

この予備実験における被験者の内観報告によると、直接音の音像が直接音源以外の方向に定位することはなかった。このことより、応答A、B、Cはそれぞれ

応答A：反射音の音像は直接音の音像から完全に分離し、ほぼ反射音源方向に定位している。

応答B：反射音の音像は直接音の音像からほぼ分離してはいるが、反射音源方向には定位していない。

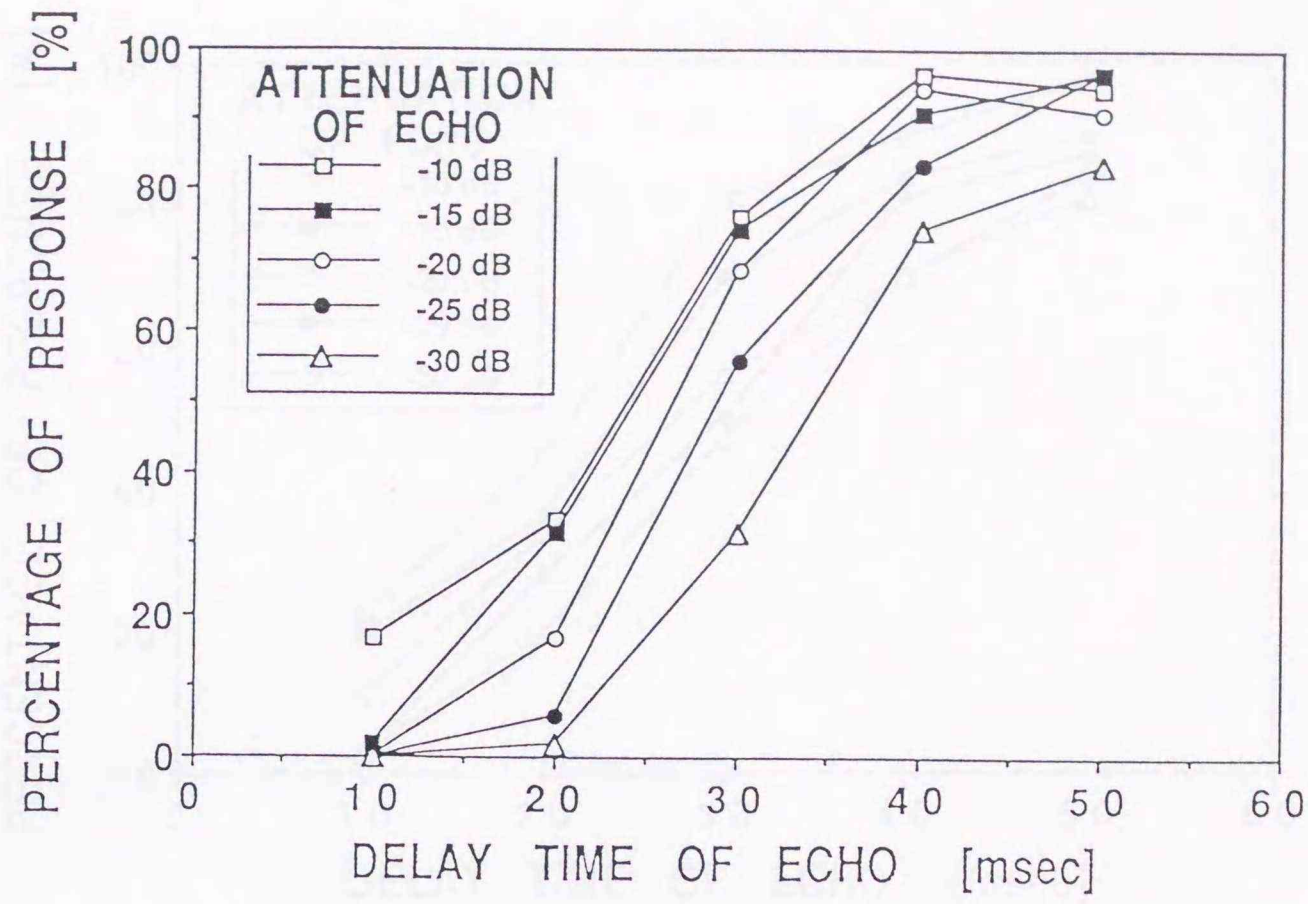
応答C：反射音の音像は直接音の音像とほぼ融合している。

と解釈できる。

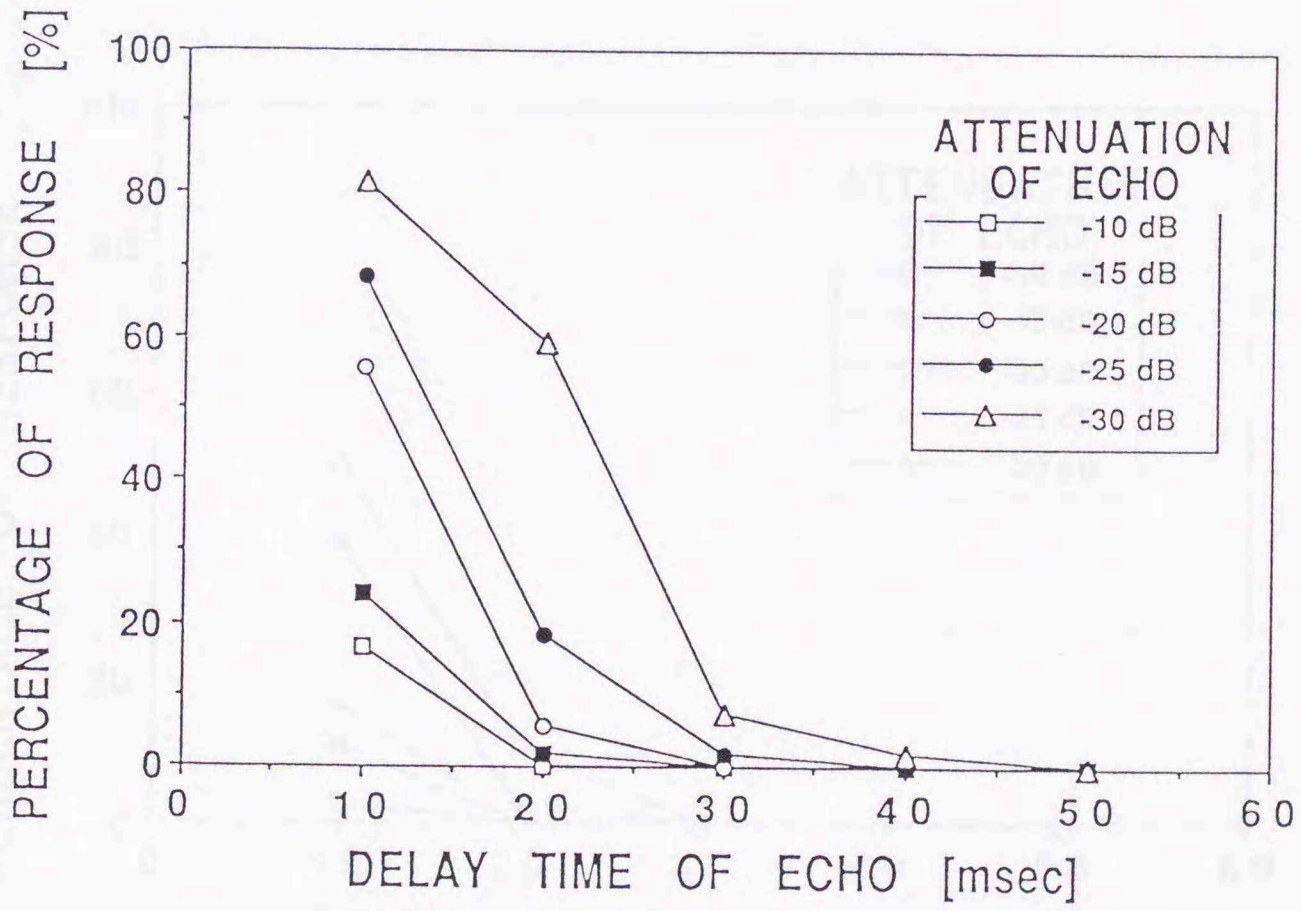
従って、図4-5(a)(c)は、正眼者と盲人の被験者ともに、遅延時間が減少するほど、また減衰量が増加するほど音像が分離してほぼ正確に音源定位する確率が低くなることを表しており、図4-5(b)(d)は音像が融合する確率が高くなることを表していると言える。

