

聴覚心理測定における学習測度としての反応時間に関する研究

井上, 仁郎
産業医科大学産業医学研究支援施設生体情報研究センター : 耳鼻咽喉科学

<https://doi.org/10.11501/3148618>

出版情報 : 九州芸術工科大学, 1998, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏名・本籍(国籍) 井上仁郎(熊本県)

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 甲第 30 号

学位授与の日付 平成 11 年 3 月 18 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当

学位論文題目 聴覚心理測定における学習測度としての反応時間に関する
研究

審査委員会 幹事 教授 津村尚志

委員 教授 岩宮眞一郎

委員 教授 佐藤陽彦

論文内容の要旨

聴覚心理測定に未経験の被検者、特に、認知機能、運動機能が低下し、個人差が大きな高齢者を効率良く訓練し、短時間で信頼性のある聴覚心理測定を行えるようにするには、測定方法の理解や応答機器の操作等の「応答操作」の訓練が必要である。そのためには検者が学習のレベルを把握するための客観的な学習測度が必要である。特に、臨床検査を想定すると、様々の肉体的・精神的コンディションの患者を対象にしないため、精度重視の一般の聴覚研究と異なり、精度よりも検査のスピードが要求される。

本研究は、測定に未経験の若年成人・高齢被検者が、聴覚研究や臨床検査における聴覚心理測定に参加する場合、被検者が応答操作を理解したかどうかを訓練過程の中で見つけ出す方法として、正答率だけでなく反応時間を学習測度として用いる方法の有効性を示し、さらに、実際の聴覚心理測定中の反応時間を計測することによって被検者の肉体的・精神的コンディションを推定する糸口を掴むことを目的とするものである。

具体的な聴覚心理測定として 1kHz 純音の周波数弁別閾測定を取り上げて検討した。訓練方法は、「音刺激を検知したら素早く応答ボタンを押す」という単純な検知課題と、十分弁別可能と考えられる刺激対を呈示して、「初めの刺激のピッチが高ければ、スイッチボックスのボタン 1 を押し、2 番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン 2 を押させ、正答を被検者にフィードバックする」という周波数弁別課題の 2 種類の訓練を使用した。

また、周波数弁別閾測定を行い、同時に反応時間を測定し、検討を行った。

第 3 章では、若年成人において、測定に経験のある者と測定に経験の無い者の訓練過程においてどのような違いがあるか、正確で素早い応答を要求する教示の下で検討した。

その結果、

- 1)単純反応時間において、経験者の方が未経験者に比較して、有意に短かった。
- 2)経験者の選択反応時間はすぐに短縮され、未経験者よりも学習が速いと考えられる。一方、未経験者は特に第 1 ブロックが長い、すぐに学習がなされ、4 ブロック目では、経験者と差がなくなってしまうといえた。

3)反応時間と正答率は、どちらもブロック間の差を表わせたが、正答率よりも反応時間の方が良く経験の違いを出せ、応答操作の学習測度としての反応時間の有効性を示すことができた。

第4章では、未経験被検者に対する周波数弁別閾測定のための訓練を若年成人と高齢者に対して行い、3日間にわたる訓練過程での正答率と反応時間の変化を正確で素早い応答を要求される教示群と、そうでない非教示群で検討した。その結果、

4)反応時間については、若年成人では1日目の第2～3ブロックでプラトーに達し、高齢者では2日目の第1ブロックでプラトーに達し、応答操作の学習が完了したと考えられ、応答操作の学習測度として反応時間の使用が有効であるといえた。

5)正確さの学習測度である正答率については、周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる学習の完了は、若年成人では2日目、高齢者では3日目であった。

6)反応時間で非教示群と教示群との間の違いが出た。教示群の反応時間は応答操作の学習のレベルが明確に出るため、学習の完了の判断が容易だった。

7)正答率については、若年成人では1日目に非教示群と教示群との間に違いがみられたが、高齢者では3日間にわたって違いがみられなかった。

8)正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日に大きな悪化がなく、学習結果が保持されている。高齢者の場合、数日間にわたる測定の方がむしろ好ましいと考えられる場合、数日にわたって測定を行い、1日の負担を軽くすることも可能であることを示唆した。

第5章では、訓練後に若年成人被検者と高齢被検者によって1kHzの周波数弁別閾を測定した。その結果、

9)周波数弁別閾は一般的には繰り返し測定することによって徐々に低下していくが、本研究でも3日間にわたって低下する傾向がみられた。

10)反応時間がプラトーに達した時点は、応答操作の訓練が完了したと考えられる。その時点の周波数弁別閾には、「応答操作に問題はない」という確証が得られるため、その弁別閾の信頼性を増すことになるといえる。特に、臨床では、様々の身体的、精神的コンディションの患者が測定に参加するため、測定回数が制限される。少ない測定回数の中で、測定値の信頼性を増すためにも、応答操作の訓練の完了を確認することは意味があるといえる。

11)訓練および実際の周波数弁別閾測定中の反応時間は、被験者の課題に対する意識の集中度（意欲）や覚醒レベルを反映する。測定パラダイムに対応する基準値が必要ではあるが、反応時間で被検者の状態をモニターすることによって、休憩を与えたり、測定の中止や延期を決定する参考資料として応用が考えられる。

12)素早い応答を要求する教示の下で、訓練の学習測度として反応時間を用いて訓練の完了を判定することによって、その弁別閾の信頼性を増すことができるため、採用されるべ

き閾値を取り始める時点、応答操作訓練の完了後とすべきであると考えられる。

さらに、未経験若年成人被検者における周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、恒常法を用いて、素早い応答を求める教示の下で、訓練無しで測定した場合は、

13)個人差は大きい、反応時間と刺激レベルの関係が、被検者が行う判断の確信の程度と関連して変化することが分かった。

第6章では、これからの臨床聴覚検査に関する議論を行い、その結果、

14)より高度の聴覚心理測定を臨床検査で行う場合、応答操作の訓練完了を判定するために、訓練の学習測度として反応時間を用いるべきであることを提案した。

論文審査の結果の要旨

聴覚心理測定に未経験の被検者、特に、認知機能、運動機能が低下し、個人差が大きな高齢者を効率良く訓練し、短時間で信頼性のある聴覚心理測定を行うには、測定方法の理解や応答機器の操作等の「応答操作」の訓練が必要である。そのためには実験者が被検者の学習のレベルを把握するための客観的な学習測度が必要である。特に臨床検査のときは、様々の肉体的・精神的コンディションの患者を対象にしないため、精度重視の一般の聴覚研究と異なり、精度よりも検査のスピードが要求される。

本論文は、測定に未経験の若年成人・高齢被検者が、聴覚研究や臨床検査における聴覚心理測定に参加する場合、被検者が応答操作を理解したかどうかを訓練過程の中で見つけた方法として、正答率だけでなく反応時間を学習測度として用いる方法の有効性を示すことを目的とするものであり、全7章からなる。実験は全般を通して、具体的な聴覚心理測定として1kHz純音の周波数弁別事態を取り上げている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本研究に関連する用語やデータ処理法について述べている。

第3章では、若年成人において、測定に経験のある被検者と経験の無い被検者の訓練過程においてどのような違いがあるか、正確で素早い応答を要求する教示の下で検討した。その結果、(1)音刺激の単純な検知課題のもとに得られる単純反応時間は、経験の方が未経験者に比較して有意に短かった。(2)経験者の周波数弁別閾課題における選択反応時間はすぐに短縮され、未経験者よりも学習が速い。一方、未経験者は特に第1ブロックが長い、すぐに学習がなされ、4ブロック目では、経験者と差がなくなった。(3)正答率よりも反応時間の方が経験の違いが明確に表れ、応答操作の学習測度としての反応時間の有効性を示すことが出来た。

第4章では、未経験被検者に対する周波数弁別閾測定のための訓練を、若年成人と高齢者に対して行った。3日間にわたる訓練過程で、正確で素早い応答を要求される教示群と、そうでない非教示群で検討した。その結果、(4)反応時間については、若年成人では1日目の第2-3ブロックでプラトーに達し、高齢者では2日目の第1ブロックでプラトーに達

し、応答操作の学習が完了したと考えられた。(5)正確さの学習測度である正答率については、周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる学習の完了は、若年成人では2日目、高齢者では3日目であった。(6)教示群の反応時間は応答操作の学習のレベルが明確に現れ、学習の完了の判断が容易だった。(7)非教示群と教示群との正答率の違いについては、若年成人では1日目に間に違いがみられたが、高齢者では3日間にわたって違いがみられなかった。(8)正答率、反応時間の双方とも、前日の学習結果が次の日にも保持されている。

第5章では、上述の訓練後に若年成人被検者と高齢被検者によって周波数弁別閾を測定した。その結果、(9)周波数弁別閾は一般的には繰り返し測定することによって徐々に低下していくが、3日間にわたって低下する傾向がみられた。(10)反応時間がプラトーに達した時点は、応答操作の訓練が完了し、その時点以降に求めた周波数弁別閾は、応答操作に影響されない、より信頼性の高いものになるといえる。(11)訓練および実際の周波数弁別閾測定中の反応時間は、被検者の課題に対する意識の集中度（意欲）や覚醒レベルを反映する。従って、反応時間で被検者の状態をモニターすることによって、休憩を与えたり、測定中止や延期を決定する参考資料として応用が考えられる。(12)反応時間と刺激レベルの関係が、被検者が行う判断の確信の程度と関連して変化することが分かった。以上から、(13)素早い応答を要求する教示の下で実験を行い、最終的に採用されるべき閾値を取り始める時点を、応答操作訓練の完了後とすべきであることを提案した。

第6章では、臨床聴覚検査への反応時間の応用について述べている。

以上、本論文は聴覚心理測定において、学習測度として反応時間を用いることの有用性を明らかにし、従来、実験者の経験的なノウハウとしてあまり問題とされて来なかった部分に注目したものであり、この成果は、特に、高齢者を対象としたり、臨床検査の場において有用な知見を与えるものとする。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと、本委員会は認めた。

最終試験の結果の要旨

最終試験を兼ねた公開発表会が、学内の聴覚関連研究室や学外の研究者の参加の下に開催された。著者の発表に対して、反応時間と刺激レベルの関係を調べるために心理測定手順として恒常法を用いた理由、この関係を正応答率に対する反応時間の比で評価することの可能性及び学習の指標として実験ブロックの反応時間のばらつきで評価することの可能性など、他に考えられる学習指標のための統計処理法に関するもの、最終的に必要な閾値測定精度と実験の繰り返しとのトレードオフを得る上での本研究の今後の展開と展望、その他について活発な質疑が行われた。いずれも著者から納得のいく説明がなされた。

よって、審査委員会委員合議の結果、試験は合格と決定した。

目 次

第 1 章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 本研究の背景	2
1.2.1 一般的な聴覚心理測定における訓練の現状と問題点	2
1.2.2 臨床聴力検査と高齢患者の特徴	3
1.2.3 訓練の学習測度としての反応時間とその応用	5
1.2.4 聴覚心理研究と反応時間の関わり	6
1.3 本研究の目的	9
1.4 本論文の構成	11
第 2 章 本研究で使用する基礎事項	13
2.1 強制選択法	13
2.2 U D T R 法	13
2.3 恒常法	13
2.4 周波数弁別閾	14
2.5 反応時間	14
2.6 反応時間・正答率に対する統計処理	15
第 3 章 経験若年成人および未経験若年成人被験者に対する 周波数弁別課題における訓練	16
3.1 はじめに	16
3.2 方法	17
3.2.1 被験者	17
3.2.2 手続き	17
3.2.2.1 実験装置	17
3.2.2.2 刺激音を検知する課題における単純反応時間の測定	20

3.2.2.3 周波数弁別課題における選択反応時間の測定	20
3.3 結果と考察	23
3.3.1 刺激音を検知する課題による訓練の結果と検討	23
3.3.2 周波数弁別課題による訓練の結果と検討	23
3.4 まとめ	26
 第4章 未経験若年成人および未経験高齢被験者に対する	
周波数弁別課題における訓練	27
4.1 はじめに	27
4.2 方法	28
4.2.1 実験装置	28
4.2.2 被験者	28
4.2.3 手続き	29
4.2.3.1 刺激音を検知する課題における単純反応時間の測定	29
4.2.3.2 周波数弁別課題における選択反応時間の測定	30
4.3 結果	30
4.3.1 若年成人被験者の結果	30
4.3.1.1 刺激音を検知する課題による訓練	30
4.3.1.2 周波数弁別課題による訓練	32
4.3.2 高齢被験者の結果	40
4.3.2.1 刺激音を検知する課題による訓練	40
4.3.2.2 周波数弁別課題による訓練	42
4.4 考察	50
4.4.1 刺激音を検知する課題による訓練について	50
4.4.2 周波数弁別課題による訓練について	51
4.5 まとめ	52
 第5章 周波数弁別閾測定と反応時間の検討	54
5.1 はじめに	54

5.2	UDTR法による周波数弁別閾測定	54
5.2.1	方法	54
5.2.1.1	被験者	54
5.2.1.2	実験装置	55
5.2.1.3	手続き	55
5.2.2	結果	56
5.2.3	考察	60
5.3	恒常法による周波数弁別閾測定	63
5.3.1	方法	63
5.3.1.1	被験者	63
5.3.1.2	実験装置	63
5.3.1.3	手続き	64
5.3.2	結果	64
5.3.3	考察	64
5.4	まとめ	67
第6章	臨床聴力検査への反応時間の応用に関する検討	69
第7章	結論	72
謝辞		75
参考文献		76
付録A	UDTR法による刺激レベルと反応時間の変化	78
付録B	恒常法による刺激レベルと反応時間の変化	91

第1章 序論

1.1 はじめに

聴覚心理測定では、被験者に対して、測定の目的、測定のしくみ、応答機器の操作方法の説明等、測定が円滑に行えるように測定の前に教示を行う。聴覚心理測定の中で我々に一番身近な聴覚心理測定は、健康診断や耳鼻科で行われる聴力検査であろう。

聴力検査を毎年受けている多くの人は、ほとんど違和感なく、スムーズに検査が遂行される。その理由として、測定の目的、測定のしくみ、応答機器の操作方法などは既に理解されていて、音が聞こえたらボタンを押すという応答操作に慣れているからだといえる。したがって、特別に詳しい教示が与えられることもなく、あるいは、全く教示が与えられない場合もあるのが現実であろう。

しかしながら、検査を受けたことがない未経験者、あるいは高齢者では、必ずしもスムーズに検査が遂行されるとはかぎらない。特に、高齢者の場合には、認知機能や運動機能の低下に伴い、信頼性のある測定値を得るまでに多くの時間がかかる場合がある。したがって、教示だけでなく分かりやすい刺激を前もって呈示する等の予備的試行、すなわち、適切な訓練が必要になる。

一方、高齢者人口の増加に伴い、通常の聴力検査だけでなく、診断資料のパラメータを増やすため、あるいは、補聴器のフィッティングの精度を増すためにも、周波数分解能や時間特性、あるいは方向知覚などの聴覚心理測定が将来必要になると考えられる。現実には方向感検査などの聴覚心理測定も臨床に取り入れられつつある¹⁾。このように測定が高度になっていくと、測定に対する訓練が、高齢者にとって、より重要な役割を演じるようになってくる。

本章では、このような今後行われるであろう高齢者に対する聴覚研究・臨床検査における訓練を視野に入れて、1.2節では、本研究を行うに至った背景を述べる。1.3節では、本研究の目的を述べ、最後に、1.4節では、本論文の構成を示す。

1.2 本研究の背景

本研究では、前項で述べたように今後行われるであろう高齢者に対する聴覚研究・臨床検査における訓練を視野に入れて論じる。

1.2.1項では、一般的な聴覚心理測定における訓練の現状と問題を整理し、若年成人と違って高齢者には短時間で信頼性のある測定が行えるように効率良く訓練を行い、その客観的な学習測度が必要なことを述べる。

1.2.2項では、臨床聴力検査と高齢患者の特徴を述べ、一般的な聴覚心理測定との違いを示し、さらに、高齢者における応答操作の訓練と反応時間測定の重要性を述べる。

1.2.3項では、聴覚心理測定における応答操作訓練の学習測度としての反応時間の利用可能性を述べ、また、聴覚心理測定中における反応時間の応用についても述べる。

最後に、1.2.4項では、主に聴覚心理研究と反応時間の関わりを示し、本研究の位置付けを行う。

1.2.1 一般的な聴覚心理測定における訓練の現状と問題点

聴覚心理測定を行う前に、被験者に対して応答方法や測定手順を正しく理解させるために訓練を行うことが多い。しかしながら、どのような訓練を行うかについては特に明確な基準が無く、検者それぞれの経験に従って訓練の内容や回数が決められていた。論文によっては、訓練を行ったかどうか分からないものや、訓練内容の記述が全く無いものがあり、訓練を重要視していない研究もある。訓練を行っている研究では、本測定の前に一定回数の訓練課題を行うものや、閾値が安定するまで訓練課題を行うものがある。一種のノウハウ的な扱いをされているといっても言い過ぎではないであろう。一定回数の訓練課題を行う場合は、他の研究者が同じ条件で実験を行えるという再現性はあるが、これで、十分に被験者に訓練がなされたのであろうか。言い換えると、訓練によって被験者がどの程度学習を達成したのか、検者が把握できたのであろうか。

一方、若年成人だけではなく、高齢者や未経験の被験者、あるいは聴覚障害者

に対して、より高度の認知処理を要求する聴覚域値測定を行う機会が多くなってきている。大学等の研究機関での被験者は、多くは若年成人で、被験者としては、高齢者に較べてかなり均一な集団だといえる。高齢者を明確に定義することは難しいが、本研究では、一般的に定年に達した後の年齢として、61才以上を高齢者と位置付けている。高齢者は、同じ年齢でも、認知機能、運動機能の低下の程度が異なり、個人差が非常に大きい。若年成人のように、経験的に何回の訓練試行を行えばよいというような被験者の均一性が仮定されない高齢者や、臨床での患者では、応答操作の訓練をどの程度学習しているのかを検者が把握している必要がある。高齢者、特に測定に未経験の高齢者の測定では、認知機能、運動機能の低下、精神的・肉体的疲労の起こしやすさから、効率良く訓練し、短時間で信頼性のある測定が行えるようにしなくてはならない。もはや訓練をノウハウとして扱うだけでは済まされないといえる。そのためにも、応答操作に対する訓練の客観的な学習測度が必要となる。