この結果から、正眼者と盲人ともに、図4-3で設定した音源方向において先行音効果が起こることが示された。

なお、図4-5(b)と(d)を比較すると、盲人の応答Cの回答率が正眼者の応答Cの回答率より低い傾向にあることが窺える。このことは盲人

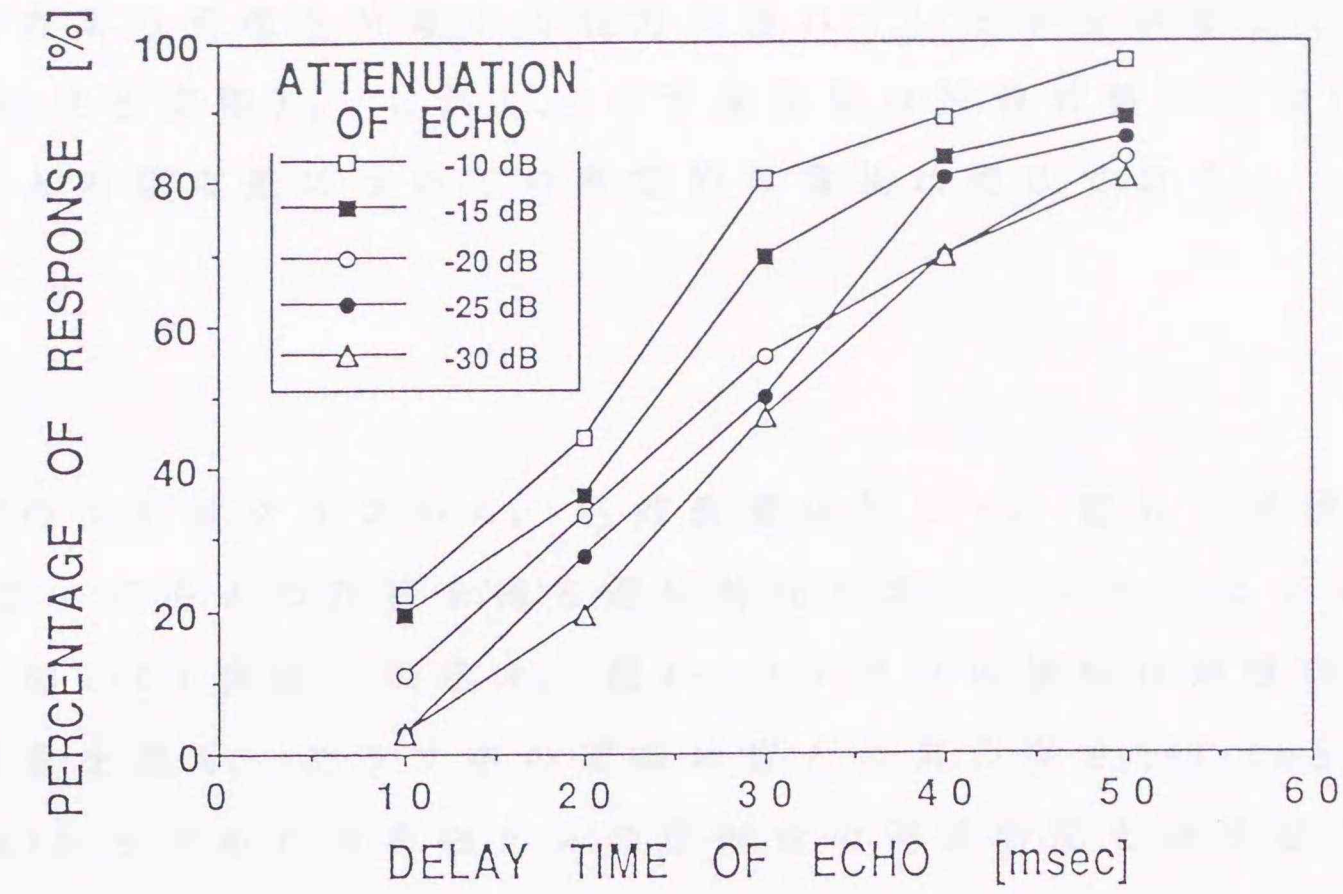


(a)

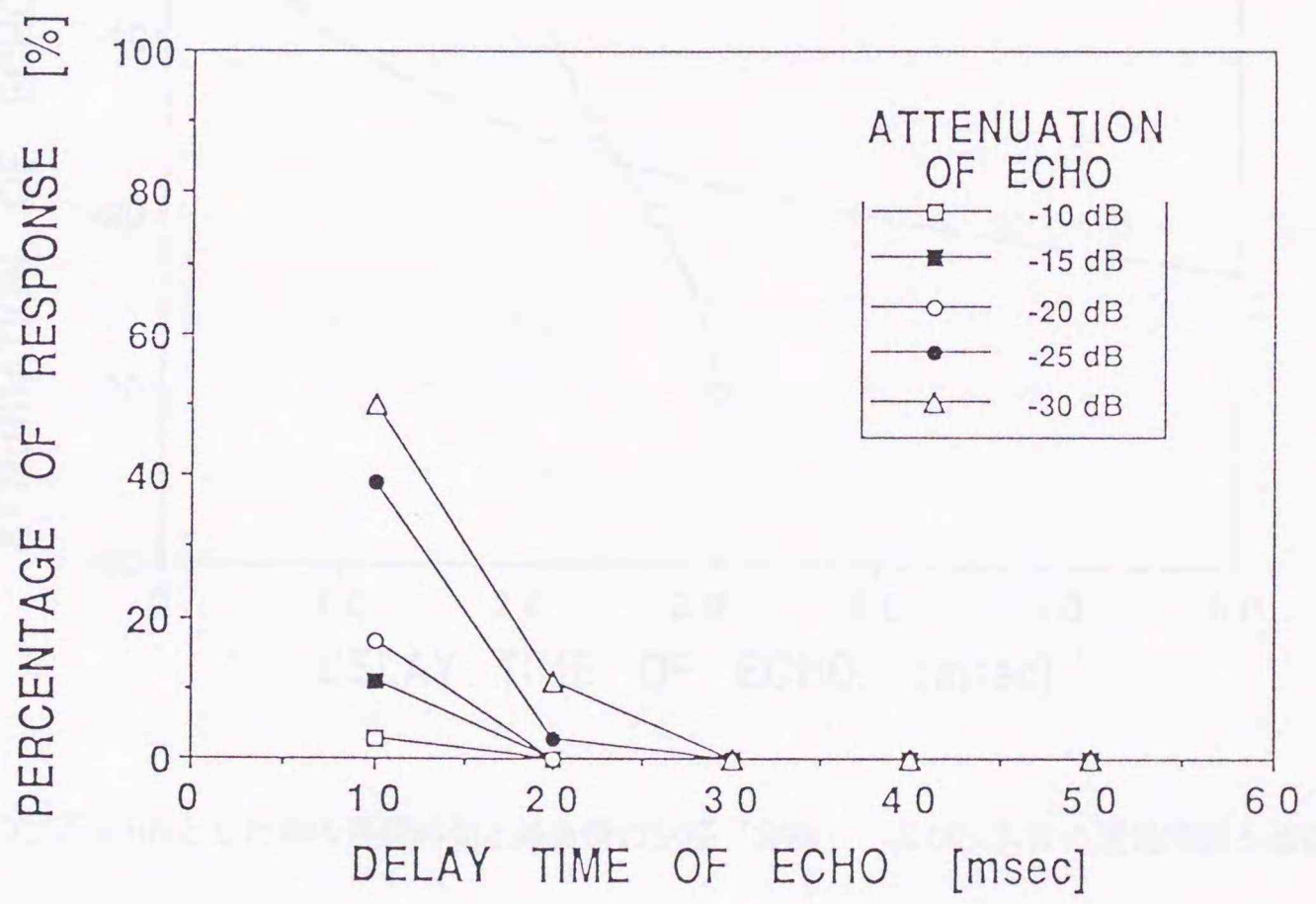


(b)

図 4-5　先行音効果の確認のための予備実験の結果
（正眼者３名合計の（a）応答Ａ　（b）応答Ｃ
盲人２名合計の　（c）応答Ａ　（d）応答Ｃ　の回答率）



(c)



(d)

図 4-5　先行音効果の確認のための予備実験の結果
（正眼者３名合計の（a）応答Ａ　（b）応答Ｃ
盲人２名合計の　（c）応答Ａ　（d）応答Ｃ　の回答率）

の方が正眼者より音像を分離する能力に優れている事を示唆している（3-2-4の結果と同様）。しかし、本予備実験は被験者数が少ないため、正眼者と盲人の間の差についての断定的な言及は避けておく。

(3) 考察

図4-5(c)の折れ線グラフから、各減衰量に対して、盲人の被験者から50%の確率で応答Aの回答を得る遅延時間を求め、グラフにプロットしたものを図4-6（実線）に示す。図4-6のグラフの横軸は遅延時間、縦軸は減衰量を表し、グラフ中の破線は盲人の耳の高さh=1.5mとして式(1)(3)(4)から求めた障害物からの反射音の遅延時間と減衰量の関係を表している。

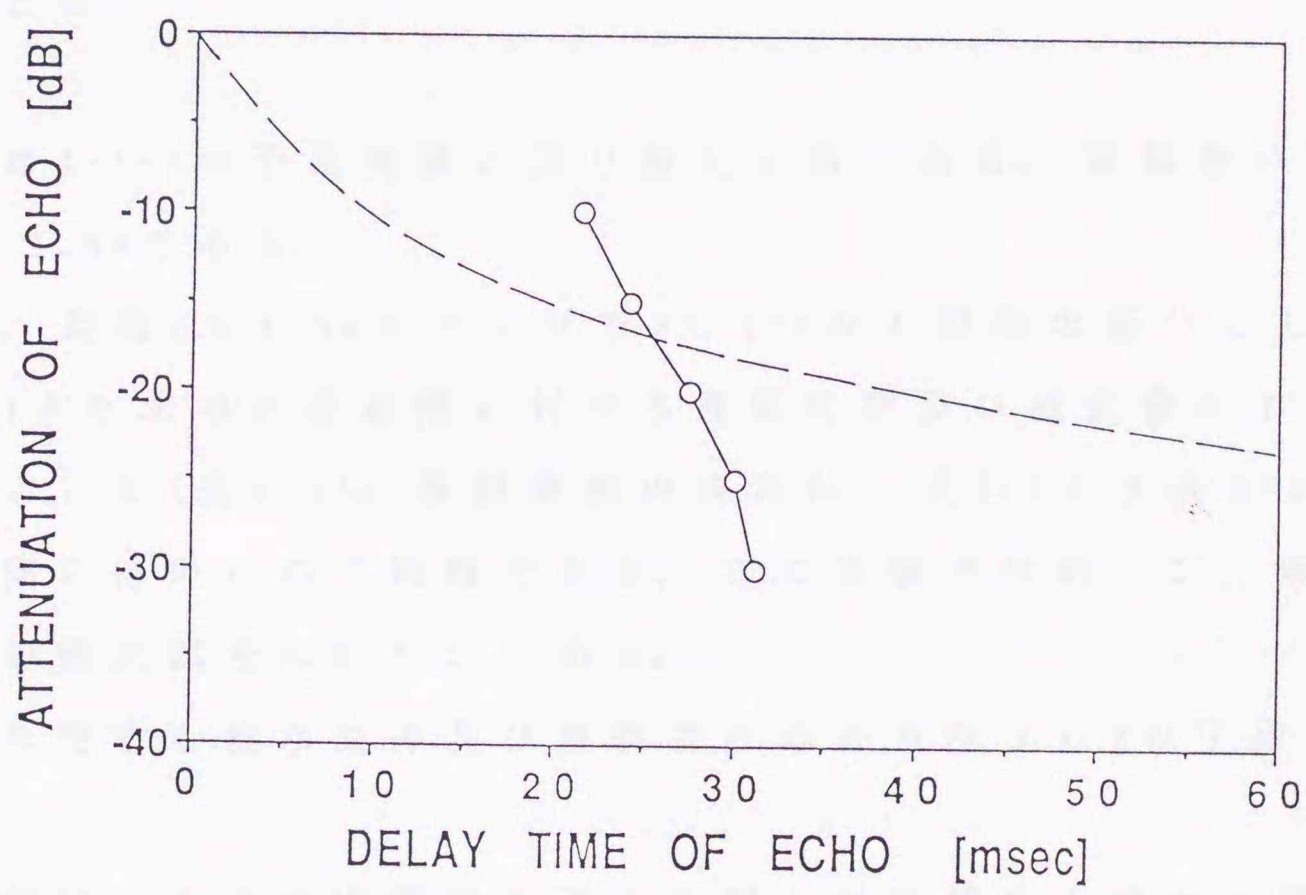


図 4-6 応答Aの回答率50%とした時の遅延時間と減衰量の関係（実線）、及び反射音の遅延時間と減衰量の関係

図4-6は、障害物からの反射音に対して、反射音定位がほぼ正確にできる確率が50%以上となるような遅延時間は約25msec以上なければならないことを表しており、障害物から近距離ほど、反射音定位を盲人がほぼ正確に行える確率が低くなることを示唆している。

この結果を踏まえた上で、今度は障害物からの距離の変化に応じて、反射音定位をほぼ正確に行える確率を求める実験を行うことにした。

4-1-4 障害物からの距離変化に対する反射音定位の実験

障害物からの距離の変化に応じて、式(1)(3)(4)より求まる遅延時間及び減衰量の組を刺激として、反射音定位をほぼ正確に行える確率を求めるのがこの実験の目的である。

(1) 実験方法

被験者は4-1-3の予備実験と同じ盲人2名である。被験者の耳の高さhはともに1.5mである。

刺激は、距離dを1.5mステップで3～12mの7段階の変化として、式(1)(3)(4)より求めた各距離に対する遅延時間及び減衰量の7通りの組み合わせとした(表4-1)。反射音源の俯角は、式(2)より求まる反射音の到来方向の俯角θの平均値であり、この実験では約7.0°、実際の到来方向との最大誤差は約7.0°である。

被験者に対する教示条件及び被験者の応答方法は4.2の予備実験と同じとした。

刺激回数は、1つの距離即ち遅延時間と減衰量の1組を1度だけ提示して1試行とし、全部で20試行×7組＝140回をランダムに行った。即ち1人の被験者からは1つの距離即ち1組の刺激につき20回の回答を得た。

表 4-1　距離dに対する遅延時間ΔTと減衰量ΔLの組み合わせ

d [m]	Δ T [msec]	Δ L [dB]
3.0	13.8	-12.3
4.5	22.4	-15.7
6.0	31.2	-18.1
7.5	39.9	-20.0
9.0	48.7	-21.6
10.5	57.5	-22.9
12.0	66.3	-24.1

(2) 実験結果

図4-7に、盲人2名合計の応答Aの回答率を示す。この実験では、応答Cの回答率はすべての距離において0%であった。

図4-7は、4-1-3で考察した通り、障害物に近づくに従い反射音定位をほぼ正確に行える確率が低くなっていくことを表している。図4-7は、4-1-1で設定した状況の場合、反射音定位を50%以上の確率でほぼ正確に行える距離は約6m以上必要であることを示している。

また、応答Cの回答率が0%であったことは、4-1-1で設定した状況の場合、少なくとも3～12mの範囲において、100%の確率で反射音の音像を直接音の音像と分離できる（但し反射音源には定位していない）ことを示している。

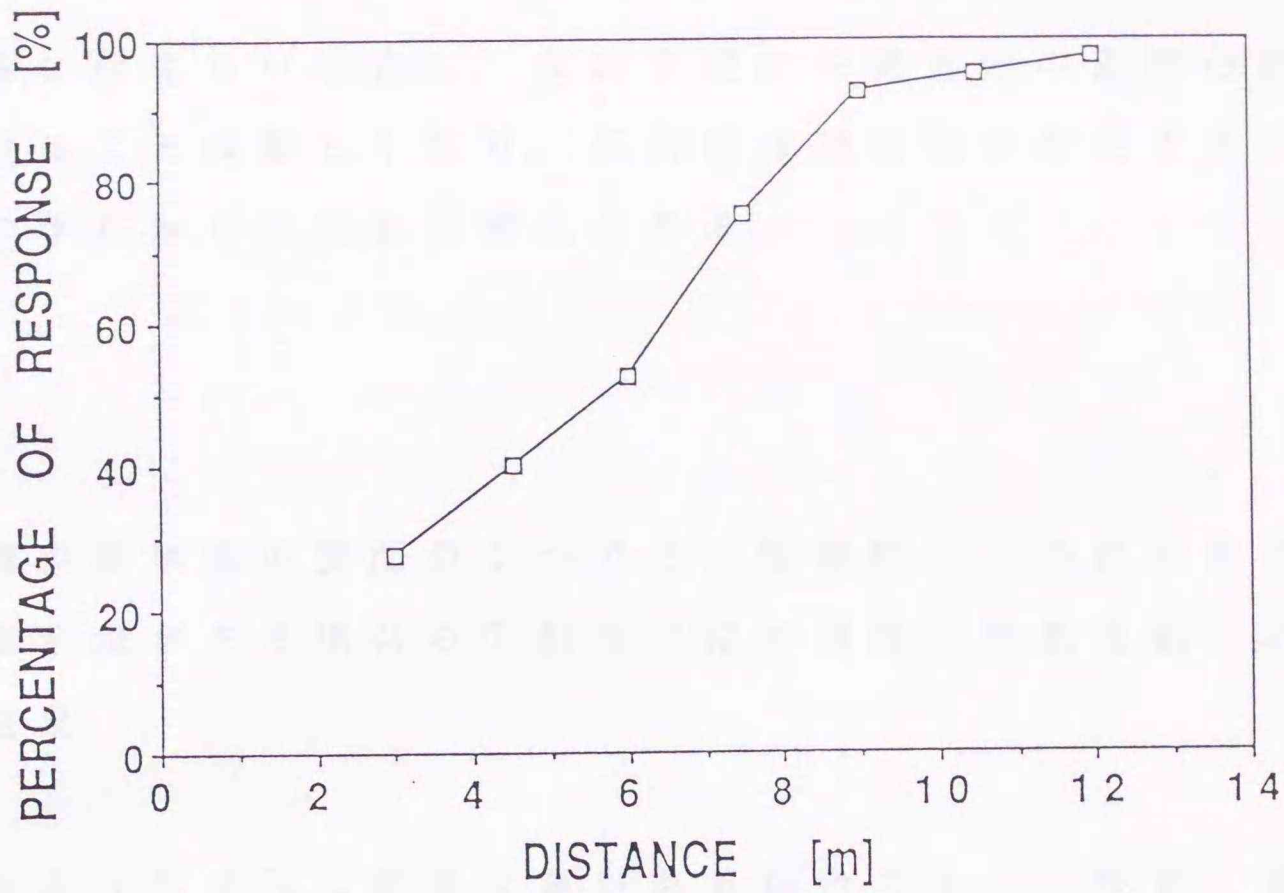


図 4-7 障害物からの距離変化に対する反射音定位の実験の結果
（盲人２名合計の応答Ａの回答率）

（3） 考 察

この実験では、反射音源の俯角の都合上、距離を3m以上としているが、距離が3m以内の場合は、先行音効果のみならず、反射音源（障害物に対して直接音源の鏡像の位置）と直接音源との物理的な距離が小さくなるため、更に音像の分離が困難になることが推測される。従って、実験結果ともあわせて、障害物から近距離ほど音像が分離しづらいと言える。

また逆に、反射音の音圧レベルが最小可聴レベルを下回るほど遠距離になると、音像定位以前に反射音自体が聞こえなくなることは容易に推測できる。

以上のことから、盲人の障害物知覚において、足音等を直接音として障害物からの反射音定位を手がかりとしている場合には、障害物の距離の認識が可能となるための距離範囲があることが示唆された。

なお、反射音の音像を直接音の音像と分離できてはいるが、反射音

定位が正確に行えない場合は、反射音定位を障害物の距離の認識の手がかりとすることは難しくなり、反射音は障害物が存在するか否かの弁別のみの手がかりとなると考えられる。

4-1-5 まとめ

盲人の障害物知覚の要因の1つである障害物からの反射音について、足元に直接音源がある場合の反射音定位の特性を聴感実験により調べた。その結果、

(1) 足音のように足元に直接音源がある場合でも、正眼者と盲人ともに、先行音効果が起こることが確認された。

(2) 盲人を被験者とした場合の障害物からの距離に対する反射音定位の確率の変化から、障害物から近距離ほど反射音定位をほぼ正確に行うことが難しくなることが分かり、反射音定位を手がかりとして障害物の距離の認識を行うことが可能となるための距離範囲があることが示唆された。なお、反射音定位がほぼ正確に行えない場合においては、反射音定位は距離の認識の手がかりとなることが難しく、反射音は障害物が存在するか否かの弁別のみの手がかりとなると考えられる。

そして、(1)及び図4-5に示す結論は、仮説1の正当性を支持している。また、(2)の結論（及び4-5-3にも考察を補足する）は、3-2-5の実験結果を説明づけている。

4-2 仮説2の検証

実験においては、障害物が被験者の左側方に存在することを想定した。理由は、頭部正面よりも側面にある障害物の方が知覚しやすい（盲人はこの経験から、頭部側面を斜め前に向けて歩行することがある）という経験則に基づき、知覚が容易な状況で実験を行うためである。障害物が頭部真正面に存在する場合の仮説の検証は今後の課題とする。

4-2-1 実験装置

実験装置を図4-8に示す。本実験装置は仮説2～5の検証全て兼用である。

被験者は実験中耳軸を水平にして頭頂を上に、頭部を垂直にして固定し、椅子に座った状態にした。音源は、左右からの環境騒音を想定して被験者の頭部の中心から左右1.2mの距離に配置した。

刺激音は、雑音発生器(RN-01;RION)により発生した桃色雑音を、10kHz 48dB/oct ローパスフィルタ(P-85;NF)を通して作成した雑音の連続音（30dBSL）とした。左右の音源から提示する刺激音は互いに無相関とした。