1.2.2 臨床聴力検査と高齢患者の特徴

臨床では、純音聴力検査のような音を検知する課題でも、一般的な聴覚心理測定と較べて次のような特徴がある。

- 1) 患者を選べない。
- 2) 患者を長時間拘束できないため、検査のスピードが要求される。したがって、何回も測定して、結果が安定するのを待つ方法では、速度の要求からすると適切ではない。
- 3) 状況によっては、患者から検査を拒否される場合もある。
- 4) 患者の検査方法に対する理解と応答操作のレベルによって、それに見合う適当な精度を設定する必要がある。

求める精度については、服部浩「基本的聴覚検査マニュアル」²⁾によると、『検者が要求しているような閾値レベルの音を確認するまで注意レベルを深めるには、時間を要するのである。殊に高齢者は壮年者より長い時間を要する、以上

のような患者の立場を考えれば、日常の聴覚検査の現場では、閾値測定に際して、実験的な音響心理学的測定法に基づいた厳密さを求めるのは誤りである。個人の聴力の日内変動幅、オーディオメータの周波数および出力音圧に関するJIS規格の許容範囲、さらに、臨床的意義から考えても $\pm 5\text{dB}$ の誤差を追求することはない。』であり、臨床では、一般的な聴覚心理測定と測定の姿勢が異なることが分かる。

さらに、高齢者患者の特徴として、興味深い記述がある。引用すると、『高齢者では音を与え始めてから応答スイッチが押されるまでに数秒以上かかることがある。指の動きを見ていると応答ランプが点灯する何秒か前から指がゆっくりと動き始めていることが分かる。つまり音の存在を確認するのに時間がかかるのである。このような場合、応答ランプだけを見ていると真の閾値より $10\sim 30\text{dB}$ も大きい値を得ることになるので注意しなければならない。ON反応も無理なようなら、音がかすかにでも聞こえ始めたら「ハイ」と答えたり、指や手で合図してもらおう。（聞くことと、スイッチを押すことの両方に注意を分散することは高齢者にとっては心理的負担が大きいのである。これは受話器のすぐ傍までスイッチを持った手を持って行って音を待ち構える人があることからもうかがえる）。症例毎にどんな応答法を求めるかは、年齢や全体的印象から一応決める。一般に音刺激に極めて短い潜時で反応する場合は信頼性が高い。閾値付近では潜時が長くなるのが普通であるが、 $2\sim 3$ 秒、高齢者では時として $5\sim 6$ 秒以上の潜時がある場合は、誤反応と区別が困難になる。この場合は $20\sim 30\text{dB}$ 音を強くした時の反応潜時を参考にし、その反応時間を頭に入れて閾値を求める。』²⁾

このことは2つの重要な点を示している。

一つは、高齢者は、聞くことと、スイッチを押すことの両方に注意を分散することに心理的負担が大きいということである。「聞くこと」とは、刺激音に注意し、課題に従って検知、弁別などの知覚に関する処理を行うことである。「スイッチを押すこと」は、運動の処理である。これらを結びつける応答操作の処理があらかじめ訓練されているならば、刺激音に注意を集中しやすくなるし、患者の負担も少なくなる。今後予想される高度な聴覚検査では、教示を正しく理解したかどうかを確認するためにも患者に応答操作の訓練を行い、検査全体として効率を良くする必要があるといえる。

もう一つは、高齢者では反応時間が長くなったり、信頼性に関係することである。このことから、高齢者の検査では、検者が応答ランプだけを見ていると信頼性の低いデータを得てしまうことが分かる。上記引用文では、被験者の反応時間を検者が目で注意し検査の信頼性向上に利用していることから、実際に反応時間を検査機器で測定し、活用する可能性を示唆している。

1.2.3 訓練の学習測度としての反応時間とその応用

以上により、一般的な聴覚心理測定、および、臨床聴力検査においても、特に、高度な聴覚心理測定を行う場合、そして、測定に未経験の被験者や高齢者の場合には、応答操作の適切な訓練が必要であることは疑う余地がないと考えられる。

それでは、いったい訓練によって被験者は何を学習するのであろうか。例えば、一般的な純音聴力検査の場合は、音を検知し、指で応答スイッチを押すという、単純な知覚と運動の学習といえる。もう少し複雑な場合として、音の周波数差を弁別して応答する課題であれば、音を検知し、弁別、判断、運動の協調的な学習を必要とする。この場合、弁別の感度がいくら高くても、応答に必要な運動、すなわち応答操作の学習が不十分ならば、応答スイッチを過って押す等、被験者の弁別能力が検者に伝わらない。また、応答に必要な運動の学習が十分に行われていても、弁別能力の改善の余地があるならば、訓練によって弁別閾を下げる可能性が残されている。

これらのことから、音の性質を聞き分けて聴覚心理測定課題で要求される判断を行う知覚と判断の処理と、その判断結果を要求された応答方法にしたがって応答の運動処理を行う応答操作に分けられるであろう。それぞれの能力が最大になるまで訓練を行えば、信頼できる聴覚心理データが得られるであろう。では、どちらの能力を訓練すべきなのだろうか。上述の弁別課題の場合を考えても、応答操作の学習が満足でなければ、本来の弁別能力が検者に分からない点からすれば、応答操作の訓練をまず行わなくてはならないだろう。特に、臨床検査の場合は、測定にスピードが要求される。したがって、応答操作の訓練を完了させて、その後、与えられた時間を使って測定の精度を追求すればよいのである。もちろん、弁別等の知覚能力と応答操作の能力は、相互に関係しあっていると考えられるの

で、明確に分離して訓練を行うことは不可能であろうが、測定に未経験の被験者や高齢者、または、臨床検査の場合に第一に必要な訓練は、閾値を下げることも、応答操作に重きを置くべきであろう。

では、どの時点を訓練の完了とすればよいのであろうか。一般に、訓練の結果、どの程度学習が行われたかを表わす学習測度として、正答率や反応時間が用いられる。正答率は、正確さの測度として用いられ、反応時間は、動作や作業の学習の時間測度として用いられる³⁾。

本研究では、学習測度として、正答率と反応時間を用いて訓練を検討した。特に、反応時間は動作や作業の学習の時間測度として用いられるので、応答操作の学習測度としては最適な学習測度と予想される。反応時間は、認知心理学領域では多くの研究がなされており、訓練過程での認知処理時間の推定にも役立つ可能性がある。

一方、1.2.2項でも述べたように、反応時間は、訓練だけでなく、実際の聴覚心理測定中の被験者応答の信頼性を予測できる可能性があるため、測定中における活用も期待できる。訓練がどの程度進行しているか分かれば、訓練の完了基準が明確になり、被験者の拘束時間を減らし、負担を軽くすることが可能になる。場合によっては、休憩を与えたり、実験の中止や延期を決定することも可能になるといえる。

1.2.4 聴覚心理研究と反応時間の関わり

認知心理学分野での反応時間研究は膨大な数にのぼる⁴⁾⁵⁾⁶⁾。2.5節で示すが、反応時間は、刺激が呈示されてから、反応が生起するまでの時間のことをいう。反応時間をマクロ的にみると、次式のように分解できるであろう。

反応時間＝知覚時間＋判断時間＋運動時間

前項で述べた、測定に未経験の被験者における応答操作に要する時間は、この式のどの部分で表現できるのであろうか。例えば、音を検知したらボタンを押すという課題では、反応時間＝知覚時間＋運動時間だけで表現できるであろう。

2つの音を継時的に呈示して、1番目の音が2番目の音よりも周波数が高ければ1番のボタンを押し、2番目の音が高ければ2番のボタンを押すような、音の周波数弁別課題では、知覚で得られた情報に対して、ある戦略に基づいた判断が必要である。その戦略は、例えば、教示の与え方とか、報酬を与えるか与えないか等の条件によって異なってくる。そして、その判断結果に基づいて、どちらの応答ボタンを押すかを判断し、指を動かす。応答操作に要する時間は、明確に分離できないが、判断時間の一部+運動時間と考えることができる。

未経験の被験者では、この応答操作に関する反応時間が短縮されてなく、音が知覚され、弁別された結果を、「どのボタンを押すか」という指の運動の指令に変換するインターフェイスの部分がうまく成立していないと考えられる。このインターフェイス部の処理に要する時間と運動時間を合わせた反応時間が応答操作の時間と考えられる。訓練された被験者は、この応答操作の時間が短縮されており、どの場合にどのボタンを押すかという応答方法に関する記憶を検索する必要がない。また、知覚結果を得るまでに要する時間（知覚時間と戦略的判断に要する時間）は、刺激条件によって変動し、判断に迷うような閾値付近の刺激では大きく変動すると考えられるが、十分弁別可能と考えられる刺激に対しては、被験者がピッチの違いを理解できるならば、ほぼ一定の時間になると仮定できるであろう。したがって、十分弁別可能な刺激を用いた訓練で短縮される反応時間は、この応答操作の時間の短縮であると考えられ、訓練によって何が学習されているかが、より明確になるといえる。

反応時間を用いた聴覚心理研究では、音刺激条件を変えて、判断に要する時間を検討し、その結果、どのように人間が認知処理を行っているか検討するものが多い。音刺激条件を変化させて反応時間への影響を検討する研究として、高岡⁷⁾は各種の音刺激に対する中枢情報処理過程のそれぞれの所要時間を検討した。また、中村⁸⁾は、白色雑音のレベルの変化方向とタイミングの条件を変えて反応時間の変化を検討し、両者がともに規則的である場合に最も速く、不規則な場合に最も遅かったことを報告した。これは、予測可能な刺激に対しては反応時間が短縮することを意味する。

一方、異なる被験者集団の性質を明らかにするために反応時間を用いる研究がある。谷口⁹⁾は、楽器経験の有無が2純音による同時的音程の弁別に及ぼす影響

を調べ、楽器経験者の方が弁別力が高く反応時間が短いことを報告した。宮崎ら¹⁰⁾は、絶対音感テストの正答レベル別に分けた3集団についてメロディの認知のパフォーマンスの差を正答率と反応時間で調べたが、集団間の反応時間の差は見いだされなかった。これらは、集団間の認知処理能力の差を反応時間で検討しようと試みたものである。

実用的な面として、一般に操作性の良い機器やより良い作業手順では、人間の動作が正確で判断時間が短い。人間工学分野では、安全性が高く、操作しやすい機器の設計に役立てるために反応時間が測定されたり、肉体的・精神的疲労の少ない作業手順を設計するためにも反応時間が利用される。

さらに、反応時間の個人差が起こる要因として、生理的・心理的コンディション、特に疲労、動機付け、練習、覚醒、注意などがあげられる¹¹⁾。被験者に素早く応答することを要求した時、その反応時間が長くなる要因としては、上記と同様に、生理的・心理的コンディションの悪化、疲労、動機付けの低下、練習不足、覚醒レベルの低下、注意力の低下であると考えられる。実際にレーダーによる追跡作業などのような短い反応時間を要求される場合には、その反応時間が長くなる要因として、信号の特性、複雑さ、頻度、予測情報の有無などの外的条件の他に、作業意欲、練習などがあげられている¹²⁾。これらのことから、本研究では、特に、素早く応答することを要求する教示を与えた場合には、聴覚心理測定の応答操作の訓練過程における学習測度としての反応時間だけでなく、被験者本人の要因、すなわち、生理的・心理的コンディションの悪化、疲労、動機付けの低下、練習不足、覚醒レベルの低下、注意力の低下、意欲の低下によって反応時間が長くなるであろうことに注目している。臨床では、様々のコンディションの患者が検査を受けるので、訓練中だけでなく、訓練が完了した後の実際の聴覚心理測定においても患者のコンディションを知る上で有効性が期待できる。

このように聴覚心理測定において、訓練の学習測度として反応時間を利用したり、訓練・測定中の被験者の肉体的・精神的コンディションを推定するような、人間工学的要素を加えた聴覚心理研究はまだ無く、多くは前述のような認知処理過程を評価する研究がほとんどであると言わざるをえない。

1.3 本研究の目的

今まで述べてきたように、認知機能、運動機能が低下し、さらに、個人差が大きな高齢者を効率良く訓練し、短時間で信頼性のある聴覚心理測定を行えるようにするには、測定方法の理解や応答機器の操作（これから先「応答操作」と呼ぶ）の訓練が必要で、検者が学習のレベルを把握するための客観的な学習測度が必要であるといえる。特に、臨床検査を想定すると、様々の肉体的・精神的コンディションの患者を対象にしなくてはならないため、精度重視の一般の聴覚研究と異なり、精度よりも検査のスピードが要求される。また、聴覚心理測定中における反応時間も被験者のコンディションを知る上で重要な情報だといえる。

本研究は、測定に未経験の若年成人・高齢被験者が、聴覚研究や臨床検査における聴覚心理測定に参加する場合、被験者が応答操作を理解したかどうかを訓練過程の中で見つけだす方法として、正答率だけでなく反応時間を学習測度として用いる方法の有効性を示し、さらに、実際の聴覚心理測定中の反応時間を計測することによって被験者の肉体的・精神的コンディションを推定する方法を検討することを目的とするものである。

本研究では、上記の研究目的を達成するために、聴覚心理測定とその訓練方法については、具体的に定めて検討しなくてはならない。

そこで、聴覚心理測定として1kHz純音の周波数弁別閾測定を採用した。理由として、一般に、周波数弁別閾の測定に経験がある者は、通常の純音聴力検査に較べて少ないため、測定に未経験の被験者を採用しやすいことがあげられる。また、高齢者において低下すると考えられる周波数分解能の測定を臨床に適用する場合も考慮して採用した。

次に、訓練方法であるが、1.2.1項で述べたように、訓練に関して特別の標準は決められていないので、「音刺激を検知したら素早く応答ボタンを押す」という単純な検知課題と、十分弁別可能と考えられる刺激対を呈示して、「初めの刺激のピッチが高ければ、スイッチボックスのボタン1を押し、2番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン2を押させ、正答を被験者にフィードバックする」という周波数弁別課題の2種類の訓練を採用した。

訓練後に行う周波数弁別閾測定は、効率的な精神物理測定手順である適応法の

一種のUDTR法と、精神物理測定手順では標準的な方法といえる恒常法を用いた。

本研究では、以下の順序で検討を進めた。

第1に、若年成人被験者を用いて、測定に数時間の経験がある被験者と全く未経験の被験者の訓練過程における正答率と反応時間の変化の違いを、素早い応答を要求する教示の下での1日内の訓練で検討した。これは、未経験者と経験者の応答操作の学習レベルの違いを正答率と反応時間で比較し、数時間という少ない経験ではあるが、このような違いも反応時間の違いで表わすことが可能かどうかを検討し、学習測度としての反応時間の有効性を示すために行うものである。

第2に、未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者に対する訓練過程における学習結果（正答率と反応時間）の変化あるいは保持状態を比較検討するために、3日間にわたって訓練を行った。未経験者だけで検討を行うのは、今後行われるであろう高齢者に対する聴覚研究・臨床検査で遭遇する訓練の問題として捉え、このような測定には多くの未経験者が参加することを想定して、特に未経験者で検討を行った。また、1.2.4項で述べたような、素早い応答を要求する教示の有効性を確認するために、このような教示を行った「教示群」と、このような教示を全く行わなかった「非教示群」に、未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者をそれぞれ2群に分けて、正答率と反応時間の変化を検討した。これらの検討によって、特に本研究の興味の対象である未経験高齢被験者が、若年成人被験者に較べて何が違うのか、反応時間が学習測度として有効だったのか、また、教示の効果はあったのかを確かめた。

第3に、上述の未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者の3日間のそれぞれの訓練後には、UDTR法によって1kHzの周波数弁別閾を測定している。その結果を基に、訓練の終了と閾値の信頼性について検討を行った。さらに、未経験若年成人被験者における周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、恒常法を用いて、素早い応答を求める教示の下で、訓練後に測定した場合と、訓練を行わないで測定した場合についてそれらの関係を示す。UDTR法では各刺激レベルの出現確率が一定でないが、恒常法では、設定したそれぞれの刺激レベルの刺激が等確率で出現する。したがって、刺激レベルと反応時間の関係が明確に表現できる理由で採用した。これによって、測定中の刺激レベルに応じた反応時間の特徴を検討する。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第1章 序論

第2章 本研究で使用する基礎事項

第3章 経験・未経験若年成人被験者に対する周波数弁別閾測定のための訓練

第4章 未経験被験者に対する周波数弁別閾測定のための訓練

第5章 周波数弁別閾測定と反応時間の検討

第6章 臨床聴力検査への反応時間の応用に関する検討

第7章 結論

第1章では、本研究の背景、目的等について述べてきた。第2章では、本研究で使用する基礎事項として特に重要なものを解説する。第3章では、若年成人被験者を用いて、測定に経験がある被験者と未経験の被験者の訓練過程における正答率と反応時間の変化の違いを、素早い応答を要求する教示の下での1日内の訓練で検討する。その結果、若年成人でも経験の違いが反応時間で出せることができ、学習測度としての反応時間の有効性を示す。第4章では、未経験被験者に対する周波数弁別課題についての訓練を若年成人と高齢者に対して行い、3日間にわたる訓練過程での正答率と反応時間の変化を検討する。また、素早い応答を要求する「教示群」とそのような教示を行わない「非教示群」、および、若年成人と高齢者との違いに関しても検討する。第5章では、未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者の3日間のそれぞれの訓練後に行ったUDTR法による1kHzの周波数弁別閾測定に対して、得られた周波数弁別閾と第4章での訓練結果との関係を検討する。さらに、実際の周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、設定したそれぞれの刺激レベルの刺激が等確率で出現する恒常法で、素早い応答を求める教示の下で、訓練を行わないで測定した場合についてそれらの関係を示す。これによって、測定中の刺激レベルに応じた反応時間の特徴を検討する。第6章では、臨床聴力検査への反応時間の応用に関して測定のコンピュータ化と関連付けて検討する。第7章では、第1章から第6章までに得られ