実験装置について説明する。連動スイッチA～CをOFFにした状態では、無相関な刺激音は、アンプ(AUA-5600;DianGo)を通して、左右の音源のスピーカ(SRP-S300;SONY)からそれぞれ出力される。この状態は、被験者の周囲に障害物が存在せず、左右からの環境騒音が直接被験者に到来していることを模擬したものである。ここで連動スイッチA～CをONにすると、右側の音源から出力されていた刺激音は、デジタル遅延装置(SDE-330;ROLAND)を通して左側の音源からも出力される。また、左側の音源から出力されていた刺激音は、一旦48dB/octローパスフィルタ(P-85;NF)を通った後に出力される。この状態は、被験者の左側方に、右側から到来する環境騒音を反射し、左側から到来する環境騒音を遮

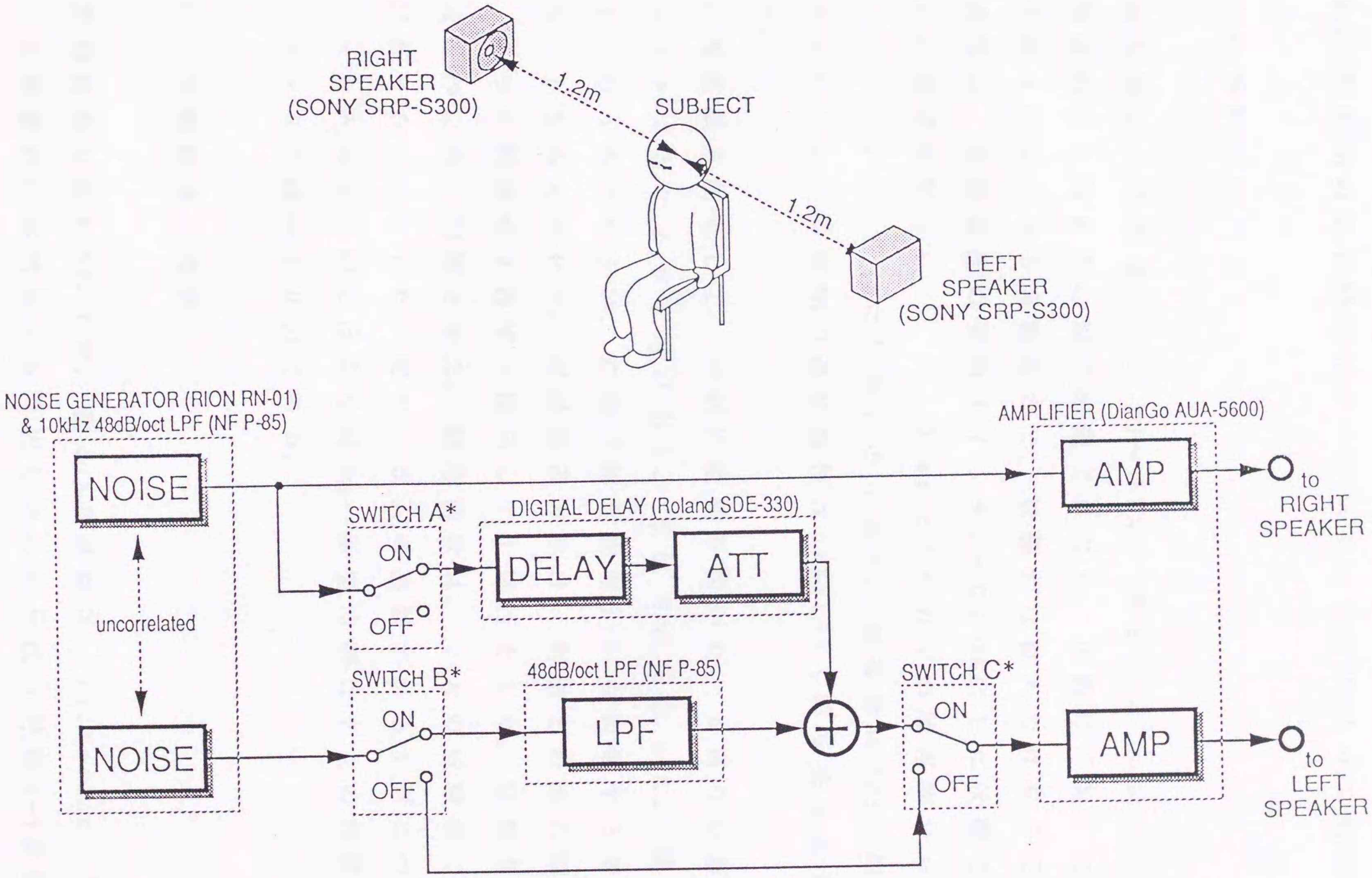


図 4-8　仮説２～５の検証のための実験装置（環境騒音を手がかりにし、障害物が左側面に存在する場合を想定）

音する障害物が存在することを模擬している。なお、ここで想定した反射音の遅延時間と減衰量はそれぞれデジタル遅延装置によって制御され、障害物の遮音特性はローパスフィルタによって制御される。

4-2-2 実験方法

被験者は、正眼者5名（23～27才、男子）とした。この実験は、「障害物」に対する心理的印象ではなく、単純に「音」に対する心理的印象を応答させる実験なので、被験者は盲人ではなく正眼者とした。

実験は、実験装置の連動スイッチA～CをONにした状態で行った。反射音の遅延時間は4，8，16，32msec（それぞれ障害物からの距離が約0.7，1.4，2.7，5.4mに相当）の4通り、減衰量は0dB（即ち完全反射である）とし、障害物の遮音特性は0kHzLPF（即ち完全遮音である）とした。

心理実験方法として、一対比較法を用いた。4通りの遅延時間の中からランダムに2つを選び出し、被験者に提示した。被験者には、「2つのうちどちらが、左側（障害物側）から到来する音が大きく感じるか」を答えさせた。刺激提示方法は、刺激と刺激の間隔を2秒とし、2つの刺激を2秒ずつ提示して1試行とした。被験者には刺激提示後4秒以内に回答させた。試行回数は、1人の被験者につき ${}_4P_2$ × 5試行＝60回とした。即ち、5人の被験者から1対につき60回÷ ${}_4C_2$ × 5人＝50回の回答を得た。所要時間は1人の被験者につき10秒×60回＝10分である。

4-2-3 実験結果と考察

実験結果を図4-9に示す。図4-9の縦軸は、Thurstoneのケース V [2] に従い被験者の回答結果より算出した心理尺度（付録4-1参照）であり、本実験の場合、値が大きいほど「左側（障害物側）から到来する音が大きく感じる」ことを表す。

図4-9は、反射音の遅延時間が16,32msecの時に比べ、4,8msecの順に、障害物方向に音像を生じ難くなることを表している。この結果から、遅延時間が8～16msecより小さくなると、反射音の音像が直接音に融合し始めると言える。

これらの事柄は仮説2の正当性を支持している。また、直接音と反射音が融合する遅延時間は、仮説1の検証における足音の場合の遅延時間（約25msec）とは必ずしも一致しないことを注意しなければならない。

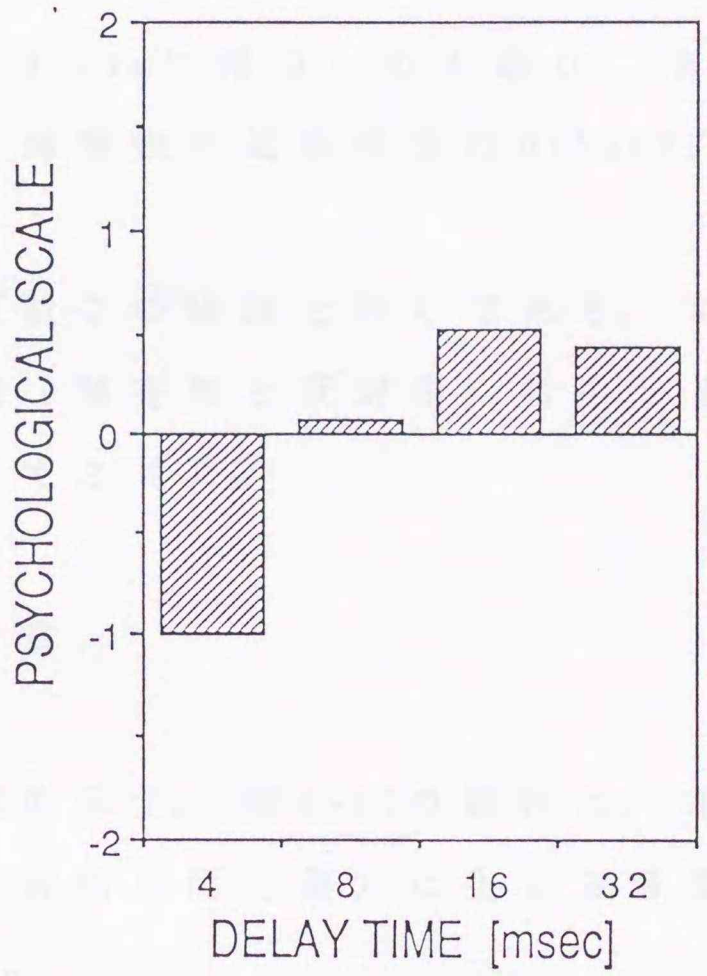


図 4-9　反射音の遅延時間と左側（障害物側）から到来する音の大きさの関係

4-3 仮説3の検証

4-3-1 実験装置

仮説2の検証に同じ

4-3-2 実験方法

被験者は、仮説2の検証と同じ正眼者5名とした。

実験は、実験装置の連動スイッチA～CをONにした状態で行った。反射音の遅延時間は1，2，3，4msec（それぞれ障害物からの距離が約0.17，0.34，0.51，0.68mに相当）の4通り、減衰量は0dB（即ち完全反射である）とし、障害物の遮音特性は0kHzLPF（即ち完全遮音である）とした。

心理実験方法は仮説2の検証と同じである。被験者には、「2つのうちどちらが、右側（障害物と反対側）に生じる音像が遠くにあるように感じるか」を答えさせた。

4-3-3 実験結果と考察

実験結果を図4-10に示す。図4-10の縦軸は、本実験の場合、値が大きいほど「右側（障害物と反対側）に生じる音像が遠くにあるように感じる」ことを表す。

仮説2の検証における実験結果より、少なくとも4msec以内では、反射音と直接音の合成音像が、障害物と反対側に生じていると言える。図4-10は、反射音の遅延時間が4msecから小さくなるほど、障害物と反対側に生じる音像が、被験者から近距離、即ち障害物から近距離に生じることを表している。この結果から、遅延時間が4msecより小さくなると、合成音像は障害物側に移動すると言える。

これらの事柄は仮説3の正当性を支持している。

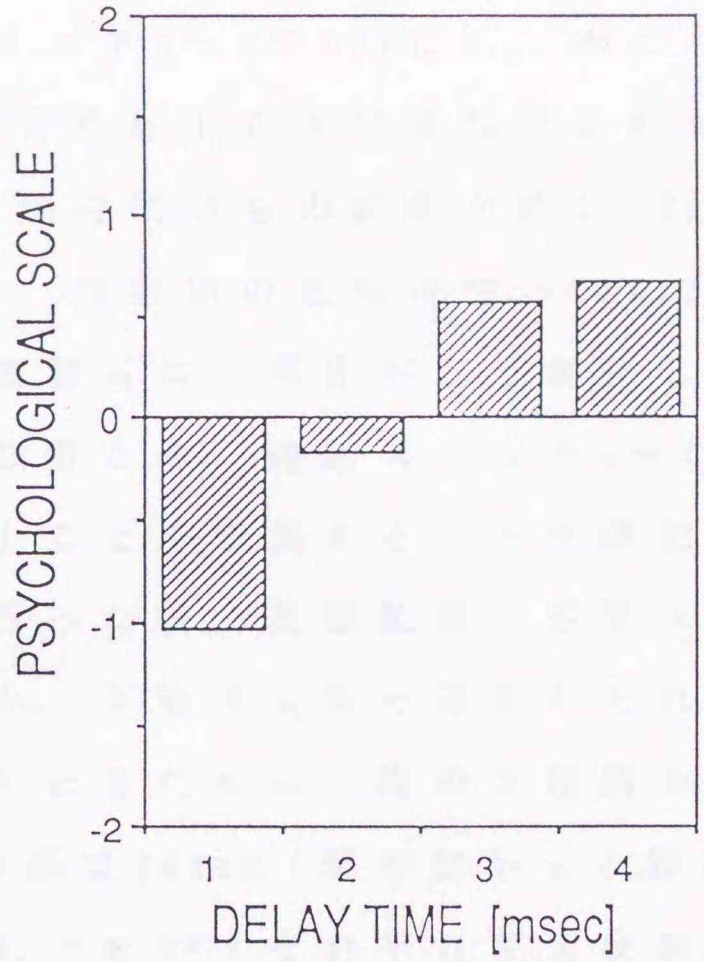


図 4-10　反射音の遅延時間と右側（障害物と反対側）に生じる音像の距離の関係

4-4 仮説4の検証

4-4-1 実験装置

仮説2の検証に同じ。

4-4-2 実験方法

被験者は、仮説1の検証と同じ盲人2名とした。

実験開始前に、まず本実験装置が提示する刺激音によって、盲人の

被験者が障害物の存在を知覚することを確認する予備実験を行った。最初に5秒間連動スイッチA～CをOFFにし、次に5秒間連動スイッチA～CをONにして、刺激音を計10秒間被験者に提示した（但し、反射音の遅延時間は1msec（障害物からの距離が約0.17mに相当）、減衰量は0dB（完全反射）とし、障害物の遮音特性は2kHzLPF（高音部だけ遮音）とした）。その後、被験者に「周囲がどう変化したか」を回答させた。その結果、2名の被験者とも、連動スイッチA～CをONにすると、「左側方に障害物がある」ことを知覚することを確認した。

以上の予備実験を行った後、実験装置の連動スイッチA～CをONにした状態で実験を行った。実験は反射と遮音がそれぞれ障害物知覚に関与していることを確かめるために、次の2種類の実験を行った。

(1) 反射音の遅延時間は1msec（障害物からの距離が約0.17mに相当）、減衰量は0, -3, -∞dB（それぞれ完全反射、半分だけ反射、全く反射しない）の3通りとし、障害物の遮音特性は2kHzLPF（高音部だけ遮音）とした。

(2) 反射音の遅延時間は1msec（障害物からの距離が約0.17mに相当）、減衰量は0dB（完全反射）とし、障害物の遮音特性は0, 2, ∞kHzLPF（それぞれ完全遮音、高音部だけ遮音、全く遮音しない）の3通りとした。

心理実験方法として、仮説2、3の検証と同様に、一対比較法を用いた。3通りの遅延時間の中からランダムに2つを選び出し、被験者に提示した。被験者には、「2つのうちどちらが、障害物の存在を強く感じるか」を答えさせた。刺激提示方法は、刺激と刺激の間隔を2秒とし、2つの刺激を2秒ずつ提示して1試行とした。被験者には刺激提示後4秒以内に回答させた。試行回数は、${}_3P_2$×5試行＝30回を行って1セッションとし、1人の被験者につき3セッション行った。即ち、1人の被験者から1対につき30回÷${}_3C_2$×3セッション＝30回の回答を得た。所要時間は1セッションにつき10秒×30回＝5分で、次のセッションまでは5分以上の休息をとらせた。

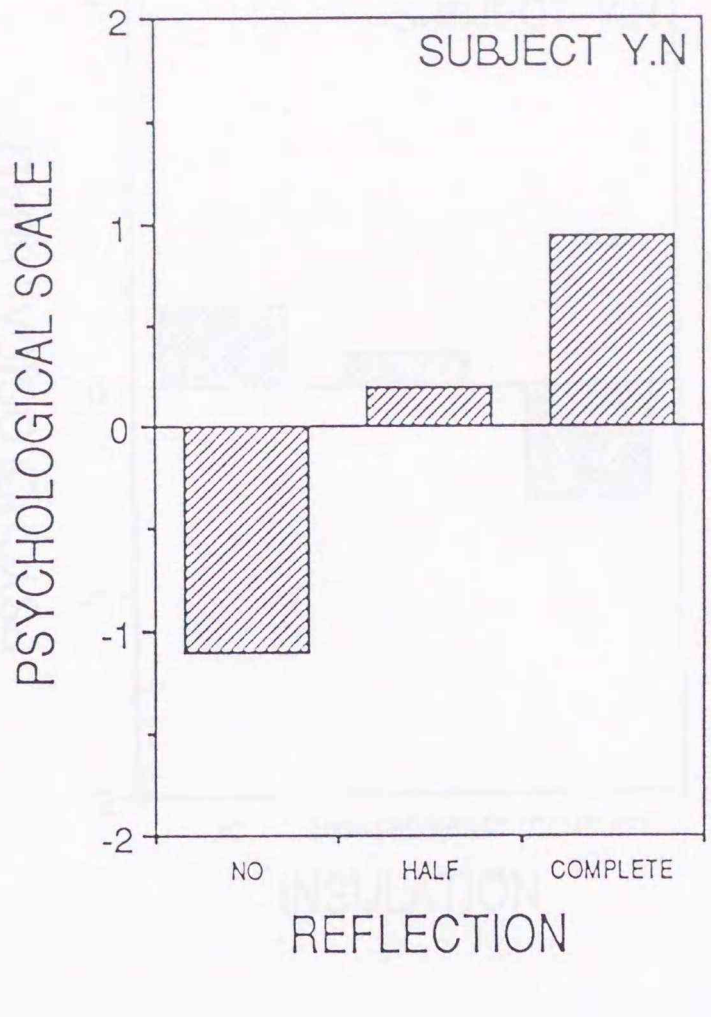
4-4-3 実験結果と考察

(1)(2)の実験結果をそれぞれ図4-11,4-12に示す。実験結果は、2名の被験者で傾向がことなるので、被験者ごとに分けて示した。図4-11,4-12の縦軸は、本実験の場合、値が大きいほど「障害物の存在を強く感じる」ことを表す。

図4-11は、被験者Y.Nにおいては、反射音が強くなるほど障害物の存在を強く感じることを表しているのに対し、被験者T.Mは傾向が一貫していない。また図4-12は、被験者T.Mにおいては、遮音が強くなるほど障害物の存在を強く感じることを表しているのに対し、被験者Y.Nは逆の傾向を示している。この結果は、被験者Y.Nが「反射依存型」であり、被験者T.Mが「遮音依存型」であると考えると説明がつく。被験者T.Mの結果は、障害物の存在を知覚する際に、反射よりも遮音の方に重点をおいているためであり、被験者Y.Nはその逆であると考えられる。図4-11において被験者Y.Nの結果が、遮音が弱くなるほど障害物の存在を強く感じている理由は、障害物側から到来する環境騒音を反射音と誤解したためであると推察される。

被験者によって傾向が異なるが、少なくともこれらの事実は、反射と遮音が障害物知覚に関与していることを表しており、仮説4の正当性を支持している。

また、本実験により、障害物知覚の経験を持った盲人には、「反射依存型」と「遮音依存型」がいることが示唆された。このことについては、より多くの被験者を募り、また刺激音を雑音以外のものにする等の追実験によって、今後検討の必要がある。