た結果をまとめ、周波数弁別閾を聴覚心理測定の例とした応答操作の訓練の学習測度として反応時間が有効であることを示し、今後行われるであろう、より高度の聴覚心理測定を臨床検査で行う場合、応答操作の訓練完了を判定するために、訓練の学習測度として反応時間を用いるべきであることを提案した。

第2章 本研究で使用する基礎事項

2.1 強制選択法

被験者応答にいくつかの選択肢がある時、このどれかを強制的に選ばせて、無応答を許さない方法¹³⁾。本研究では、二肢強制選択法と呼ばれる 2 I F C (two interval forced-choice) 法を使った。これは、2つの選択肢からどちらかを強制的に選ばせる方法である。

2.2 U D T R 法

適応法¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾の一種である。適応法とは、次に呈示される刺激レベルが被験者のこれまでの応答結果に基づいて決定され、刺激レベルが閾値に次第に近づいていくという方法である。

U D T R 法 (Up and Down Transformed Method: 変形上下法) は、U D 法 (Up and Down Method: 上下法) を発展させた方法で、LevittとWetherill¹⁷⁾¹⁸⁾により開発されたものである。手続きとしては、まず、求めたい刺激レベルの正応答の出現確率を決める。応答確率に対応する正応答と誤応答との組み合わせのパターンが標準的に揃えられているので、刺激レベルの変化規則はそれから選択する。刺激レベルの変化幅は通常一定の値である。明確な終了規則はないが、推定値のバイアスを小さくするために、試行に対する応答パターンの山と谷の総数は偶数であることが推奨されている。70.7%閾値、79.4%閾値を求める規則が一般に用いられる。

2.3 恒常法

物理的な刺激値を何段階かに変えた刺激を用意し、それを単独もしくは基準刺激と対にしてランダムな順序で提示して被験者に感覚の有無あるいは基準刺激との大小関係を判断させる方法。感覚的な閾値や弁別閾あるいは主観的等価値を求

める精神物理学的測定法のうちで、手続きに帰因する判断の誤差が最も少ない方法である¹⁹⁾。恒常法は、精神測定関数が求まり、聴覚心理測定としては正確で、適用範囲の広い方法であるが、時間がかかる点で臨床に適さないといえる。

2.4 周波数弁別閾

弁別閾(difference threshold (limen), differential threshold (limen), DL)、丁度可知差異(just noticeable difference, jnd)ともいう。2つの刺激が刺激強度、刺激の質においてわずかしか変わらない場合は、物理的には異なっているも感覚的には区別できない場合がある。感覚的に区別できる最小の差を弁別閾と呼ぶ²⁰⁾。

2.5 反応時間^{11) 21)}

反応時間は、刺激が呈示されてから、反応が生起するまでの時間のことである。反応時間は、刺激の種類や強さによって異なる。代表的な反応時間を以下に示す。反応時間＝知覚時間＋判断時間＋運動時間、と表わすこともできる。

単純反応時間 (simple reaction time: SRT)

1個の刺激に対して1個の反応だけが決められており、刺激呈示時刻だけが不確定な場面で、刺激呈示から反応生起開始までの時間。

(＝知覚時間＋運動時間) (聴覚の単純反応時間：120～185ms)

選択反応時間 (choice reaction time: CRT)

2組以上の刺激S1、S2、...に対して2組以上の反応R1、R2、...を対応させ、S1→R1、S2→R2、...と適切な反応だけをさせる場面の反応時間。通常、選択肢数(n)の対数に比例して反応時間は長くなる。

(＝知覚時間＋判断時間＋運動時間)

2.6 反応時間・正答率に対する統計処理²²⁾

反応時間を測定すると、その分布は左右対称ではなく、反応時間が短い方に偏った分布（すなわち、左に偏って、右の裾野が広い分布）となる。統計的検定を行うためには、データの分布が正規分布に従うこと、および、平均値を比較する複数の条件の分散が等質であること等を前提として成立している。このような条件が満たされていない場合に代用となる検定法も存在するが、それらは、一般に、検定力が低い、近似法である、計算が面倒である、などの欠点を有している。そのため、データを変換することによって、分布の正規性および分散の等質性の前提条件が満足されるようにする方法を取った。

反応時間、課題達成に要した時間 X_i には、次式に示す対数変換が用いられる。

$$X_i' = \log X_i$$

対数の底は一般に10であることが多い。本研究でも底は10の常用対数を用いた。対数変換を行ったデータの算術平均に逆変換を施して、もとの尺度上の値に直したものは、幾何平均に一致する。本研究での反応時間の平均は、この幾何平均を意味する。標準偏差は逆変換すると結果的に幾何平均値に対して非対称となる。通常、算術平均で処理を行うと、実際の分布のピークよりも大きな反応時間になってしまい、中心的傾向を示す指標にはならない。

正答率のような比率 P のデータの場合は、「平均が0.5から離れているほど分散が小さくなる」という関係が存在するため、比率に関わりなく分散が一定になるように、次式に示す逆正弦変換が用いられる。

$$X_i' = \sin^{-1} \sqrt{P}$$

本研究では、正答率の統計的検定には、この逆正弦変換を行い検定を行った。

第3章 経験若年成人および未経験若年成人被験者に対する 周波数弁別課題における訓練

3.1 はじめに

前章まで、聴覚心理測定の実験操作訓練における学習測度として反応時間の利用可能性を述べてきた。本章から先は、この可能性を確かめるために、1kHzの周波数弁別閾測定を具体的な聴覚心理測定として採用する。その訓練としては、「音刺激を検知したら素早く応答ボタンを押す」という単純な検知課題と、十分弁別可能と考えられる刺激対を呈示して、「初めの刺激のピッチが高ければ、スイッチボックスのボタン1を押し、2番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン2を押させ、正答を被験者にフィードバックする」という周波数弁別課題の2種類の訓練を採用した。2.5節の反応時間の定義によれば、上記の検知課題で測定される反応時間は、「単純反応時間」であり、十分弁別可能と考えられる刺激対による周波数弁別課題によって測定される反応時間は、「選択反応時間」である。

本章では、若年成人被験者を用いて、この1kHzの周波数弁別閾測定に数時間以上の経験がある被験者と未経験の被験者の訓練過程における正答率と反応時間の变化の違いを、素早い応答を要求する教示の下での1日内の訓練で検討した。これは、未経験者と経験者の実験操作の学習レベルの違いを正答率と反応時間で比較し、数時間という少ない経験ではあるが、このような違いも反応時間の違いで表わすことが可能かどうかを検討し、学習測度としての反応時間の有効性を確認することが目的である。

3.2 方法

3.2.1 被験者

19～20才の女性14名である。そのうち6名は1kHzの周波数弁別閾測定に全く初めての者（未経験者群）で、他の8名は、合計で1～4時間の1kHzの周波数弁別閾測定の経験者（経験者群）だった。被験者の聴力は正常聴力で、聴力に関連する疾病を持たない者が参加した。すべての被験者には、測定の参加に対して謝金を支払った。

3.2.2 手続き

3.2.2.1 実験装置

実験系ブロックダイアグラムは、図1に示す。実験は産業医科大学の防音室で行った。被験者応答および反応時間を測定するために0.2 msecの誤差で反応時間を得ることができる被験者応答装置を開発した。応答装置はCPUクロックが10 MHzで動作する8ビットCPU（Microchip社 PIC16C84）を中心に構成された。応答装置の制御および被験者応答データ収集はRS232Cインターフェイスを介してコンピュータ（NeXT Cube）から行った。

音刺激に対する反応時間の中で、音を検知したらボタンを押すという「単純反応時間」では、平均値が160～200 ms、標準偏差が10～30 ms 程度¹¹⁾であるので、この被験者応答装置は、十分な精度で測定が可能であるといえる。刺激音は、サンプリング周波数 44.1 kHz で発生させられ、RION AD-02 ヘッドホンによって左耳に呈示された。刺激音の音圧は 80dB SPL とした。

被験者に対するフィードバックは、スイッチボックス上の発光ダイオードの点滅によって行った。

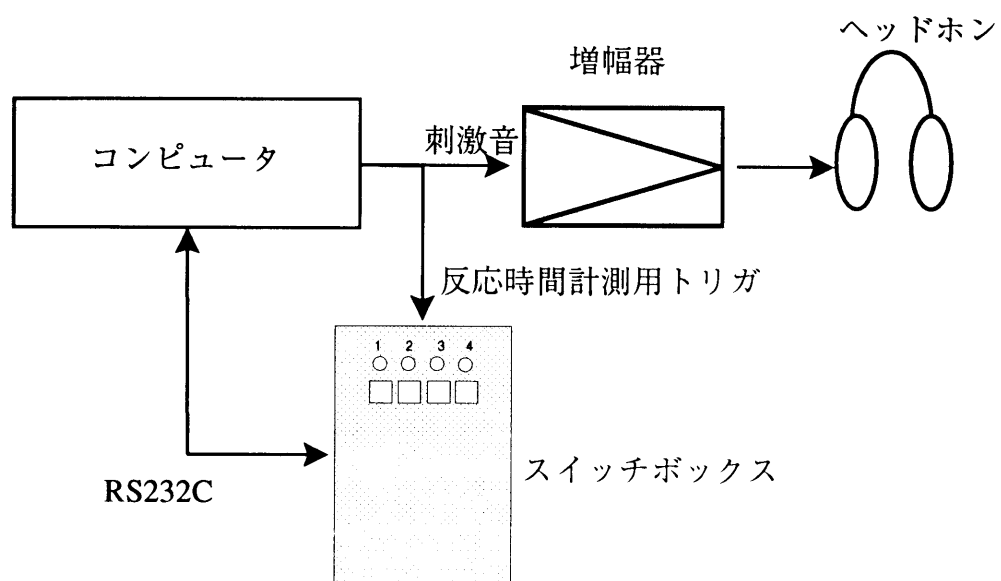


図1 測定系のブロックダイアグラム

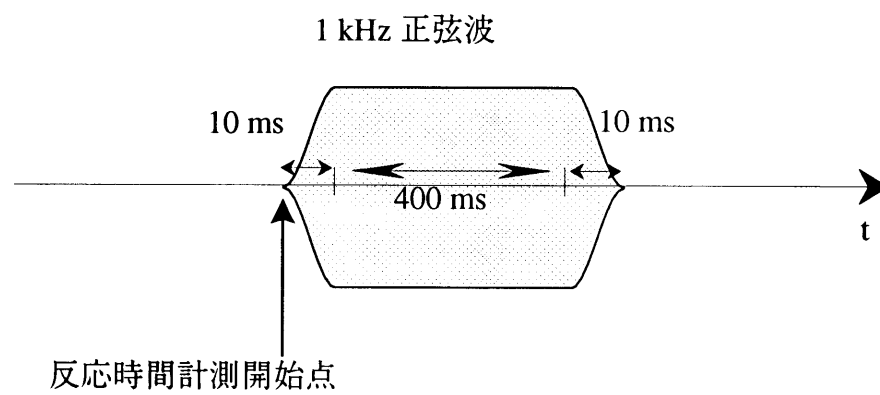


図2 刺激音を検知する課題による訓練
(単純反応時間測定課題) のための刺激

3.2.2.2 刺激音を検知する課題における単純反応時間の測定

刺激は、図 2 に示すように 1kHz 正弦波、持続時間 400 ms、立ち上がり・立ち下がり は 10 ms の raised-cosine を使用した。『音が鳴ったらすぐにスイッチを押して下さい。反応時間を測定しています。』との教示を行った。刺激と刺激の間隔はランダムに変化し、刺激呈示を予測できないようにした。全部で 50 試行の測定を行った。

全ての実験に対して、押しボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。2.5 節の反応時間の定義に従えば、この反応時間は、単純反応時間に等しい。

3.2.2.3 周波数弁別課題における選択反応時間の測定

図 3 に示す周波数の異なる 2 つの純音刺激を用いた。刺激対は十分に弁別可能であると考えられる 1000Hz と 1010~1014Hz（経験者には 1010Hz、未経験者には 1014Hz）だけを用いた。

刺激対の順序をランダムに入れ替え、初めの刺激のピッチが高ければ、スイッチボックスのボタン 1 を押し、2 番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン 2 を押させた。回答はいずれかの一方を強制的に答えさせる 2IFC 法を用いた。回答毎に、正応答に対応するボタンの発光ダイオードを点滅させ、被験者に対するフィードバックを行った。

反応時間の計測は、2 番目の音刺激の立ち上がりと同時に始めた。

被験者に対しては、試行ブロックの前に『正確に判断して下さい、そして、できるだけ素早くボタンを押して下さい。反応時間を測定しています。』と教示を与えた。

1 ブロックは 25 試行で、ブロック間に 1 ~ 2 分の小休止を取った。

全部で 4 ブロック（合計 100 試行）の訓練を行った。

全ての実験に対して、押しボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。2.5 節の反応時間の定義に従えば、この反応時間は、選択反応時間に等しい。

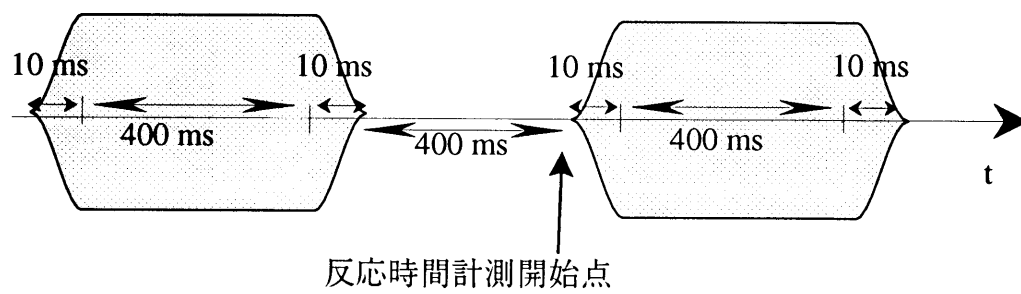


図3 周波数弁別課題による訓練（選択反応時間測定課題）
のための刺激

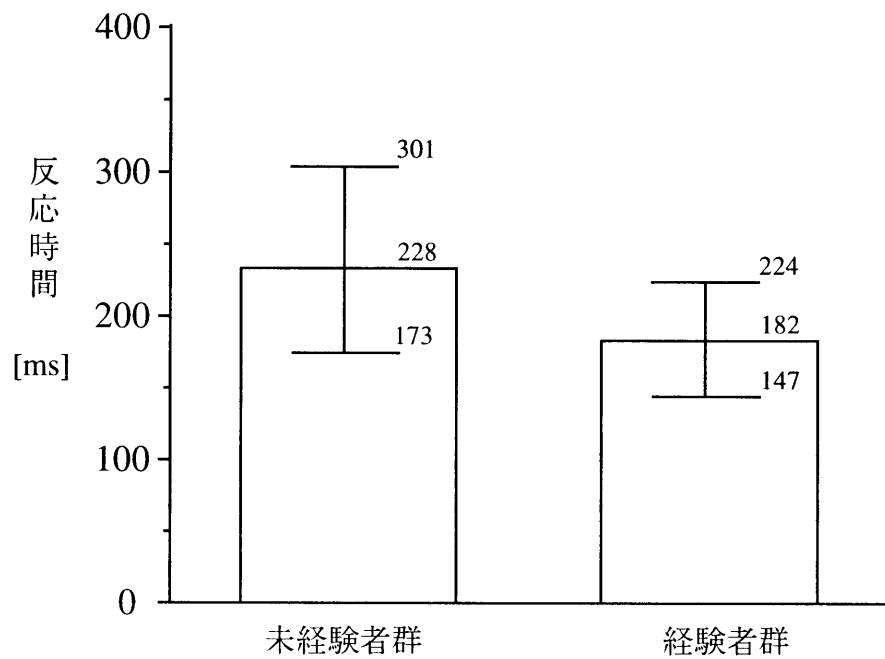


図 4 測定に対する未経験者群と経験者群の平均反応時間とその標準偏差（2 群に $p<0.0001$ で有意差あり）。図中の数値は、それぞれの値を示す。

3.3 結果と考察

3.3.1 刺激音を検知する課題による訓練の結果と検討

単純反応時間の結果を図4に示す。50試行の測定の平均（幾何平均）の結果である。統計処理方法は2.6節に従った。2集団間の平均値の差のt検定では、 $p < 0.0001$ で有意差があった。

音刺激に対する単純反応時間は200ms以内で報告されている¹¹⁾ので、未経験者群では、経験を積めばもっと反応時間を短縮できる可能性がある。

3.3.2 周波数弁別課題による訓練の結果と検討

選択反応時間の結果を図5に、正答率を図6に示す。25試行毎の幾何平均の結果である。統計処理方法は2.6節に従った。反応時間についての分散分析結果は、経験者・未経験者群（主効果）には有意差がみられなかったが $[F=2.8502, p=0.1148]$ 、ブロック（主効果）には有意差があった $[F=97.9903, p<0.0001]$ 。また、経験者・未経験者群×ブロックには有意な交互作用が認められた $[F=7.7830, p<0.0001]$ 。すなわち、両群とも訓練が進むにしたがって反応時間が短縮され、訓練による学習効果が示された。未経験者群内では、訓練の第1ブロック（1～25試行）の反応時間が第2～4ブロックと較べて有意($\alpha=0.05$)に長く、第2ブロック（26～50試行）対第4ブロック（76～100試行）、第3ブロック（51～75試行）対第4ブロックに有意差($\alpha=0.05$)があった。経験者群内では、第1ブロックが第2～4ブロックとの間に有意差($\alpha=0.05$)があった。群間では、第1ブロックから第3ブロックで有意差($\alpha=0.05$)があったが、第4ブロックでは有意差は無かった。交互作用は、第4ブロックで両群の差が無くなることが原因と考えられる。特に、第1ブロックでは、未経験者の反応時間が長く、応答の方法に対して戸惑いがみられた。これによって、反応時間は経験の差も表わすことができるといえる。

以上のことから、経験者は、すぐに実験に慣れてしまうが、未経験者は慣れるまでの間は反応時間が長いことが分かる。課題が難しかったり、認知能力の低下

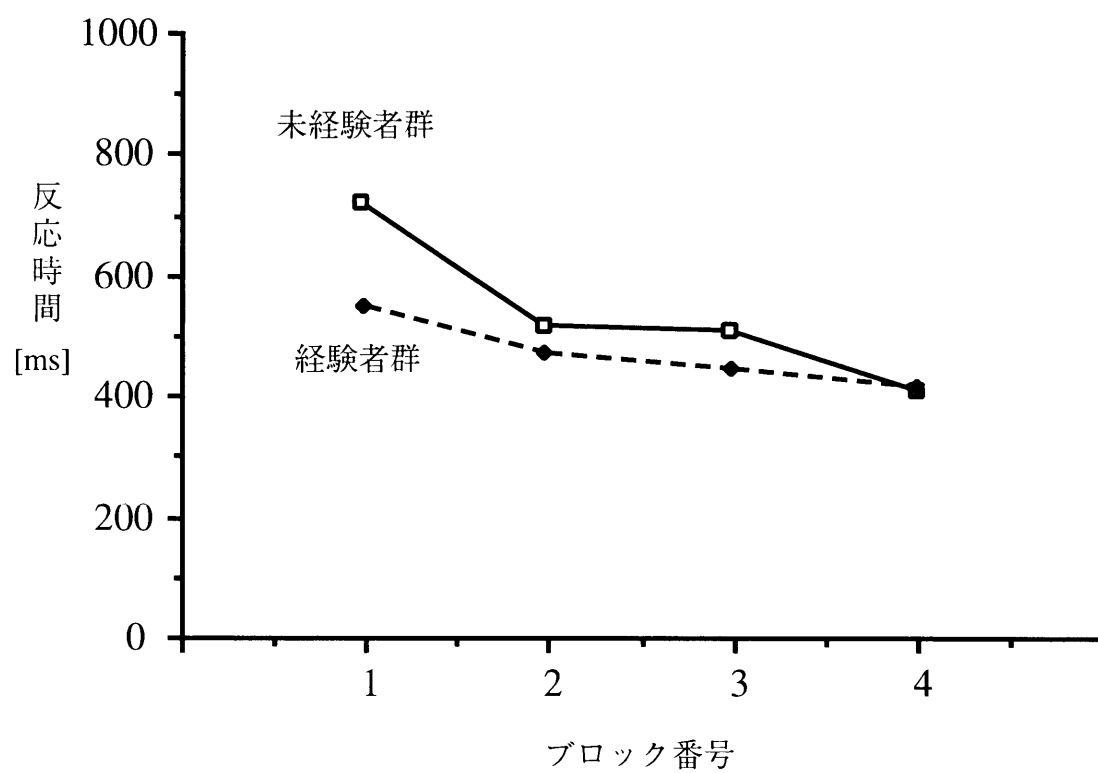


図5 測定に対する未経験者群と経験者群の4ブロックにわたる平均反応時間の変化

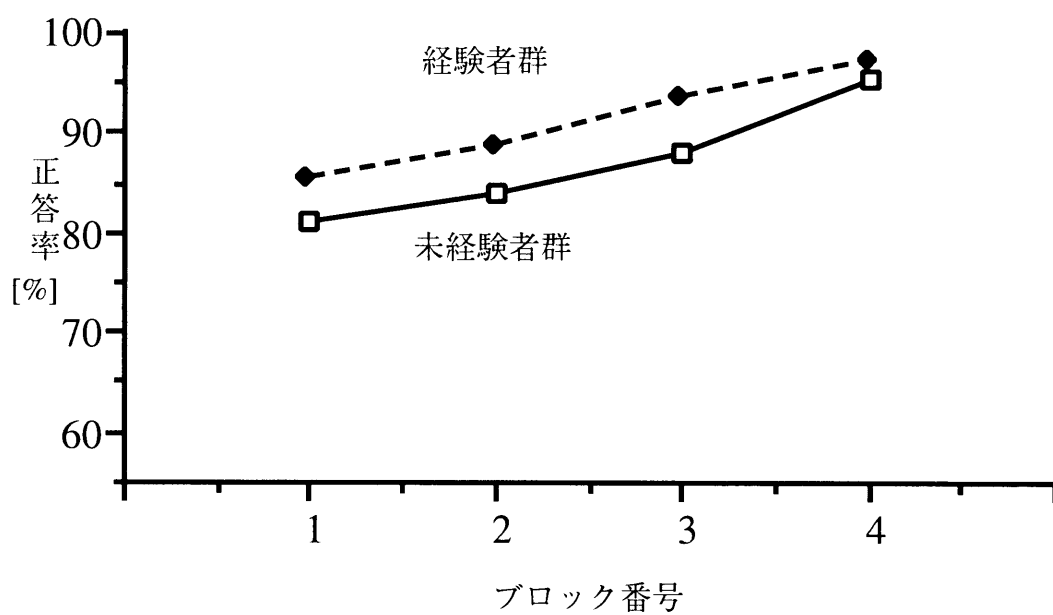


図6 測定に対する未経験者群と経験者群の4ブロックにわたる平均正答率の変化

した被験者では、さらに長い反応時間になることが予想される。

一方、正答率についての分散分析結果は、経験者・未経験者群（主効果）には有意差がみられなかったが $[F=0.3249, p=0.5758]$ 、ブロック（主効果）には有意差があった $[F=13.2948, p<0.0001]$ 。また、経験者・未経験者群×ブロックの交互作用は認められなかった $[F=0.0255, p=0.9944]$ 。すなわち、両群とも訓練が進むにしたがって正答率が上昇し、訓練による学習効果が示された。しかしながら、群間の差は認められず、正答率では、経験による違いを表わすことができなかった。

これらのことから、反応時間と正答率は被験者のブロック間の訓練効果を表わすが、反応時間は経験による差も表わせ、応答操作の学習測度として、正答率よりも有効であることが分かった。

この弁別閾測定のための訓練では、訓練の終了の基準として、未経験者群および経験者群の反応時間の差が無くなる第4ブロックを訓練の終了とみなすことが考えられる。

3.4 まとめ

訓練による学習測度として、正答率とともに反応時間を用い、測定に経験のある者と経験の無い若年成人の訓練過程においてどのような違いがあるか調べた。その結果、

- 1) 単純反応時間において、経験者の方が未経験者に比較して、有意に短かった。
- 2) 経験者の選択反応時間はすぐに短縮され、未経験者よりも学習が速いと考えられる。一方、未経験者は特に第1ブロックが長いが、すぐに学習がなされ、4ブロック目では、経験者と差がなくなってしまうといえた。
- 3) 若年成人においては、反応時間と正答率は、どちらもブロック間の差を表わせたが、正答率よりも反応時間の方が良く経験の違いを出せ、応答操作の学習測度としての反応時間の有効性を示すことができた。

第4章 未経験若年成人および未経験高齢被験者に対する周波数弁別課題における訓練

4.1 はじめに

第3章では、若年成人被験者を用いて、1kHzの周波数弁別閾測定に数時間の経験がある被験者と未経験の被験者の訓練過程における正答率と反応時間の変化の違いを、素早い応答を要求する教示の下での1日内の訓練で検討した。その結果、正答率よりも反応時間の方が良く経験の違いを出せ、応答操作の学習測度としての反応時間の有効性を示すことができた。

本章では、第3章の結果を踏まえて、さらに反応時間の有効性を検討するために、未経験者で検討を行った。これは、第1章で述べたように、今後行われるであろう高齢者に対する聴覚研究・臨床検査で遭遇する可能性がある訓練の問題として捉え、このような測定には多くの未経験者が参加することを想定し、特に未経験者で検討を行った。未経験被験者は、若年成人12名と高齢者10名が参加し、年齢による違いを検討した。また、素早い応答を要求する教示の有効性を確認するために、このような教示を行った「教示群」と、このような教示を全く行わなかった「非教示群」に、未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者をそれぞれ2群に分けて、正答率と反応時間の変化を検討した。さらに、学習結果の保持あるいは変化の状態をみるために3日間にわたって訓練を行った。これらの検討によって、特に本研究の興味の対象である未経験高齢被験者が、若年成人被験者に較べて何が違うのか、反応時間が学習測度として有効なのか、また、教示の効果はあるのかを検討した。

4.2 方法

4.2.1 実験装置

実験は産業医科大学の防音室で行った。測定系のブロックダイアグラムは、前章と同様で、図1に示す。刺激は、RION AD-02ヘッドホンによって、1000Hz純音聴力が良い方の耳に呈示された。刺激音の音圧は80dB SPLとした。応答装置の制御および被験者応答データ収集はRS232Cインターフェイスを介してコンピュータから行った。

4.2.2 被験者

若年成人被験者は、18～20才の女性12名だった。測定耳の1000Hzにおける純音聴力は5dB HL以内だった。

高齢被験者は、61～69才の男性10名だった。測定耳の1000Hzにおける純音聴力は20dB HL以内だった。

すべての被験者は、純音聴力測定以外の聴覚心理測定の経験が無かった。測定は単耳で行い、1000Hz純音聴力が良い方の耳を使った。

若年成人被験者と高齢被験者の性が異なるため、本研究では、それぞれの被験者群内での反応時間の変化の検討を中心に行った。なお、高齢者（50才台後半以上）は、若年成人（特に20才台）よりも反応時間がいくぶん長く、男性は女性よりもやや反応時間が短いことが報告されている¹²⁾。

また、若年成人被験者と高齢被験者は、訓練において素早い応答を要求した「教示群」、そのような教示を行わない「非教示群」の2群に以下のようにそれぞれ分けた。

	非教示群	教示群	計
若年成人被験者	6名	6名	12名
高齢被験者	5名	5名	10名
計	11名	11名	22名

なお、本章の被験者は、5.2節のUDTR法による1kHzの周波数弁別閾測定に参加する被験者と同一である。

すべての被験者には、測定の参加に対して謝金を支払った。

4.2.3 手続き

訓練は、刺激音を検知する課題による訓練を行い、次に、周波数弁別課題による訓練を行った。3日間とも同じ訓練であった。3日間とも、それぞれの訓練の後に、5.2節のUDTR法による1kHzの周波数弁別閾測定を行った。ただし、「非教示群」だけは、刺激音を検知する課題を基本的に行わずに、3日目の最後にだけ行った。

4.2.3.1 刺激音を検知する課題における単純反応時間の測定

刺激は、前章までと同様に図2の1kHz 正弦波、持続時間 400 ms、立ち上がり・立ち下がり は 10 ms の raised-cosine を使用した。

『音が鳴ったらすぐにスイッチを押して下さい。反応時間を測定しています。』との教示を行った。

刺激と刺激の間隔はランダムに変化し、刺激呈示を予測できないようにした。50試行で1ブロックの反応時間測定を4ブロック（合計 200試行）行った。

2.5節の反応時間の定義に従えば、この反応時間は、単純反応時間に等しい。

単純反応時間測定は、「教示群」被験者には、3日間にわたって実験の最初に行った。ただし、「非教示群」被験者には、基本的に行わなかった。その理由として、素早く応答することは何も教示していないため、「すぐにスイッチを押す」という教示が、周波数弁別課題による訓練および第5章で述べる周波数弁別閾測定に影響するのを避けるためである。したがって、参考データを得るために3日目の最後の実験課題としてこの訓練を行った。

全ての実験に対して、押しボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。

4.2.3.2 周波数弁別課題における選択反応時間の測定

前章までと同様に図 3 に示す周波数の異なる 2 つの純音刺激を用いた。若年成人に対する刺激対は十分に弁別可能であると考えられる 1000Hz と 1010～1015Hz を用いた。高齢者に対する刺激対は十分に弁別可能であると考えられる 1000Hz と 1010～1100Hz を用いた。1010～1100Hz と範囲が広いのは、被験者によってピッチ感覚の個人差が大きいためである。

刺激対の順序をランダムに入れ替え、初めの刺激のピッチが高ければ、ボタン 1 を押し、2 番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン 2 を押させた。回答はいずれかの一方を強制的に答えさせる 2IFC 法を用いた。

回答毎に、正応答に対応するボタンの発光ダイオードを点滅させ、被験者に対するフィードバックを行った。反応時間の計測は、2 番目の音刺激の立ち上がりと同時に始めた。

「教示群」に対してのみ、試行ブロックの前に『正確に判断して下さい、そして、できるだけ素早くボタンを押して下さい。反応時間を測定しています。』と教示を与えた。

1 ブロックは 20 試行で、ブロック間に 1～2 分の小休止を取った。全部で 8 ブロック（合計 160 試行）の訓練を行った。

全ての実験に対して、押しボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。2.5 節の反応時間の定義に従えば、この反応時間は、選択反応時間に等しい。

4.3 結果

4.3.1 若年成人被験者の結果

4.3.1.1 刺激音を検知する課題による訓練

単純反応時間の結果を表 1 に示す。1 ブロックについて 50 試行の測定を行い、各ブロック毎の幾何平均の結果である。対数変換を行った後に算出した平均値、

表1 若年成人被験者教示群および非教示群の平均単純反応時間(msec)
(上段：幾何平均値、下段：対数変換後の平均値±標準偏差のそれぞれの逆変換値)

被験者群	第1ブロック	第2ブロック	第3ブロック	第4ブロック
教示群1日目	181 146～225	192 155～238	191 157～231	191 154～236
教示群2日目	171 139～211	175 140～219	180 144～225	180 138～235
教示群3日目	165 134～203	173 143～207	174 141～214	189 144～248
非教示群3日目	208 161～269	206 163～259	205 164～257	207 164～261

および、平均値±標準偏差の値を逆変換し、下限から上限までの範囲を表に示した。統計処理方法は2.6節に従った。

3日間にわたって測定された教示群の反応時間についての分散分析結果は、実験日（主効果）に有意差がみられ $[F=41.3763, p<0.0001]$ 、ブロック（主効果）にも有意差があった $[F=4.5005, p=0.0037]$ 。また、実験日×ブロックには有意な交互作用が認められた $[F=3.7148, p=0.0011]$ 。それぞれの実験日のブロック間についてみると、 $\alpha=0.05$ で、1日目には、第1ブロックが第2～第4ブロックよりも有意に短く、2日目には第1ブロックが第3ブロックより有意に短く、3日目には、第1ブロックが第3、第4ブロックより有意に短く、第4ブロックが第1～3ブロックより有意に長かった。これは、最初のブロックは、非常に高い集中力で遂行できるのだが、実験が進むにつれて課題の単純さのために集中力が低下しているのが原因だと考えられた。非教示群では、3日目の最後に実験を行ったが、ブロック間で反応時間に有意差を示さなかった。

音刺激に対する単純反応時間は200msec程度で報告されている¹¹⁾ので、本研究における被験者は、ほぼ平均的な反応時間を持つ被験者集団であったといえる。

4.3.1.2 周波数弁別課題による訓練

訓練における反応時間の3日間にわたる結果を図7、図8に示す。図7は反応時間に関する教示を与えない「非教示群」の結果で、図8は素早い応答を求める教示を与えた「教示群」の結果である。

非教示群では（図7）、反応時間は教示群（図8）よりもかなり大きいことが分かる。3日間にわたる傾向としては、1日目では1～3ブロック間で反応時間の大きな短縮がみられるが、それ以降のブロックと2～3日目にかけて、両群ともほぼ安定した反応時間が得られた。

正答率の結果では、反応時間と同様に非教示群（図9）、教示群（図10）の両群で、3日間にわたって上昇していくが、教示群の方がバラツキが少ないことが分かる。

3日間にわたる平均反応時間と平均正答率を図11と図12にそれぞれ示す。

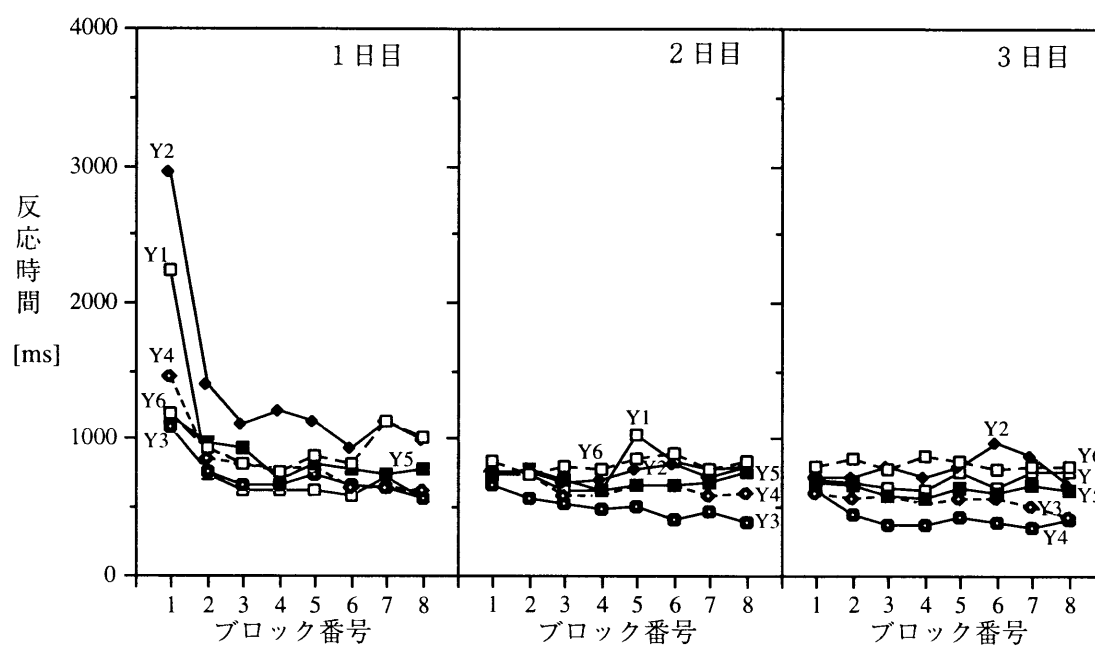


図7 若年成人被験者非教示群における訓練の3日間にわたる反応時間の変化 (Y1 - Y6は被験者名)