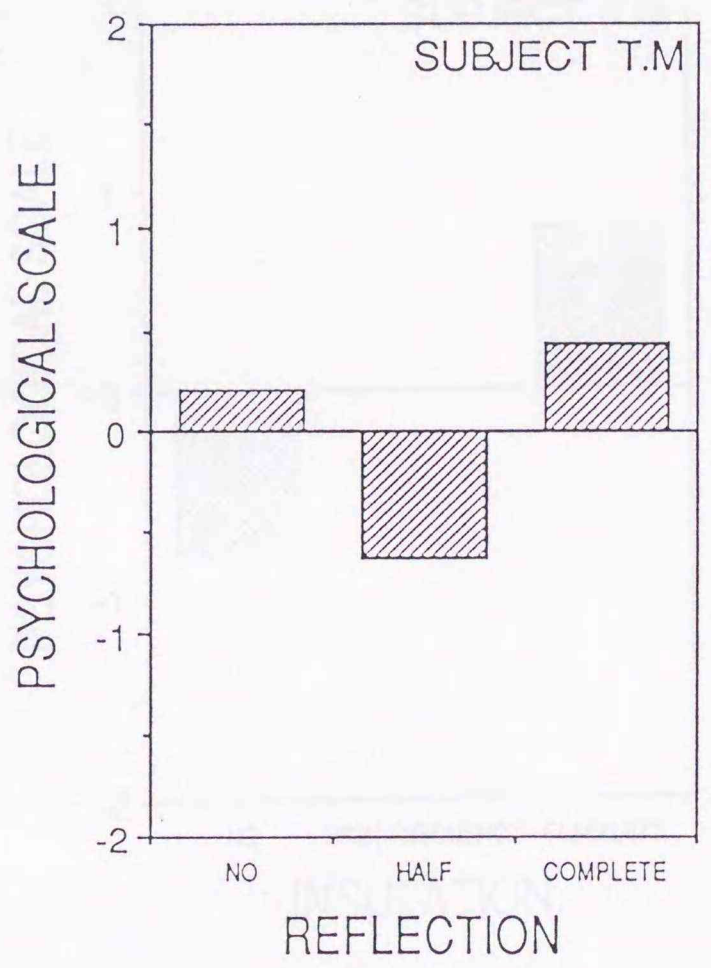
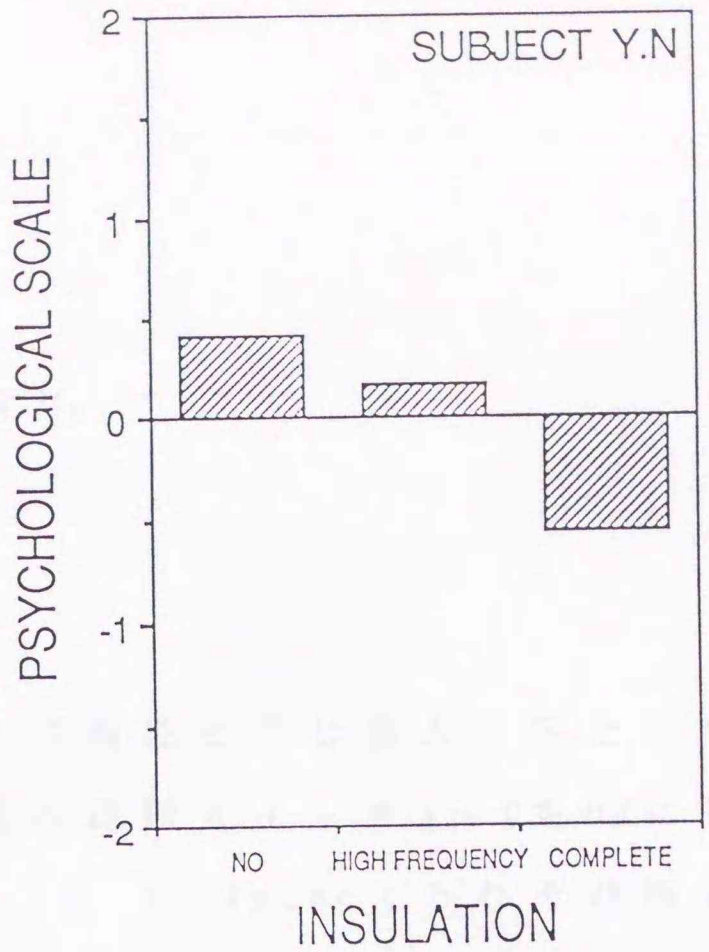


図 4-11　反射の強さと障害物の存在感の関係



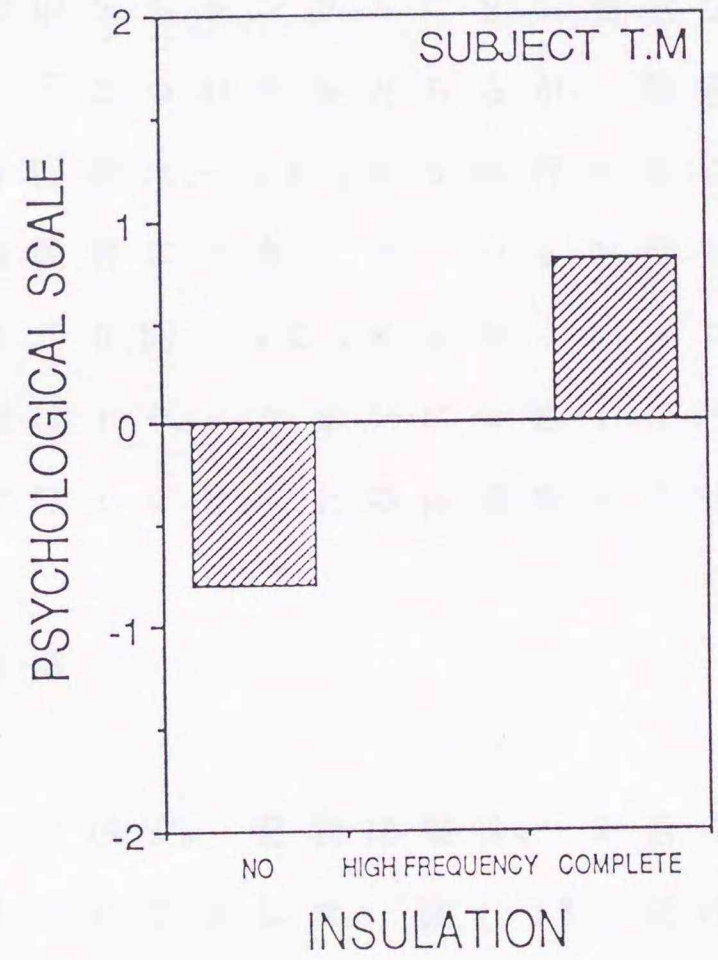


図 4-12　遮音の強さと障害物の存在感の関係

4-5 仮説5の検証

4-5-1 実験装置

仮説2の検証に同じ。

4-5-2 実験方法

被験者は、仮説1の検証と同じ盲人2名とした。

実験は、実験装置の連動スイッチA～CをONにした状態で行った。反射音の遅延時間は1，2，3，4msec（それぞれ障害物からの距離が約0.17，0.34，0.51，0.68mに相当）の4通り、減衰量は0dB（完全反射）とし、障害物の遮音特性は0kHzLPF（完全遮音）とした。

心理実験方法として、仮説4の検証と同様に、一対比較法を用いた。4通りの遅延時間の中からランダムに2つを選び出し、被験者に提示した。被験者には、「2つのうちどちらが、障害物を遠くに感じるか」を答えさせた。試行回数は、${}_4P_2$×5試行＝60回を行って1セッションとし、1人の被験者につき2セッション行った。即ち、2人の被験者から1対につき60回÷${}_4C_2$×2セッション×2人＝40回の回答を得た。所要時間は1セッションにつき10秒×60回＝10分で、次のセッションまでは10分以上の休息をとらせた。

4-5-3 実験結果と考察

実験結果を図4-13に示す。実験結果は、2名の被験者で傾向がほぼ等しいので、2人まとめて示した。図4-13の縦軸は、本実験の場合、値が大きいほど「障害物を遠くに感じる」ことを表す。

図4-13は、反射音の遅延時間が1msecから大きくなるほど、障害物を遠くに感じ取っていることを表しており、物理的な障害物の距離の変化と一致する。

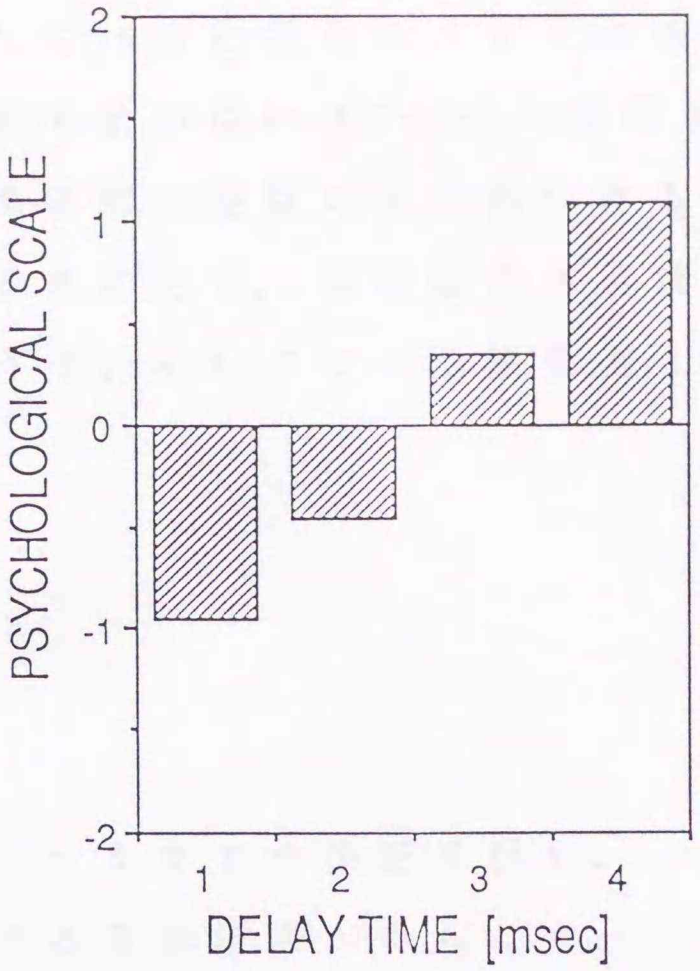


図 4-13　反射音の遅延時間と障害物の距離感の関係

これらの事柄は仮説5の正当性を支持している。

ここで、障害物近距離において、足音の反射音が障害物の距離感の要因にならない（3-2-5の実験結果）のに対し、環境騒音の反射音が距離感の要因となることの理由について考察する。障害物近距離においては、足音の反射音の音像、及び環境騒音の反射音の音像はともに先行音効果により反射音源に定位していないので、もし反射音の音像の距離をそのまま障害物までの距離として捉えているとすれば、足音の反射音に限らず両者とも距離感の要因とはならないはずである。従って、障害物近距離においては、反射音の音像の距離をそのまま障害物の距離としていると考えるべきではなく、反射音の音像の変化と障害

物の距離とを対応づける概念が経験的に作られていて、これに基づき障害物の距離を認識していると考えるべきである。足音の反射音はバースト音であり、継続時間が短い（3-2-5の実験では10msec）ので、反射音の音像の変化と障害物の距離とを対応づける概念から距離を割り出すことが困難であるのに対し、環境騒音は連続音であり、継続時間が長い（本実験の場合は2sec）ので、距離を割り出すことが可能であったと推測する。

4-6 第4章のまとめ

本報告では、仮説1～5までの検証を行い、いずれの仮説についてもその正当性を指示する実験結果が得られた。

付録4-1 Thurstoneのケース V に基づく心理尺度の構成[2)]

(1) n個の刺激Sk（k=1,･･･,n）のうちから2つの刺激Si, Sjを選び提示した場合に被験者がSiを選択する確率Pijを求める。

(2) Pijの正規偏差Xij（即ち標準正規分布において
Pij = P(-∞ < X ≦ Xij) を充たすXij）を求める。

(3) 刺激Siに対する心理尺度は $\sum_{j=1}^{n} Xij / n$ （即ち正規偏差の平均値）で与えられる。

参考文献（第４章）

1) J.Blauert, "Spatial Hearing" (MIT PRESS, Massachusetts, 1983), pp.222-235.