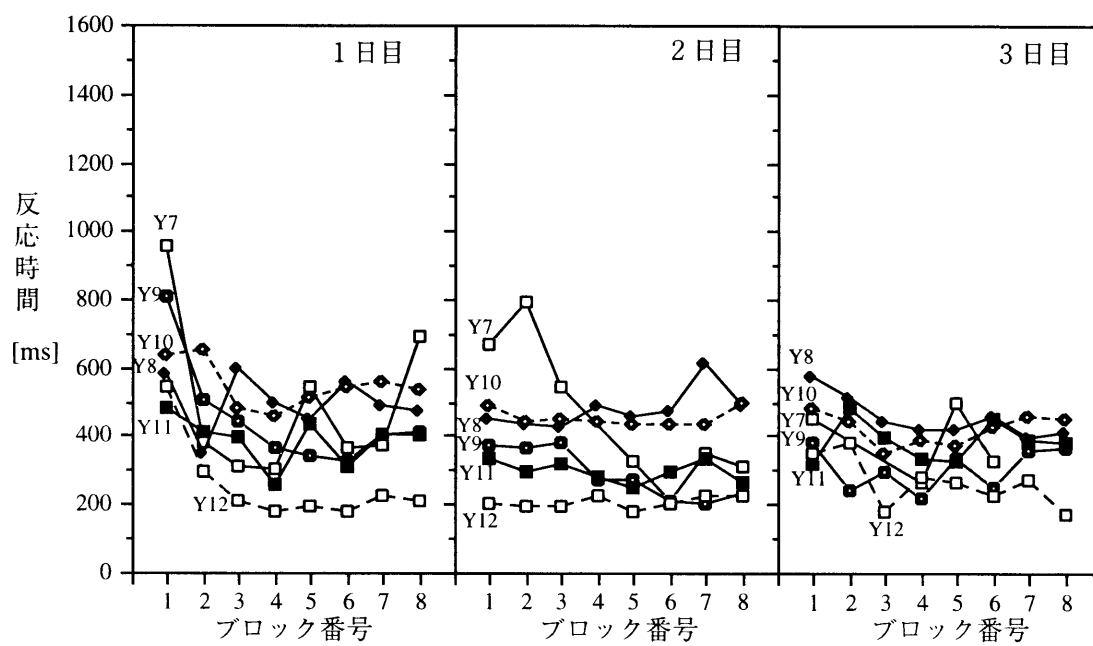


図8 若年成人被験者教示群における訓練の3日間にわたる反応時間の変化 (Y7 - Y12は被験者名)

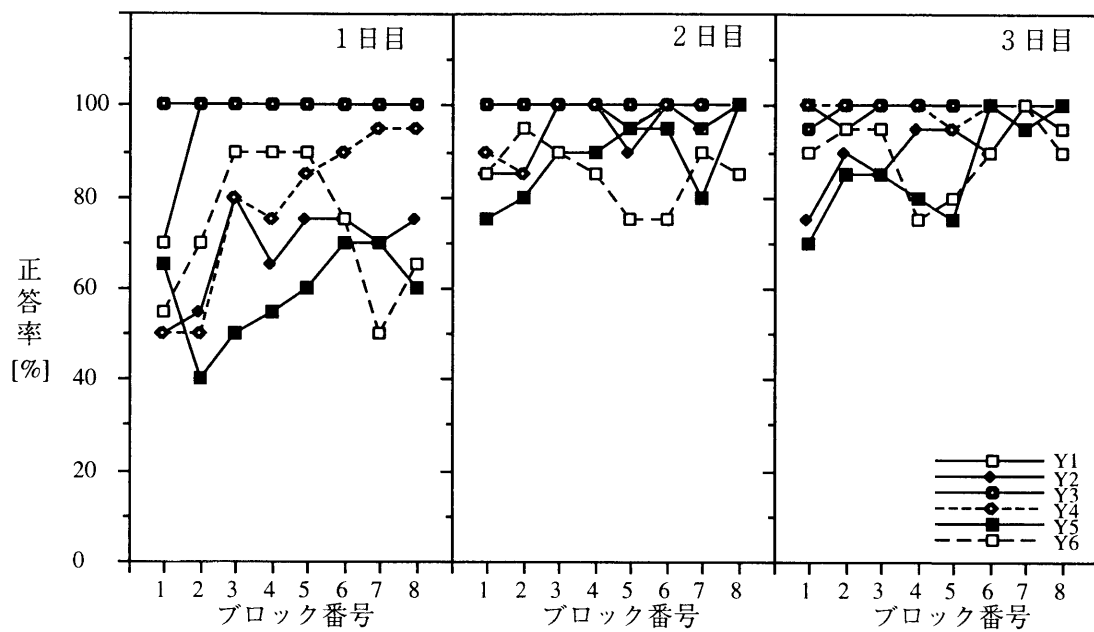


図9 若年成人被験者非教示群における訓練の3日間にわたる正答率の変化 (Y1 - Y6は被験者名)

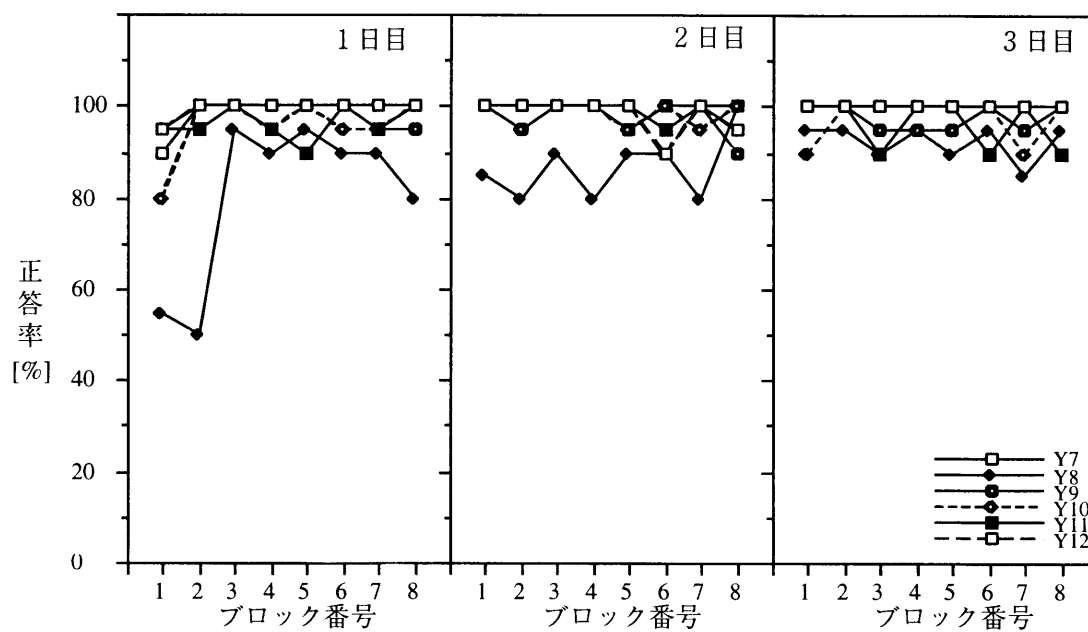


図10 若年成人被験者教示群における訓練の3日間にわたる正答率の変化（Y7 - Y12は被験者名）

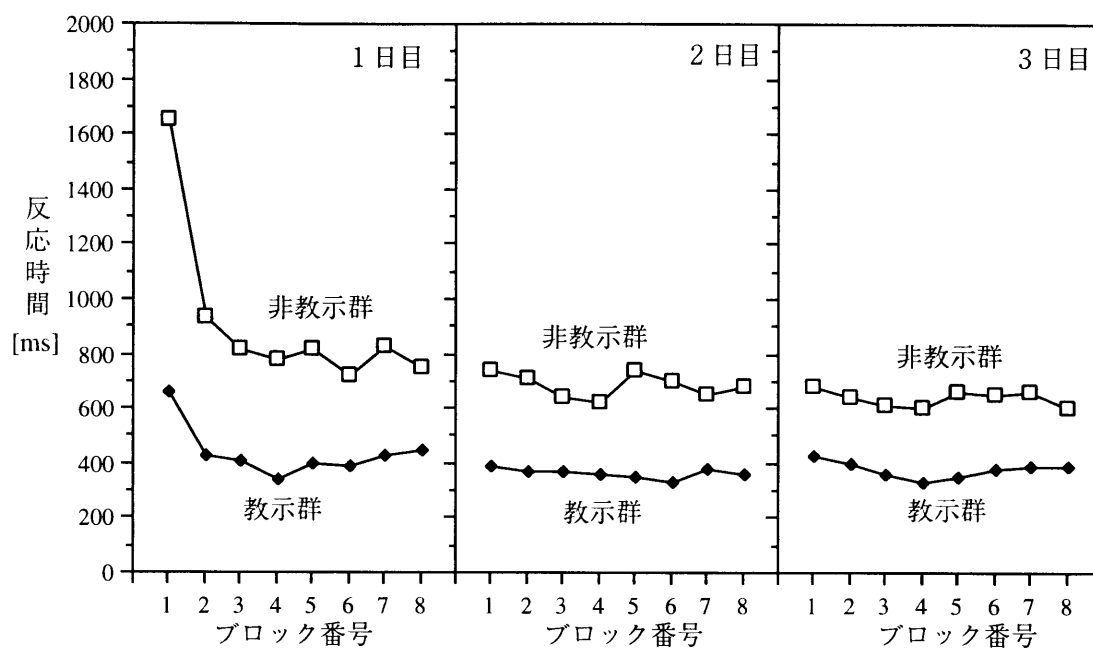


図1 1 若年成人被験者非教示群および教示群における訓練の3日間にわたる平均反応時間の変化

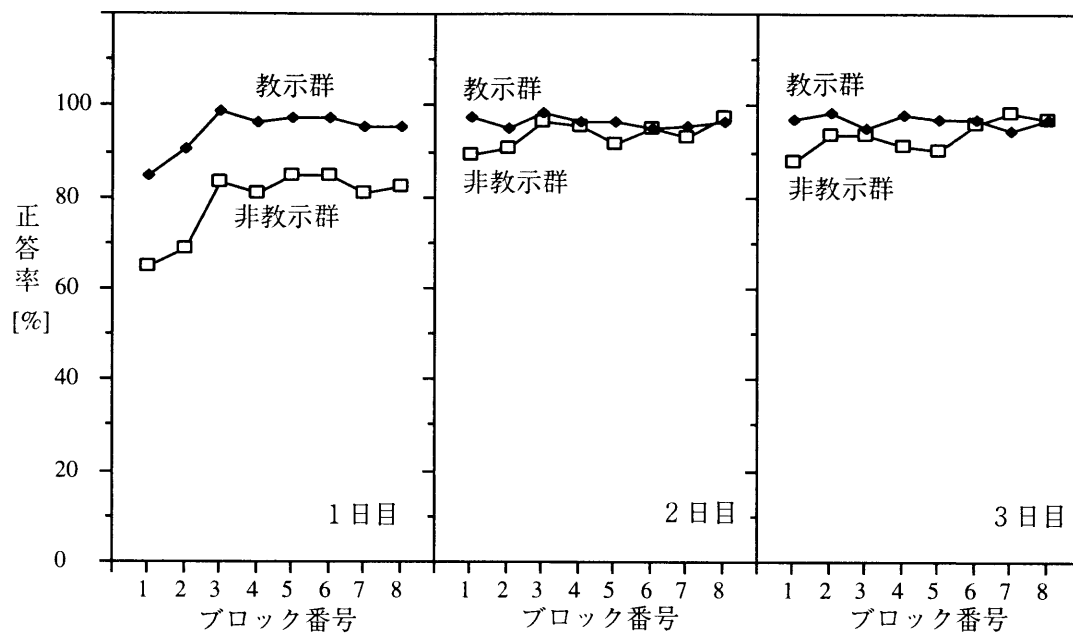


図1 2 若年成人被験者非教示群および教示群における訓練の3日間にわたる平均正答率の変化

3 日間にわたって測定された反応時間についての分散分析結果は、教示の有無（主効果）に有意差 [$F=43.4336$, $p<0.0001$]、実験日（主効果）に有意差 [$F=240.2407$, $p<0.0001$]、ブロック（主効果）に有意差があった [$F=88.7445$, $p<0.0001$]。また、教示の有無×実験日 [$F=16.8041$ $p<0.0001$]、実験日×ブロック [$F=16.6119$ $p<0.0001$]、教示の有無×ブロック [$F=4.6445$ $p<0.0001$]、教示の有無×実験日×ブロック [$F=3.0675$, $p<0.0001$]にはそれぞれ有意な交互作用が認められた。また、それぞれの実験日の反応時間の分散分析の結果でも、3 日間にわたって教示の有無（主効果）、ブロック（主効果）、教示の有無×ブロックで $p<0.0001 \sim p<0.01$ で有意であった。教示群と非教示群の両方で、応答操作の学習の程度を表わしているといえるが、教示群では1日目の第2～3ブロックではほぼ400msecに達し、3日目の最後まで安定した反応時間が得られる。非教示群では1日目の第1ブロックが特に長い、それ以降は、3日目まで単調に減少し続ける。このような変化の差を分散分析の結果が示していると考えられる。最終的に、平均反応時間（図11）は、教示群では400msec程度、非教示群では650msec程度に収束していることが分かる。

以上から、応答操作の学習は、反応時間からは両群とも第2～3ブロックで完了していると推定できる。しかしながら、教示群では、速い応答を求める教示によって、この測定パラダイムでは、ほぼ400msecの反応時間が最短の反応時間、すなわち選択反応時間と考えられるため、単調に減少する非教示群に較べて、判断の基準が明快であるといえる。近似直線、近似曲線を求めることによってプラトーを求める手法も考えられるが、教示群において反応時間がプラトーに達したと考えられる選択反応時間をあらかじめ決定しておけば、訓練の完了基準となる。また、非教示群の反応時間が徐々にであるが単調に減少していることを考えると、少ない試行ブロックで応答操作の学習が完了したかどうかの判定をするためには、選択反応時間という指標の無い非教示群では困難であると考えられる。

一方、平均正答率（図12）では、1日目は教示群の方が非教示群よりも正答率が高く、第3ブロック以降はほぼ100%を維持している。2日目以降では教示群、非教示群とも100%に近い正答率になることが分かる。若年成人にとって十分に弁別可能と考えられる刺激対を使っているために、当然の結果といえる。したがって、100%付近のプラトーに達するまでに周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的

に形成されているかどうかの学習効果を示すといえる。

3日間にわたって測定された正答率についての分散分析結果は、教示の有無（主効果）に有意差 [$F=5.0164$, $p=0.0276$]、実験日（主効果）に有意差 [$F=27.3366$ $p<0.0001$]、ブロック（主効果）に有意差があった [$F=4.4787$ $p=0.0001$]。また、交互作用である、教示の有無×実験日 [$F=0.9603$ $p=0.3281$] は有意でなく、実験日×ブロック [$F=2.4473$ $p=0.0192$] は有意であった。教示の有無×ブロック [$F=0.2532$ $p=0.9708$]、教示の有無×実験日×ブロック [$F=0.5176$ $p=0.8209$] はそれぞれ有意ではなかった。また、それぞれの実験日の正答率の分散分析の結果では、教示の有無（主効果）は、1日目、2日目で有意差がなく ($\alpha=0.05$)、3日目だけが有意であった。ブロック（主効果）に関しては、1日目だけに有意差があったが、2日目、3日目には有意差が無かった ($\alpha=0.05$)。教示の有無×ブロックの交互作用は、3日目だけが有意であった ($\alpha=0.05$)。正答率では教示群と非教示群の差は現れず、また、十分弁別可能な刺激を呈示しているため、2日目にはほぼ100%になっていることが検定結果にも反映しているといえる。したがって、結果として2日目には周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる。

以上により、若年成人では、応答操作の学習測度である反応時間の結果より、1日目の第2～3ブロックで応答操作の学習が完了し、正確さの学習測度である正答率の結果から2日目に周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる。また、正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日の結果に大きな悪化がないことから、前日の学習結果が次の日にも保持されているといえる。

4.3.2 高齢被験者の結果

4.3.2.1 刺激音を検知する課題による訓練

単純反応時間の結果を表2に示す。1ブロックについて50試行の測定を行い、各ブロック毎の幾何平均の結果である。対数変換を行った後に算出した平均値および平均値±標準偏差の値を逆変換し、下限から上限までの範囲を表に示した。

表 2 高齢被験者教示群および非教示群の平均単純反応時間 (msec)
(上段：幾何平均値、下段：対数変換後の平均値±標準偏差のそれぞれの逆変換値)

被験者群	第 1 ブロック	第 2 ブロック	第 3 ブロック	第 4 ブロック
教示群 1 日目	215 152～307	192 150～247	197 159～245	198 148～265
教示群 2 日目	191 154～236	184 150～226	186 148～234	185 146～233
教示群 3 日目	200 149～268	188 149～236	195 150～252	199 157～254
非教示群 3 日目	212 156～287	197 158～246	193 156～239	187 148～237

統計処理方法は2.6節に従った。

3 日間にわたって測定された教示群の反応時間についての分散分析結果は、実験日（主効果）に有意差がみられ[F=20.8451, $p<0.0001$]、ブロック（主効果）にも有意差があった[F=9.6302, $p<0.0001$]。実験日×ブロックには有意な交互作用は認められなかった[F=1.9263, $p=0.0730$]。それぞれの実験日のブロック間についてみると、1 日目では第 1 ブロックが他のブロックに較べて有意に長かった($\alpha=0.05$)。2 日目は有意差が無く、3 日目には第 2 ブロックが第 1 ブロックおよび第 4 ブロックに較べて有意に短かった($\alpha=0.05$)。これは、若年成人と逆の傾向を示した。非教示群では、3 日目の最後に実験を行ったが、第 1 ブロックが他のブロックに較べて有意に長かった($\alpha=0.05$)。

以上から、高齢者では、実験日およびブロック間で学習が進んでいく様子が分かる。このような単純な課題に対しては、ほぼ第 1 ブロックで課題に慣れてしまい、第 2 ブロック以降、反応時間の変化が少ないことが分かった。

音刺激に対する単純反応時間は 200msec 程度で報告されている¹¹⁾ので、本研究における被験者は、ほぼ平均的な反応時間を持つといえる。

4.3.2.2 周波数弁別課題による訓練

訓練における反応時間の 3 日間にわたる結果を図 1 3、図 1 4 に示す。

図 1 3 は反応時間に関する教示を与えない「非教示群」の結果で、図 1 4 は速い応答を求める教示を与えた「教示群」の結果である。

非教示群では（図 1 3）、反応時間は教示群（図 1 4）よりもかなり大きく、被験者間のバラツキも大きいことが分かった。3 日間にわたる傾向としては、回数を重ねて慣れるにしたがって、反応時間が短縮していった。例外として、被験者 E 5 がピッチの感覚を最後まで理解できず、他の被験者に較べて大きな反応時間を維持した。

教示群では、3 日間ではほぼ 600msec の反応時間に収束していることが分かる。バラツキも少なく、応答操作がスムーズになり、学習の程度が反応時間で表現できることが分かる。

正答率の結果では、反応時間と同様に非教示群（図 1 5）、教示群（図 1 6）

の両群で、3日間にわたって上昇していくことが分かる。被験者E 5だけがピッチ感覚を理解できないため、正答率は低いままであった。

図17、図18には、E 5のデータを除いて平均した反応時間と正答率の結果を示す。

3日間にわたって測定された反応時間についての分散分析結果は、教示の有無（主効果）に有意差 $[F=4.3581, p=0.0670]$ は無かった。実験日（主効果） $[F=191.4812, p<0.0001]$ 、ブロック（主効果） $[F=63.9199, p<0.0001]$ に有意差があった。また、教示の有無 $\times$ 実験日 $[F=14.7644, p<0.0001]$ 、実験日 $\times$ ブロック $[F=17.3618, p<0.0001]$ が有意であった。教示の有無 $\times$ ブロック $[F=1.9699, p=0.0553]$ には有意差がなく、教示の有無 $\times$ 実験日 $\times$ ブロック $[F=3.8766, p<0.0001]$ には有意な交互作用が認められた。また、それぞれの実験日の反応時間の分散分析の結果でも、3日間にわたって教示の有無（主効果）の効果は小さく、2日目にのみ有意であった $(p=0.0288)$ 。ブロック（主効果）、教示の有無 $\times$ ブロックは、 $p<0.0001 \sim p=0.0345$ で有意であった。ブロック（主効果）に有意差があることから、応答操作の学習の程度を表わしているといえる。教示の有無（主効果）に有意差がないことから、高齢者の物事に対する慎重な姿勢、あるいは、認知機能全般の低下を考えことができるが、図13、図14に示される大きな個人差を考慮すると、より慎重な検討が必要と思われる。

図17の反応時間は、教示群において1日目の第8ブロック程度でプラトーに達し、2日目と3日目は安定した反応時間を示した。したがって、全体的な傾向として、応答操作の学習は1日目の第8ブロックの時点で完了したと考えられるが、プラトーに達したかどうかは、2日目にしか判断できないといえる。非教示群は徐々に反応時間が短縮し、3日目には教示群にかなり接近していることが分かる。

3日間にわたって測定された正答率についての分散分析結果は、教示の有無（主効果）に有意差は無かった $[F=0.0203, p=0.8869]$ 。実験日（主効果）に有意差 $[F=34.1112, p<0.0001]$ 、ブロック（主効果）に有意差があった $[F=2.8086, p=0.0085]$ 。また、交互作用である、教示の有無 $\times$ 実験日 $[F=0.1462, p=0.7027]$ 、実験日 $\times$ ブロック $[F=1.8839, p=0.0747]$ 、教示の有無 $\times$ ブロック $[F=0.6906, p=0.6800]$ 、教示の有無 $\times$ 実験日 $\times$ ブロック $[F=0.4068, p=0.8972]$ は、それぞれ

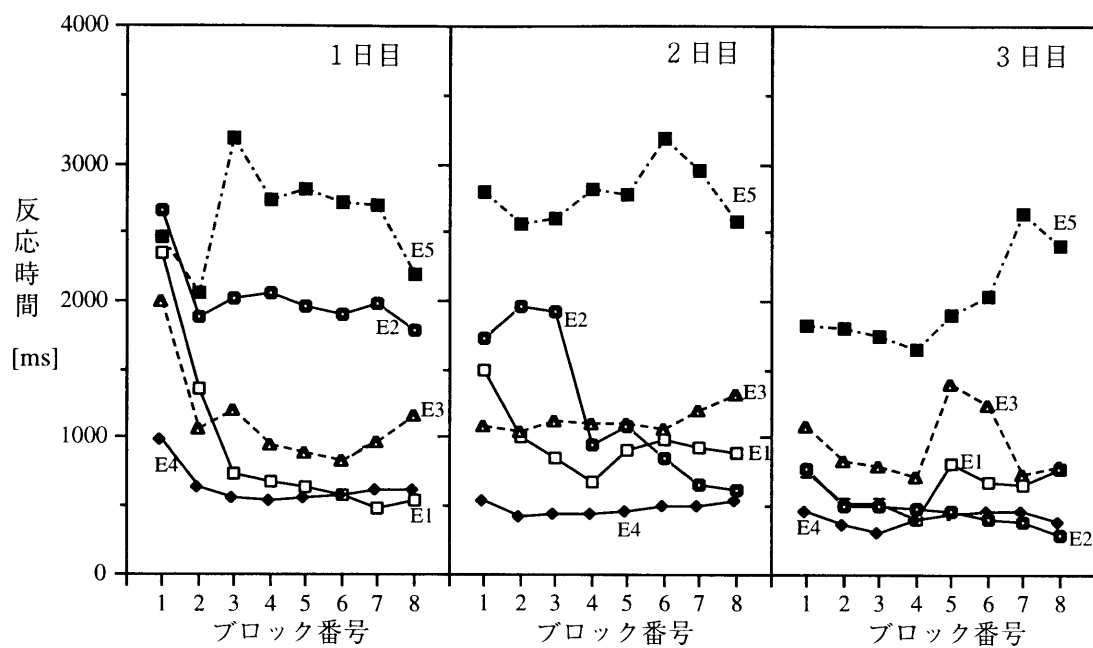


図 1 3 高齢被験者非教示群における訓練の3日間にわたる反応時間の変化 (E1 - E5は被験者名)

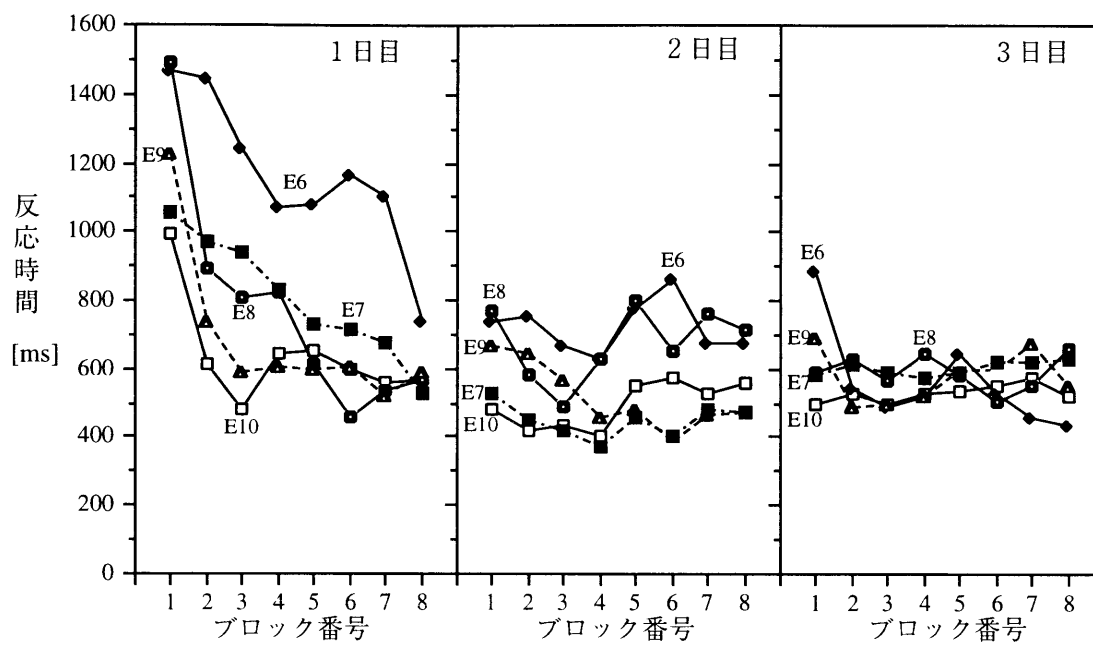


図 1 4 高齢被験者教示群における訓練の3日間にわたる反応時間の変化 (E6 - E10は被験者名)

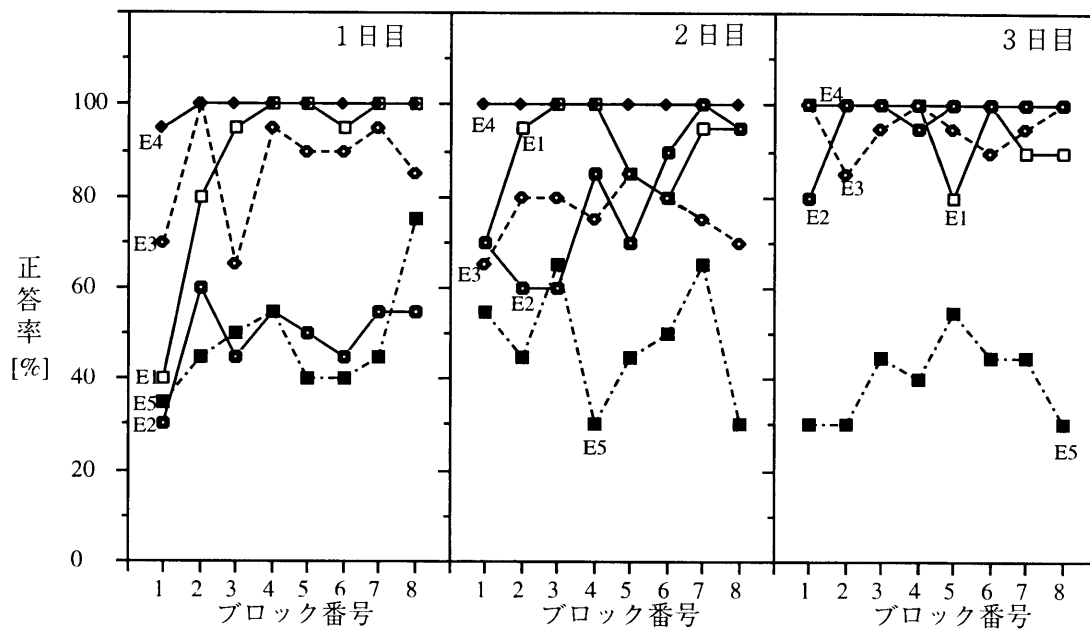


図1 5 高齢被験者非教示群における訓練の3日間にわたる正答率の変化 (E1 - E5は被験者名)

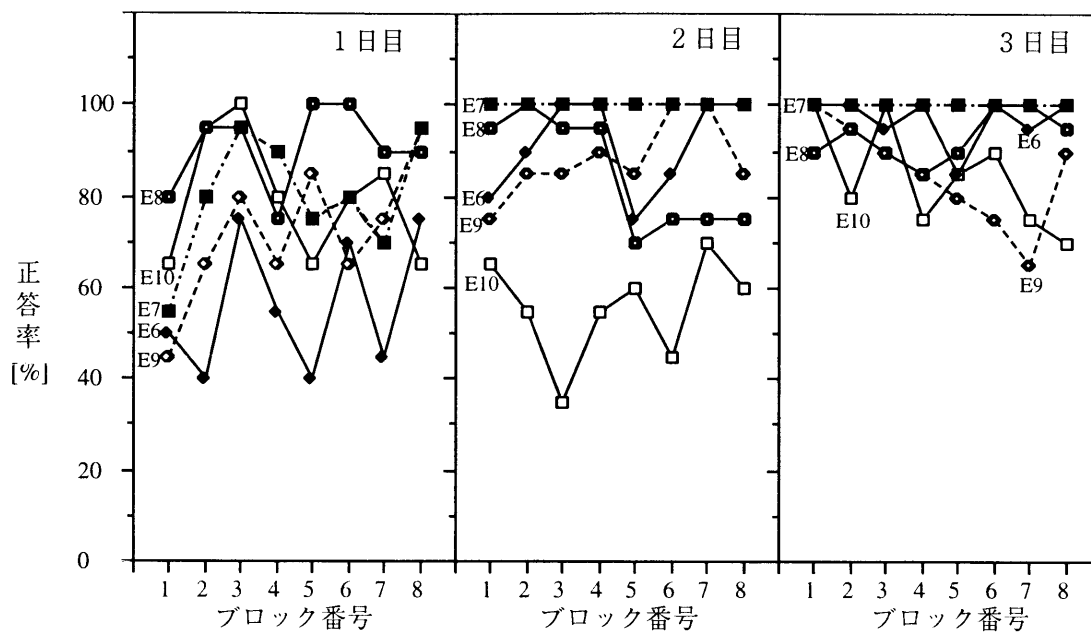


図1 6 高齢被験者教示群における訓練の3日間にわたる正答率の変化（E6 - E10は被験者名）

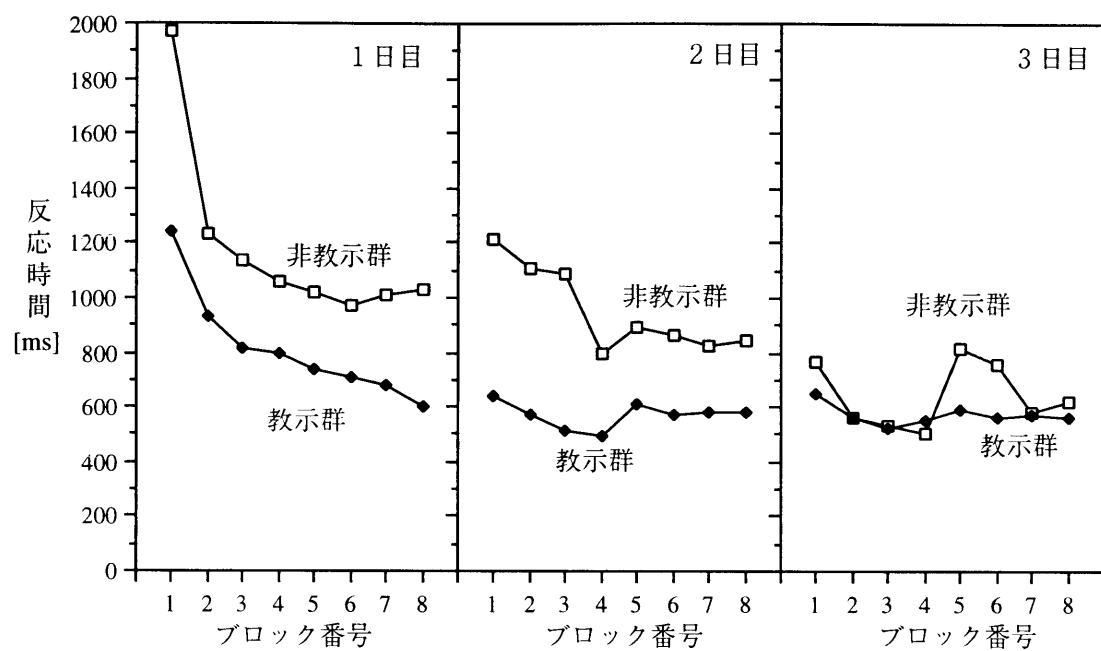


図 1 7 高齢被験者非教示群および教示群における訓練の 3 日間にわたる平均反応時間の変化

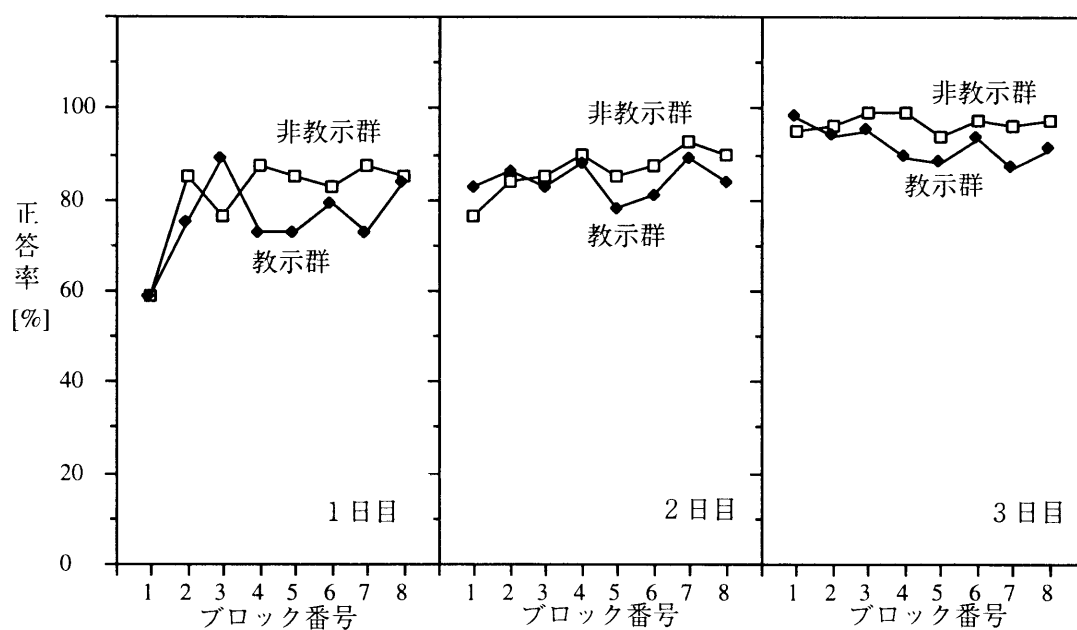


図18 高齢被験者非教示群および教示群における訓練の3日間にわたる平均正答率の変化

有意ではなかった。また、それぞれの実験日の正答率の分散分析の結果では、教示の有無（主効果）は、3日間にわたって有意差（ $\alpha=0.05$ ）が無かった。ブロック（主効果）に関しては、1日目だけに有意差があったが、2日目、3日目には有意差が無かった（ $\alpha=0.05$ ）。教示の有無×ブロックの交互作用は、3日間にわたって有意差が無かった（ $\alpha=0.05$ ）。