2) 増山英太郎、小林茂雄、「センソリー・エバリュエーション－官能検査へのいざない－」（垣内出版，東京，1989）.

第５章　結論

5-1 本研究の結論の要約と今後の課題

本論文では、障害物知覚の要因の詳細を解明するために行った音響心理・物理学的研究の報告をした。以下に要約する。

(1) 従来の研究で報告された、Doppler効果によるピッチ変化が障害物知覚の要因であるという考察は、一般に成立しない。

(2) 足音の反射音が障害物知覚の物理的要因の１つである。但し、足音の反射音の音像の変化について、障害物から約6m以上の遠距離であればほぼ正確に反射音定位できるが、障害物近距離では先行音効果により音像が直接音の音像と融合し分離できなくなるため正確な定位が困難になる。また、障害物近距離においては、足音の反射音定位は距離感の要因とはならない。

(3) 環境騒音の反射音も障害物知覚の物理的要因の１つである。環境騒音の反射音の音像の変化（心理的要因）は、足音の反射音の音像の変化と定性的に同じである。また、障害物近距離においては、環境騒音の反射音が距離感の要因の１つである。

(4) 障害物の遮音による音場の変化も、障害物知覚の物理的要因の１つである。また、障害物近距離における音場の物理測定結果から、障害物後方から到来する環境騒音に対し、音圧レベルの減少、音像の広がり感の増加、及び高音部の減少を知覚することが障害物知覚の心理的要因の１つであるという仮説を提唱した。

但し、第３章で提唱した仮説のうち、上記(4)の中の遮音による心理的要因、または、Thurlowピッチ、及びカラーレーションによる反射音のピッチ変化の影響、及び「圧迫感」の要因については、現段階では仮説の段階であり、これらの検証は今後の課題とする。

また、障害物の距離、方向の認識、及び大きさ、形状、材質の弁別

についても今後調べなければならない。本研究により距離感の要因の1つが、環境騒音の反射音であることが分かったものの、他の要因が無いとは断定できない。また、方向の認識、及び大きさ、形状、材質の弁別については本報告では扱っていない。梶井及び筆者[1]は現在、距離の認識、及び方向、大きさの弁別の物理的要因について調査中である。

5-2 今後の展望

本研究は1-4で述べた2つの最終目標（1-4参照）を達成するための基礎研究として、障害物知覚の要因の解明を行ったものである。本報告ではまだ仮説の段階、または解明していない部分も多いが、本研究の成果は具体的に次のように活用したい。

まず、特殊教育・リハビリテーションの対象となる視覚障害児・者のための、障害物知覚獲得を想定した聴覚訓練方法の確立への寄与である。本研究で得られた知見により、視覚障害児・者に、従来の経験的な獲得方法ではなく、障害物知覚の「理論」、即ち障害物知覚の物理的要因（反射、及び遮音等）、及び心理的要因（音像の変化等）を正しく理解させる教育を行い、これに基づき「実践」的な訓練を行うことができるようになる。また、盲人の経験から得られた障害物知覚の方法だけではなく、音響心理・物理学的理論からも、更に「音」を有効に活用する新たな方法が見い出せるかもしれない。現在のところ、「音」が視覚障害児・者にとって重要な情報源であることが分かっていながら、特殊教育・リハビリテーションにおいては音響学的方法論が十分導入されていない。今後は、視覚障害児・者の教育・訓練、またはこれに携わる教育者・訓練士の養成においても、本研究で得られた知見が活用されるよう努力したい。

また、障害物知覚の感度を増強する「補聴器方式」の歩行補助装置の開発に関して、技術的アイデアを提唱したい。本研究を進めるに当

たり、歩行補助装置の仕様に関して筆者が視覚障害教育の現場から受けてきたリクエストは、「頭の高さ（即ち白杖は届かない）位置にある小型の障害物（例えば信号機の制御盤、ワゴン車のサイドミラー等）が分かるようにしてほしい」とのものであった。このリクエストは、全ての視覚障害児・者に共通するものとは限らないが、新たな歩行補助装置の開発を目指して行われている他の研究の中にもこれと同等のリクエストに基づいているものがある[2]。小型の障害物に対する障害物知覚の感度を向上するための1つの方法は、高音部に対する聴覚の感度を向上することである。一般に障害物の大きさが小さい場合、周波数の低い音は障害物の影響を受けず、高い周波数の音のみが障害物により反射し、または遮音を受ける。ところが、障害物知覚の手がかりとなる音の1つである環境騒音は、一般に低い周波数が優位であり、高音部の音圧レベルが低い。聴覚の特性として、音圧レベルが低い場合はその弁別閾値も低い（Weberの法則には従わない）ことが知られており[3]、通常の環境騒音下で小型の障害物に対する障害物知覚の感度が低いことの1つの理由と考えられる。従って、高音部を強調するような補聴器を使用し、自然の音の聞こえを阻害しない程度に環境騒音の高音部の音圧レベルを弁別閾値の低い領域まで増幅すれば、小型の障害物に対する障害物知覚の検出感度の向上が期待できる。

本研究は、障害物知覚の要因の解明から、これに基づく2つの最終目標の達成に至るまで、研究要素が依然として多い。しかし、視覚障害児・者、及びその教育・訓練に携わる方々からの要望も強く、筆者は今後もこの研究に精力的に取り組んでいく所存である。

参考文献（第５章）

1）梶井健、関喜一、伊福部達、田中良広、「盲人の障害物知覚と音場の変化の関係について　－物理学的考察－」、第19回感覚代行シンポジウム講演集、1～8（1993）.

2）永田広治、松田英夫、古野二三也、「視覚障害者用測距白杖の研究」、第18回感覚代行シンポジウム講演集、42～47（1992）.

3）和田陽平、大山正、今井省吾編集、「感覚・知覚心理学ハンドブック」（誠信書房、東京、1969）、p.709.

謝　辞

本研究は、筆者が北海道大学大学院工学研究科生体工学専攻修士課程、及び同博士後期課程在学中に、北海道大学電子科学研究所電子情報処理部門感覚情報研究分野（旧北海道大学応用電気研究所メディカルエレクトロニクス部門）において、北海道高等盲学校の協力を得て、平成元年4月より平成6年3月まで5年間に渡って行ったものである。

本研究を遂行するにあたり、終始適切な御指導と御意見を頂いた
北海道大学　電子科学研究所　電子情報処理部門　感覚情報研究分野
伊福部　達　教授　に深く感謝致します。

本研究の遂行にあたり、御多忙の中終始惜しみない御協力を頂き、大変参考になる御意見をお聞かせ頂いた
北海道高等盲学校
田中　良広　教諭
及び、勉強や部活動の時間をさいて研究に御協力頂いた
北海道高等盲学校
西宮　祐子　さん
松本　貴裕　君
黒沢　由佳里　さん　に厚く御礼申し上げます。

本論文を完成するにあたり、副査となって頂いた
北海道大学　工学研究科　生体工学専攻　生体システム工学講座
山本　克之　教授
北海道大学　電子科学研究所　電子情報処理部門　神経情報研究分野
下澤　楯夫　教授
北海道大学　工学部　情報工学科　情報処理工学講座
新保　勝　教授　に深く感謝致します。

研究に際し御助言を頂いた
北海道大学　電子科学研究所　電子情報処理部門　感覚情報研究分野
高橋　誠　助教授
井野　秀一　助手
北海道東海大学　工学部　電子工学科
泉　隆　講師　に深く感謝致します。

歩行補助装置等に関し貴重な御意見をお聞かせ頂いた
北海道教育庁　生涯学習部　学校教育課　特殊教育指導班
鈴木　重男　指導主事　に深く感謝致します。

実験室等の御便宜をはかって頂いた
北海道立特殊教育センター　視覚障害教育室
酒井　宏三　室長　に深く感謝致します。

文献等を御提供頂き、貴重な御意見を頂いた
国立特殊教育総合研究所　視覚障害教育研究部
木塚　泰弘　先生　に深く感謝致します。

本研究に御理解を頂き、盲導犬及び歩行補助装置に関わる資料を御提供頂いた
財団法人　北海道盲導犬協会
鈴木　善浩　指導員　に深く感謝致します。

視覚障害者のリハビリテーションに関して御意見を賜った
北海道視覚障害リハビリテーション協会
新井　宏　指導員　に深く感謝致します。

最後に、研究に御協力頂き、貴重な御討論を頂いた

北海道大学 電子科学研究所 電子計測制御部門 量子計測研究分野

平田 恵啓 助手

北海道大学 電子科学研究所 電子情報処理部門 感覚情報研究分野

永井 謙芝 技官

田中 敏明 氏　　今村 俊樹 氏　　清水 俊治 氏

関 恵貞 女史　　上見 憲弘 氏　　和田 親宗 氏

水戸部 一孝 氏　　加藤 充孝 氏　　梶井 健 氏

三好 茂樹 氏　　川井 安生 氏　　佐藤 満 氏

保木本 隆生 氏　　木村 真弘 氏　　加藤 徹 氏

小田川 哲朗 氏　　熊谷 亮子 秘書

卒業生 諸氏　　に深く感謝致します。

業績目録

論文

1) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚と反射音定位の関係」
日本音響学会誌（1993年11月掲載決定、印刷中）

2) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚における障害物の遮音効果の影響」
日本音響学会誌（1994年1月掲載決定、印刷中）

3) Yoshikazu SEKI, Ken KAJII, Tohru IFUKUBE, and Yoshihiro TANAKA
"Analytic Study of the Obstacle Sense for the Rehabilitation of the Blind,"
IEEE Trans., Rehabilitation Engineering. （投稿中）

技術研究報告

1) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人歩行補助のための基礎研究　－聴覚による『障害物知覚』の要因について－」
電子情報通信学会
技術研究報告（ＭＥとバイオサイバネティックス）MBE90-121, p.71-78 (1991)