図18の正答率では、教示群と非教示群では差が見られずに徐々に増加していった。3日目には100%に近い値に達したので、3日目には周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる。

したがって、速い応答を要求する教示を行えば、反応時間の変化を見ることによって、2日目には応答手順や応答操作を習熟したと判断できると考えられる。非教示群の反応時間では、単調に減少し続けるので、その判断が2日目にできない。

以上により、高齢者では、応答操作の学習測度である反応時間の結果より2日目の第1ブロック（教示群で）応答操作の学習が完了し、正確さの学習測度である正答率の結果から3日目に周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる。また、正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日の結果に大きな悪化がないことから、前日の学習結果が次の日にも保持されているといえる。

4.4 考察

4.4.1 刺激音を検知する課題による訓練について

教示群の1日目のみ、高齢者は、第1ブロックが他のブロックより有意に長いのに較べて、若年成人では、3日間にわたって逆に短い。非教示群内では、高齢者は、教示群1日目と同様に第1ブロックの反応時間が有意に長いのに較べて、若年成人では、有意差が無かった。

このような非常に単純な課題でも、高齢者は、操作に慣れるのに時間が必要である。若年成人では、このような応答操作については、特に慣れるための時間は

必要でないと考えられる。逆に3日間にわたって第1ブロックが短いのは、測定に対しての強い動機が働いているように考えられるが、それ以降のブロックでは、操作の単純さのために集中力の低下を招いていると推測できる。したがって、若年成人では、このような単純な課題は、特に訓練を必要とするものではなく、逆に多くの課題を行うと、単調さのために精神疲労を引き起こす可能性もある。

高齢者の結果も考えると、このような応答操作に必要な回数としては、本研究の課題に関しては1ブロック、すなわち50回程度で十分であるといえる。

4.4.2 周波数弁別課題による訓練について

同じ周波数弁別課題による訓練によって若年成人と高齢者の結果が大きく違った。応答操作の学習測度である反応時間については、教示群において、若年成人では1日目の第2～3ブロックでプラトーに達したのに較べて、高齢者では2日目の第1ブロックにならないと学習が完了したことが分らない。

正確さの学習測度である正答率については、若年成人では2日目に周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられるが、高齢者では3日目であった。この訓練結果からでも高齢者の認知機能や運動機能の低下をうかがい知ることができる。

若年成人および高齢者では、どちらもまず応答操作の学習が最初に完了することが反応時間によって確認できる。運動機能の低下が考えられる高齢者では、弁別結果と応答操作の運動連結が完了したことを確認できる意味でその時点で測定された閾値の信頼性が、そうでない時に較べて高まるといえる。どの程度の反応時間に達すれば応答手順や応答操作を習熟したかを判断するための基準は、測定パラダイムによって異なり、あらかじめ測定し、基準値を決定しておく必要があると考えられる。

また、特に重要なことであるが、正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日の結果に大きな悪化がないことから、前日の学習結果が次の日にも保持されていることである。このことは、高齢者の場合、数日間にわたる測定の方がむしろ好ましいと判断する高齢者では、数日にわたって測定を行い、1日の負担を軽くすることも可能であることを示唆する。

十分に弁別可能と考えられる刺激対を使っているので、正確さの学習測度である正答率は、弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されているかどうかの訓練効果を表わすと考えられる。訓練回数を重ねるに従って100%に近づいていくであろうが、実際には被験者は完璧でなく、うっかりミスなどを起こす。この場合、正しく弁別できて、間違えた応答をしてしまい、100%正答にならない。

では、実際問題として、何パーセントならば満足できるのでしょうか。選択反応時間における速度と正確さのトレードオフに関する研究⁴⁾では、普通の教示では97%の正答率になると報告されている。1ブロック20試行の場合、1試行の誤答で95%の正答率になることを考えれば、95%を一つの基準にできるであろう。第5章では、UDTR法によって70.7%閾値を求めているが、十分弁別可能な刺激に対しては、少なくとも70.7%以上の正答率を維持しないと閾値推定が不可能であろう。したがって、本研究の場合は、訓練における最終的な正答率を、75%～95%の間で設定できるといえる。一方、知覚判断結果に関係なく全くランダムに発生するエラー率がどの程度ならば、信頼できる閾値推定が可能かどうかを検討し、訓練に対してもそのエラー率を適用するという方法が考えられ、将来の課題であろう。

第5章では訓練後に周波数弁別閾測定を行った結果を示し、信頼性のある閾値についての検討を行う。

4.5 まとめ

訓練による学習測度として、正答率とともに反応時間を用い、適応法による周波数弁別閾測定のための訓練に対して、測定に未経験の若年成人被験者と高齢被験者の訓練過程を検討した。若年成人被験者と高齢被験者、そして、教示群と非教示群の違いを、反応時間と正答率で良く表わすことができ、その結果、

- 1) 応答操作の学習測度である反応時間については、若年成人では1日目の第2～3ブロックでプラトーに達し、訓練によって学習が完了したといえた。高齢者では2日目の第1ブロックで学習が完了したといえた。したがって、応答操作の学習測度として反応時間の使用が有効であるといえた。

- 2) 正確さの学習測度である正答率については、周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる学習の完了は、若年成人では2日目、高齢者では3日目であった。

教示の影響についての結果は、

- 3) 反応時間で非教示群と教示群との間の違いが出た。教示群の反応時間は応答操作の学習のレベルが明確に出るため、学習の完了の判断が容易だった。
- 4) 正答率については、若年成人では1日目に非教示群と教示群との間に違いがみられたが、高齢者では3日間にわたって違いがみられなかった。
- 5) 正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日の結果に大きな悪化がないことから、前日の学習結果が次の日にも保持されているといえた。このことは、高齢者の場合、数日間にわたる測定の方がむしろ好ましいと考えられる高齢者では、数日にわたって測定を行うことによって、1日の負担を軽くすることも可能であることが示唆された。

第5章 周波数弁別閾測定と反応時間の検討

5.1 はじめに

第4章では、応答操作訓練の学習測度として反応時間の有効性が確かめられた。また、教示群の反応時間は応答操作の学習のレベルが明確に出るため、学習の完了の判断が容易であることが分かった。さらに、訓練による学習結果は次の日にも受け継がれ、保持されていることが分かった。

5.2節では、未経験若年成人被験者と未経験高齢被験者における3日間のそれぞれの訓練後に行ったUDTR法による1kHzの周波数弁別閾測定に対して、求められた周波数弁別閾と訓練の結果との関係を検討した。

5.3節では、未経験若年成人被験者における周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、恒常法を用いて、素早い応答を求める教示の下で、訓練を行わないで測定した場合についてそれらの関係を示す。UDTR法では各刺激レベルの出現確率が一定でないが、恒常法では、設定したそれぞれの刺激レベルの刺激が等確率で出現する。したがって、刺激レベルと反応時間の関係が明確に表現できる理由で採用した。これによって、測定中の刺激レベルに応じた反応時間の特徴を検討した。

5.2 UDTR法による周波数弁別閾測定

5.2.1 方法

5.2.1.1 被験者

第4章の訓練に参加した未経験若年成人被験者および未経験高齢被験者と同じで、第4章の3日間それぞれの日の訓練後にUDTR法による周波数弁別閾測定を行った。

若年成人被験者は、18～20才の女性12名だった。測定耳の1000Hzにおける純音聴力は5dBHL以内だった。

高齢被験者被験者は、61～69才の男性10名だった。測定耳の1000Hzにおける純音聴力は20dBHL以内だった。

すべての被験者は、純音聴力測定以外の聴覚心理測定の経験が無かった。測定は単耳で行い、1000Hz純音聴力が良い方の耳を使った。

また、若年成人被験者と高齢被験者は、訓練において素早い応答を要求した「教示群」、そのような教示を行わない「非教示群」2群にそれぞれ分けた。

すべての被験者には、測定の参加に対して謝金を支払った。

5.2.1.2 実験装置

実験は産業医科大学の防音室で行った。測定系のブロックダイアグラムは、前章までと同様で、図1に示す。

刺激は、RION AD-02ヘッドホンによって、1000Hz純音聴力が良い方の耳に呈示された。刺激音の音圧は80dB SPLとした。応答装置の制御および被験者応答データ収集はRS232Cインターフェイスを介してコンピュータから行った。

5.2.1.3 手続き

適応法(adaptive procedure)を使って、前章の訓練後に、1000Hz正弦波に対する周波数弁別閾を求めた。すなわち、2IFC法によるUDTR法によって70.7%閾値を求めた¹⁸⁾。被験者の応答に応じて次に呈示する刺激を決定する手順は以下のようになる。

2刺激間の周波数差を表現する「刺激レベル」は、被験者の応答に応じて「ステップ幅」の周波数(=1刺激レベル)だけ増減されて、次の試行に呈示される。2回続けて正応答の時のみ、次の試行の刺激レベルが1つ下がって、周波数差が小さくなり弁別しにくくなる。1回でも誤応答の時は次の試行の刺激レベルが1つ上がり、周波数差が大きくなって弁別しやすくなる。誤応答の後1回だけ正応答の時は次の試行も同じ刺激レベルのままである。この方法で、次々と刺激レベルを決定し、その結果、刺激レベルが大きくなったり小さくなったり変化し、いくつかの山谷を持つ。

周波数弁別閾の計算は、この刺激レベルの変化の山と谷の先頭 4 個を捨て、5～8 個目の 4 個の算術平均を弁別閾とした。結果として、70.7% 閾値が求まる。8 個の山谷で弁別閾が決定できるので、8 個目の山谷が確定した時点で測定を終了できるが、本研究では余裕を持たせて 1 ブロックについて 40 試行は実行することにした。

3 日間のそれぞれの測定日の最終的な弁別閾の決定については、十分信頼できる弁別閾を得るために、1) ブロック内に最低 8 回のレベルの山谷が発生すること。2) 5～8 回目の山谷の幅が 4 刺激レベル以内に納まること。この 2 点を満たしている最初のブロックの弁別閾をその日の弁別閾とした。

刺激の時間関係は訓練と同じで図 3 に示される。2 番目の音刺激の立ち上がりと同時に反応時間の計測を始めた。刺激の順序をランダムに入れ替え、初めの刺激の周波数が高いと判断すれば、ボタン 1 を押させ、2 番目の刺激の周波数の方が高いと判断すれば、ボタン 2 を押させた。回答毎に、正答ボタンの発光ダイオードを点滅させ、被験者に対する正答のフィードバックを行った。

「教示群」に対してのみ、『正確に判断して下さい、そして、できるだけ素早くボタンを押して下さい。反応時間を測定しています。』と教示を与えた。ボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。

ピッチ感覚の理解が不十分な被験者では、ステップ幅を大きめにし、10Hz あるいは 5Hz としたが、通常は 2Hz から始めた。1 つの試行ブロック終了後に刺激レベルの変化を観察し、応答の安定性が悪い場合は、ステップ幅を大きくした。

これら一連の実験に被験者が拘束される時間は訓練も含めて 60 分程度だった。これを 1 日 1 回、3 日間にわたって行った。

5.2.2 結果

非教示群および教示群における 1kHz の周波数弁別閾は、若年成人被験者については図 19 に、高齢被験者については図 20 に示す。刺激レベルと反応時間の変化の教示群における代表例を図 21 に示す。実際の弁別閾決定は 8 個の山谷で決定されるので、この例では、37 試行目で測定を打ち切ることが可能である。刺激レベルの変化とともに反応時間がリアルタイムでモニタできることが分かる。

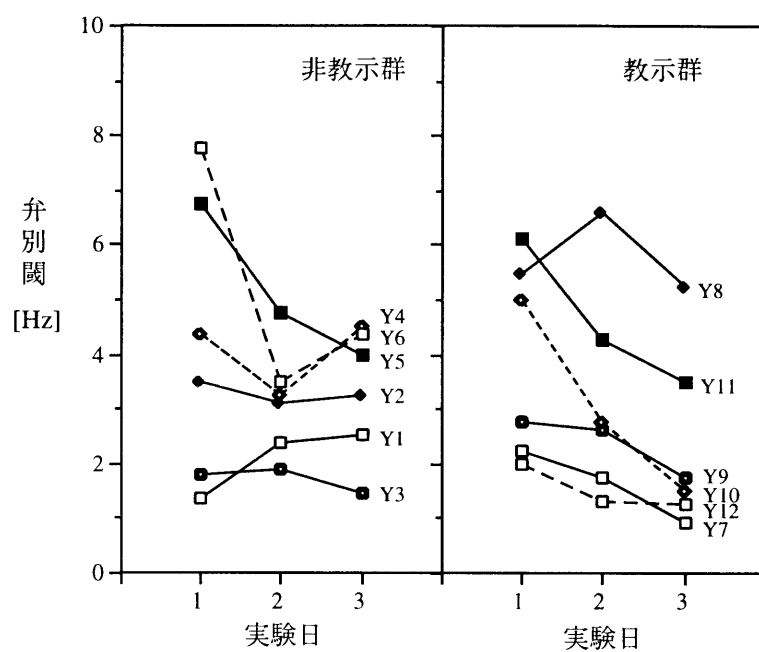


図 1 9 若年成人被験者における非指示群および指示群の 3 日間にわたる弁別閾の変化。

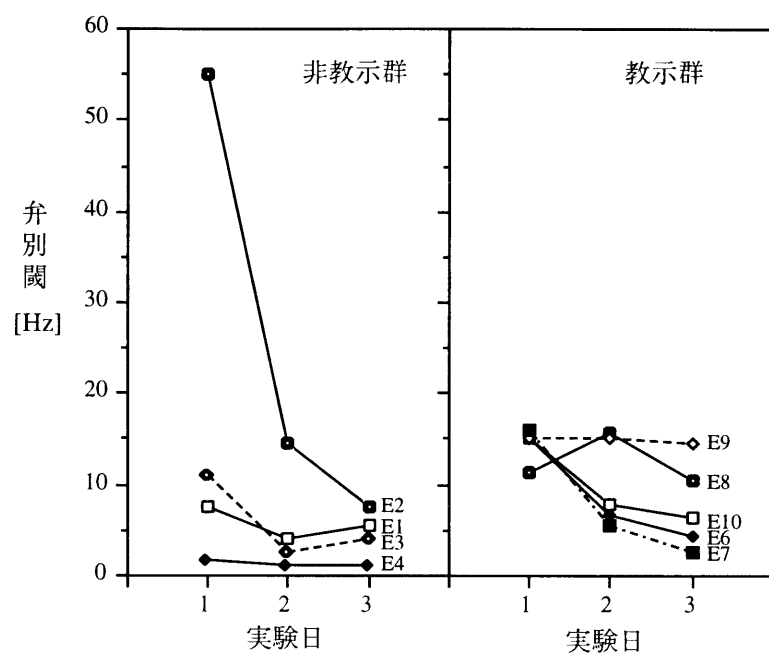


図 2 0 高齢被験者における非教示群および教示群の 3 日間にわたる弁別閾の変化。周波数弁別閾が決定できなかった被験者 E 5 を除いた。

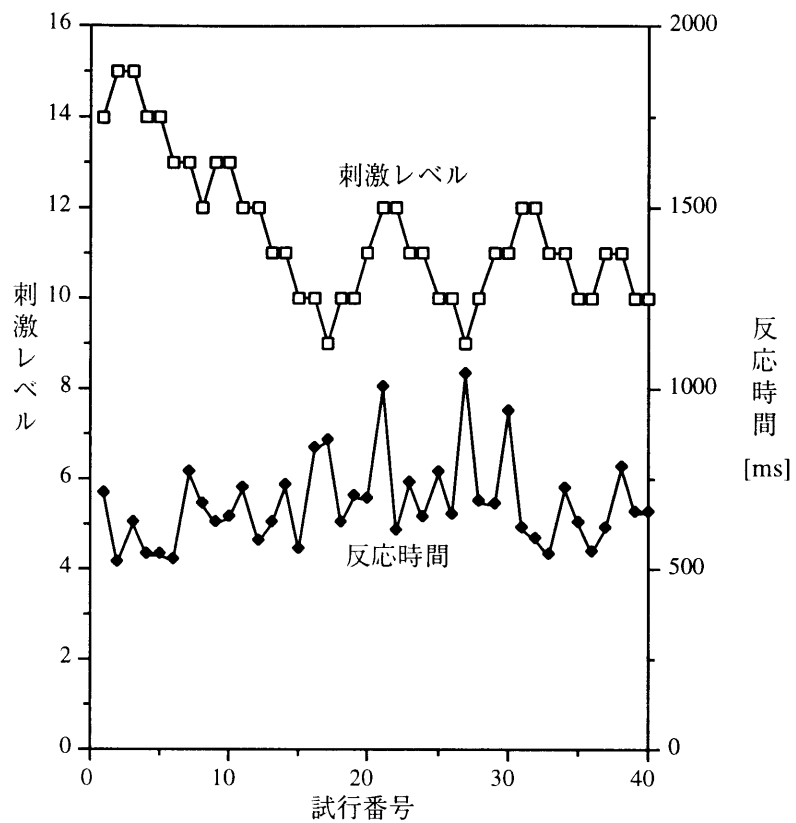


図 2 1 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（教示群 E 8）。
ステップ幅＝1Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。