2) 梶井健、関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚における音響伝達特性の役割」
日本音響学会
聴覚研究会資料 H-93-36、建築音響研究会資料 AA-93-33、
騒音・振動研究会資料 N-93-46 (1993)

シンポジウム・カンファレンス

1) 関喜一、伊福部達、田中良広
「障害物知覚能力を考慮した盲人用歩行補助方式の一提案」
第１６回感覚代行シンポジウム　講演論文集　p.123-126 (1990)

2) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚を考慮した歩行補助方式の提案」
第６回　リハ工学カンファレンス　講演論文集　p.365-368 (1991)

3) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人歩行補助のための基礎研究　－障害物知覚における反響定位の役割について－」
第１７回感覚代行シンポジウム　講演論文集　p.89-92 (1991)

4) 関喜一、泉隆、伊福部達、田中良広
「盲人の聴覚による障害物知覚に関する研究」
Dynamics & Design Conference '92, p.149-152 (1992)

5) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人歩行補助のための基礎研究　－障害物知覚における単一反射・遮音の役割－」
第１８回感覚代行シンポジウム　講演論文集　p.16-21 (1992)

6) 梶井健、関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚と音場の変化の関係について　－物理学的考察－」
第１９回感覚代行シンポジウム　講演論文集　p.1-8 (1993)

7) 関喜一、梶井健、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚と音場の変化の関係について　－物理学的考察－」
第１９回感覚代行シンポジウム　講演論文集　p.9-15 (1993)

口頭発表等

1) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の聴覚による障害物知覚に関する一考察」
日本音響学会
平成２年度秋季研究発表会　講演論文集　p.363-364 (1990)

2) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の聴覚による障害物知覚」
第２９回　北海道支部大会　要項集　p.18 (1990)

3) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚における反響定位能力に関する考察」
日本音響学会
平成３年度秋季研究発表会　講演論文集　p.431-432 (1991)

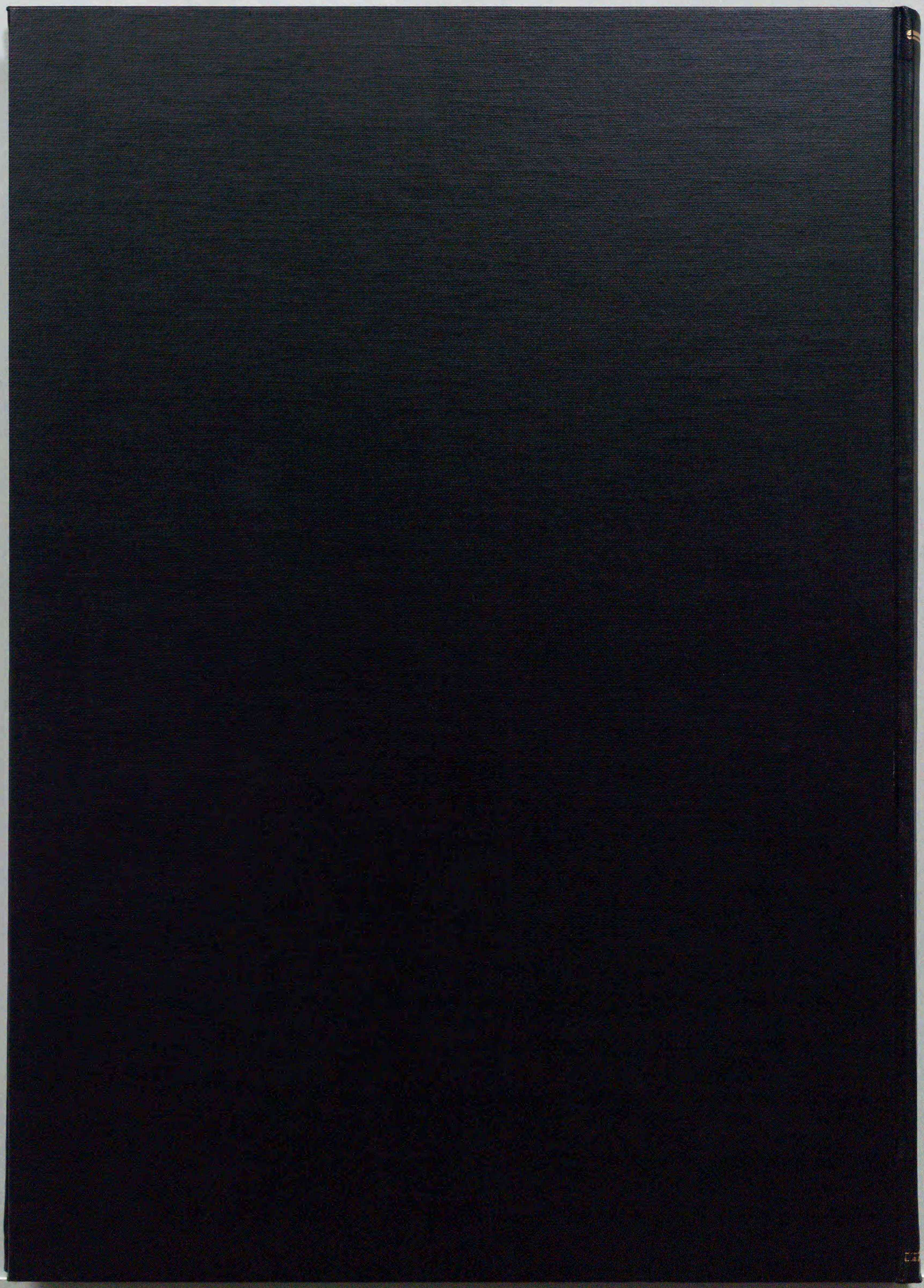
4) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の聴覚による障害物知覚について」
第５回ＭＥ研究会 (1992)

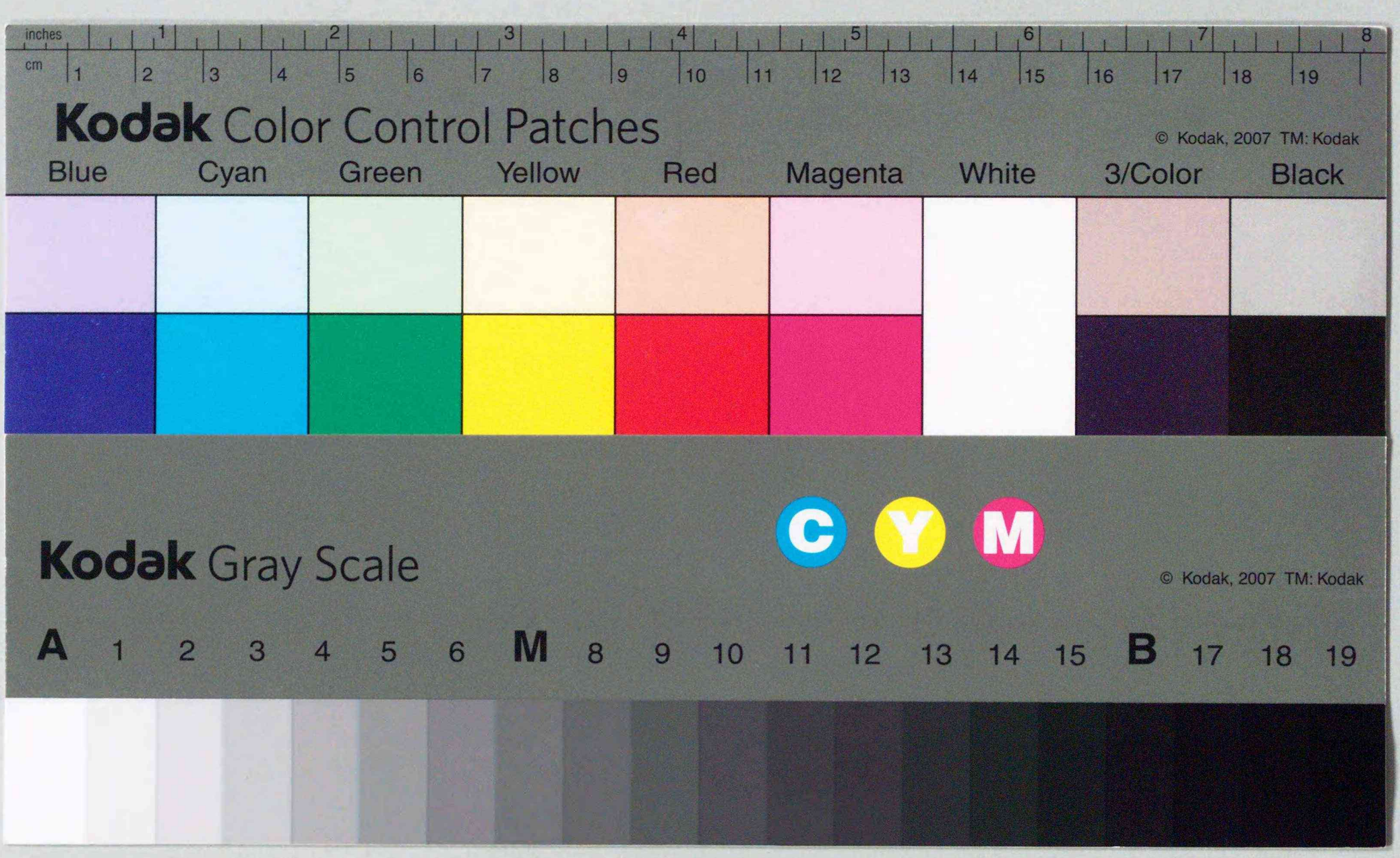
5) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚を利用した歩行補助方式の新しい試み」
第３１回日本ＭＥ学会大会　p.502 (1992)

6) 関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚における障害物の遮音効果の役割について」
日本音響学会
平成４年度秋季研究発表会　講演論文集　p.419-420 (1992)

7) 梶井健、関喜一、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚と音場の変化の関係」
平成５年度秋季研究発表会　講演論文集　p.403-404 (1993)

8) 関喜一、梶井健、伊福部達、田中良広
「盲人の障害物知覚聞機構の解析」
第１回　電子科学研究所研究発表会　(1993)




inches
cm
Kodak Color Control Patches
© Kodak, 2007 TM: Kodak
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
Kodak Gray Scale
C
Y
M
© Kodak, 2007 TM: Kodak
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19