図 2 2 には、非教示群の E 5 の刺激レベルと反応時間の変化の例を示す。E 5 は、ピッチの感覚が理解できず弁別閾が出せなかった例である。2 回続けて正答が得られず、刺激レベルが上昇していく様子が分かる。

なお付録 A には、刺激レベルと反応時間の変化を、周波数弁別閾を決定したブロックについて、若年成人被験者と高齢被験者の非教示群と教示群について 1 名ずつ 3 日間にわたる変化を示した。

5.2.3 考察

若年成人被験者も高齢被験者も 3 日間にわたって手続きにしたがって、ピッチの感覚が最後まで理解できなかった E 5 を除いた全ての被験者に対して周波数弁別閾を求めることができた。教示群では、若年成人被験者および高齢被験者とも、周波数弁別閾が低下していく傾向が見られた。

弁別閾が低下していく場合、どの時点で測定を終了するかは検者に依存する。通常は、検者が定めた精度（範囲のような散布度）内に連続して一定回数納まる場合が考えられる。しかしながら、これは、訓練後に高精度の閾値を求める場合であって、臨床では、応答操作の訓練から考慮しなくてはならない。第 4 章の訓練結果では、訓練における反応時間がプラトーに達した時点に応答操作の訓練完了時と考えられるので、それ以降に求められた弁別閾は、応答操作の訓練を完了した閾値ということによって採択可能であるといえる。これは、閾値決定の一つの有望な基準と考えられる。

この基準に従えば、平均値および個々の被験者についてみても、若年成人では 1 日目（図 7、図 8、図 1 1）、高齢者教示群（図 1 4、図 1 7）では 2 日目に閾値を決定できる。一方、高齢者非教示群（図 1 3、図 1 7）では、反応時間の教示を行っていないため、明らかなプラトーが現れず、応答操作の訓練完了の判断ができなかった。しかしながら、個別に被験者をみると、E 4（図 1 3）では若年成人のような安定した反応時間が得られたが、高齢者非教示群全体では、被験者間のバラツキが大きく、若年成人非教示群（図 7）と大きく異なっていた。E 2（図 1 3）に関しては、第 2 ブロックから反応時間が高めに安定しているが、2 日目の第 4 ブロックから反応時間が急激に短縮している。同様に正答率も上昇

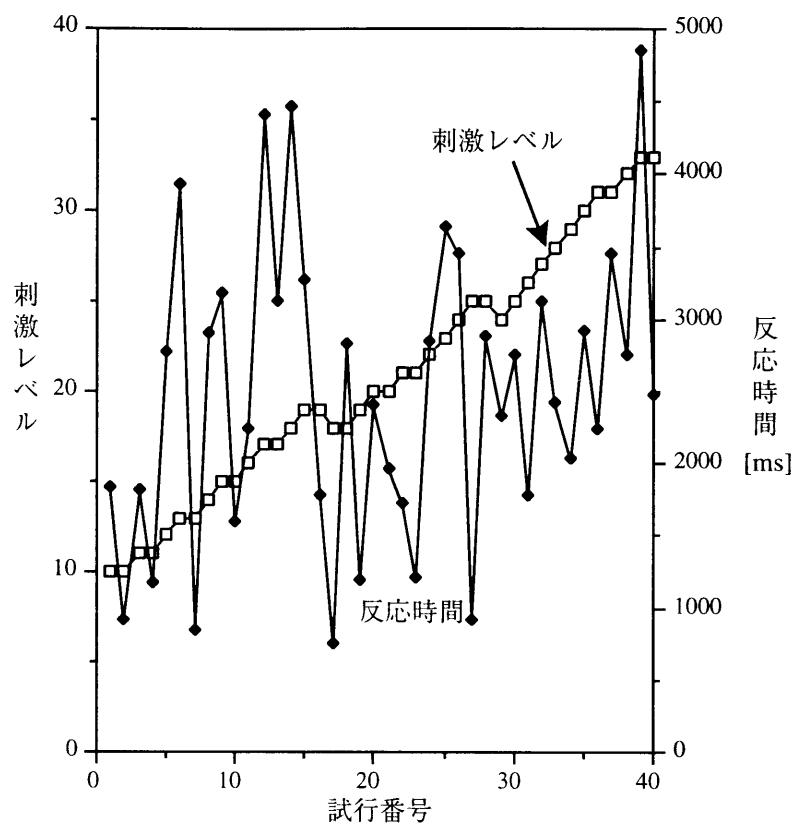


図 2.2 U D T R 法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（非教示群 E 5）。

ステップ幅＝1Hz、

刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。

している。周波数弁別閾も2日目から小さくなっているので、この時点でピッチ感覚のキューを獲得したのではないかと推測できる。

周波数弁別閾と平均正答率の関係をみると、高齢者および若年被験者で、正答率の上昇とともに周波数弁別閾が小さくなっている。正確さの測度としての正答率としては、当然のことであるが、正確に判断できるようになれば、弁別閾も小さくなるといえる。しかしながら、訓練に使う刺激対の周波数差の大きさの決定に関しては、被験者によってピッチ感覚の個人差があるので、その被験者にみあった周波数差の刺激を検者が与える。したがって、当然のことながら、いずれは正答率が100%に近づくように設定されている。このことは、低い正答率を示す被験者は、まだピッチ感覚のキューを獲得してないことを意味する。100%に近づいたとしても、十分に弁別できるであろう刺激対を訓練に使っているので、閾値付近の微細なキューを獲得するための訓練にはならないと考えられる。言い換えると、この訓練は、閾値を低下させるものではなく、周波数弁別に必要なピッチ感覚の必要条件を満足させるものであるといえる。

したがって、運動機能や認知機能の低下した被験者で、応答操作に困難なために正答率が低下しているのか、あるいは、弁別するに必要なピッチの感覚がないために正答率が低下しているのか分からない場合には、正答率とともに反応時間を測定することに大きな意味がある。

反応時間が長くなる要因として、意欲があげられる。意欲の低下とともに反応時間が長くなる¹²⁾。また、本研究に参加した被験者の中にはいなかったが、大きな肉体的疲労あるいは精神的疲労を持った被験者又は患者の場合は、訓練や測定を続けるうちに意欲を失い、注意力の低下等を引き起こす。したがって、素早い応答を求める教示の下では、反応時間が長くなるため、これから判断して、訓練や測定の中止や休憩、あるいは、延期等の決定の判断材料になると考えられる。特に臨床検査では、様々の身体的、精神的コンディションの患者が測定に参加する。この場合、反応時間を利用することにより、訓練過程における学習の評価だけでなく、測定中の被験者の心身コンディションや教示の効果を評価できるようになる。このため、訓練および測定中の被験者の内的情報処理過程が検者に客観的に把握でき、心身コンディションを推定するために必要な情報が今まで以上に検者に把握できるようになるといえる。

本研究の結果からは、周波数弁別閾測定の応答操作に慣れるには、未経験の若年成人被験者では1日内で、未経験高齢被験者では、2日間をみなくてはならないといえる。純音聴力検査のような一般的な検査では、検査に十分に慣れている被験者が多いといえるが、新しい高度な測定で閾値を決定するには、被験者の学習レベルを把握しておかなければならないことが示唆される。

一方、内観報告によれば、疲れている時の測定においては、一瞬応答が遅れたり、応答ボタンを押し忘れたりする事例が報告された。反応時間は、知覚時間、判断時間、運動時間によって構成されと考えられているが、実際の聴覚心理測定の場合では、素早い応答を求める教示を行った場合、知覚時間と運動時間は訓練後にはほぼ一定値になる。したがって、リアルタイムに得られる反応時間の変動は被験者の判断時間の変動を表わすといえる。課題に対する意識の集中度（意欲）や覚醒レベルは、知覚判断時間に影響を及ぼすと考えられるので、反応時間の大きさを見ることによって、これらをチェックすることにも応用できるといえる。さらに、正答率や反応時間をリアルタイムで被験者にフィードバックすれば、被験者の動機付けに効果がある²³⁾。これらのことから聴覚心理測定における反応時間の応用には、まだ多くの潜在的可能性があるといえる。

5.3 恒常法による周波数弁別閾測定

5.3.1 方法

5.3.1.1 被験者

19～20才の測定に未経験の若年成人女性5名だった。被験者の聴力は正常聴力で、聴力に関連する疾病を持たない者が参加した。すべての被験者には、測定の参加に対して謝金を支払った。

5.3.1.2 実験装置

実験は産業医科大学の防音室で行った。測定系のブロックダイアグラムは前章までと同様で、図1に示す。刺激は、RION AD-02ヘッドホンによって、1000Hz純音聴力が良い方の耳に呈示された。刺激音の音圧は80dB SPLとした。応答装

置の制御および被験者応答データ収集はRS232Cインターフェイスを介してコンピュータから行った。

5.3.1.3 手続き

恒常法を使った、1kHz、400 ms 正弦波に対する閾値を求める2IFC法による課題では、7レベル、ステップ幅1.0~3.0 Hz で実験を行った。回答後に、発光ダイオードの点滅によって被験者に対するフィードバックを行った。1レベルあたり20試行、合計140試行を1ブロックとして実験を行った。

被験者には、『正確に判断して下さい、そして、できるだけ素早くボタンを押して下さい。反応時間を測定しています。』と教示を与えた。ボタンは、右手人さし指だけで押すように指示した。実験に被験者が拘束される時間は、ほぼ60分程度で、2~4ブロックの周波数弁別閾測定からなった。

5.3.2 結果

図23には、1名の被験者の1ブロックの実験の正答率と反応時間の関係を例示した。周波数差が大きな試行ほど反応時間は短くなる傾向にあり、やさしい試行に対しての反応時間は短い、判断に迷う試行では反応時間が長くなるといえる。

正応答と、誤応答の反応時間の全ての回答に対する幾何平均を図24に示す。統計処理方法は2.6節に従った。正応答と、誤応答の反応時間のt検定の結果、有意差($p < 0.0001$)が見られた。

5.3.3 考察

ギルフォード著／秋重義治監訳「精神測定法」²⁴⁾における反応時間に関する記述を引用すると、Cattell (1887) や Henmon (1911) の報告について、『正しい判断は、間違った判断よりも短時間で済み、かつ変動が少ない。反応時間は、観測者の報告の確かさの程度につれて規則的に減少した。研究の動機は、ことば

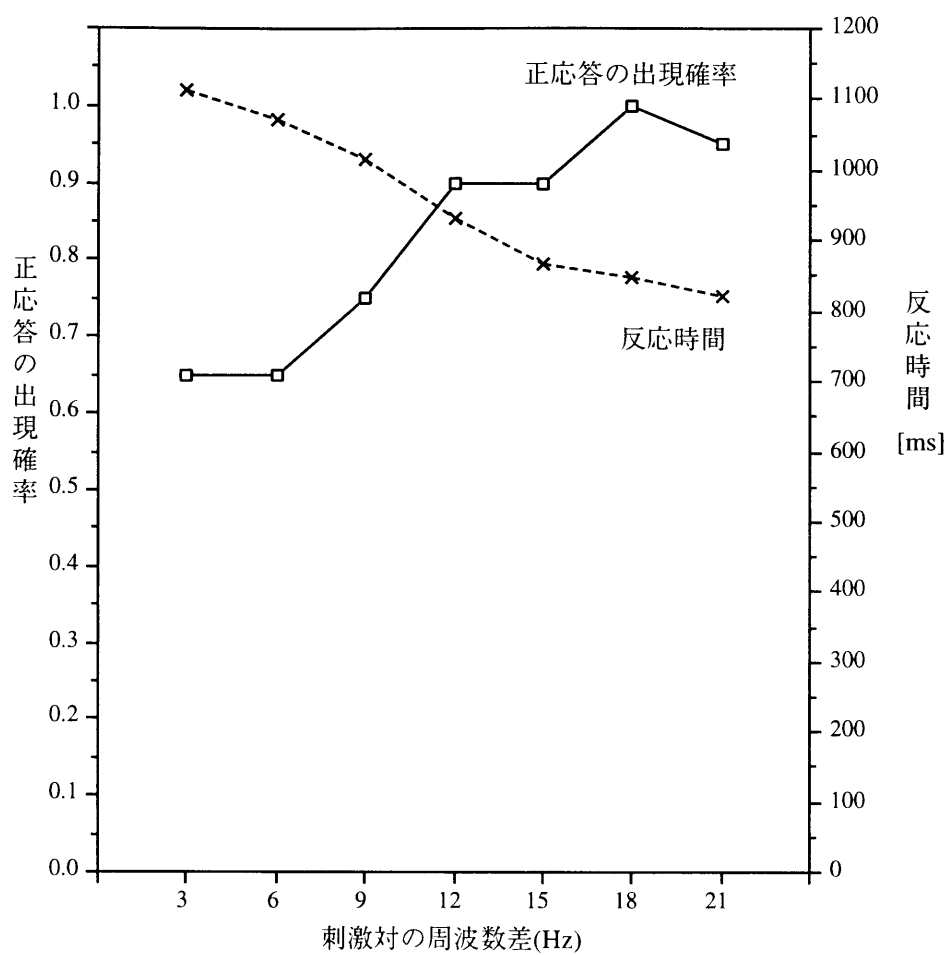


図 2 3 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 1）。

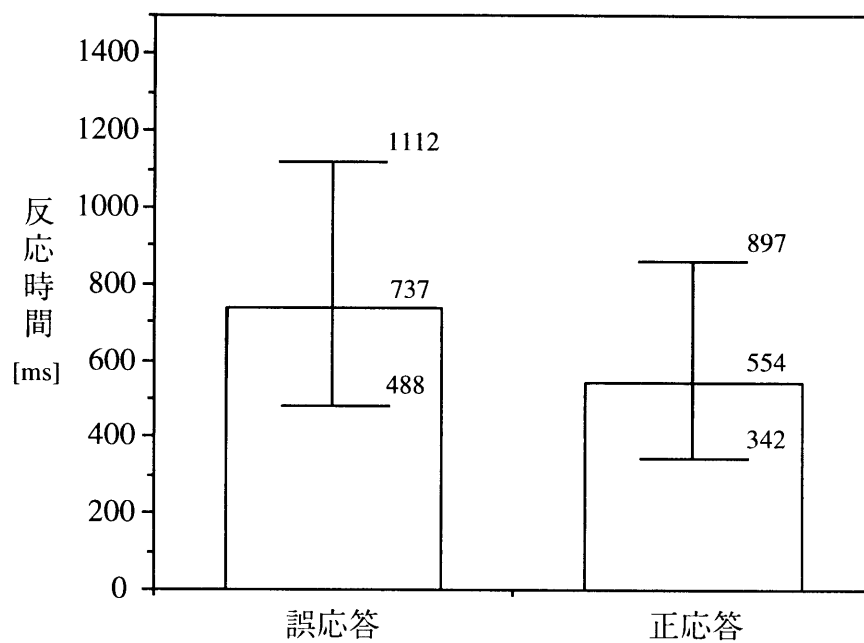


図 2 4 恒常法における全ての正応答と誤応答の平均反応時間とその標準偏差（2 群に $p < 0.0001$ で有意差あり）。図中の数値は、それぞれの値を示す。

で報告される観測者の判断に依存することを避けるために、観測された差についての純粹に客観的な指標を見いだすことにあったようだ』と述べている。この点については、図 2 3 に同様の結果が得られたが、本研究ではCattellやHenmonと異なり、精神測定関数を求めるために反応時間自体を変数として利用しようとは考えてはいない。あくまで、被験者の応答操作の学習や肉体的・精神的コンディションを把握し、効率良く実験を行うために検討している。

一方、ギルフォードは『確信と判断時間の関係』にも言及している。確信が高ければ、判断時間も短くて済むと、同時に、『判断の確信の程度と関連して、その仕事の主観的困難度がある。この両者は、非常に実質的に関係し、かつ一方が増せば他方が減少するという反対の関係にある』²⁵⁾。このことから、反応時間は、被験者の心的状態をも良く表わしているといえる。

付録 B には、各被験者の初回からのデータを示した。検者が閾値付近を 7 レベルの中央にくるようにステップ幅を変化させている。UDTR法では各刺激レベルの出現確率が一定でないが、恒常法では、設定したそれぞれの刺激レベルの刺激が等確率で出現する。したがって、刺激レベルと反応時間の関係が明確に表現できる。多くの閾値測定ブロックを繰り返さなくては、心理測定関数に近似できず、ここでは閾値はほとんど求まらない。しかし、個人差は大きい、反応時間と刺激レベルの関係が、判断の確信の程度と関連して変化することが分かる。

5.4 まとめ

第 4 章での訓練後に若年成人被験者と高齢被験者によって 1kHz の周波数弁別閾を測定した。その結果、

- 1) 周波数弁別閾は一般的には繰り返し測定することによって徐々に低下していくが、本研究でも 3 日間にわたって低下する傾向がみられた。
- 2) 反応時間がプラトーに達した時点は、応答操作の訓練が完了したと考えられる。その時点の周波数弁別閾には、「応答操作に問題はない」という確証が得られるため、その弁別閾の信頼性を増すことになるといえる。特に、臨床では、様々の身体的、精神的コンディションの患者が測定に参加するため、

測定回数が制限される。少ない測定回数の中で、測定値の信頼性を増すためにも、応答操作の訓練の完了を確認することは意味があるといえる。

- 3) 訓練および実際の周波数弁別閾測定中の反応時間は、被験者の課題に対する意識の集中度（意欲）や覚醒レベルを反映する。測定パラダイムに対応する基準値が必要ではあるが、反応時間で被験者の状態をモニターすることによって、休憩を与えたり、測定の中止や延期を決定する参考資料として応用が考えられる。
- 4) 素早い応答を要求する教示の下で、訓練の学習測度として反応時間を用いて訓練の完了を判定することによって、その弁別閾の信頼性を増すことができるため、採用されるべき閾値を取り始める時点を、応答操作訓練の完了後とすべきであると考えられる。

未経験若年成人被験者における周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、恒常法を用いて、素早い応答を求める教示の下で、訓練を行わないで測定した場合については、

- 5) 個人差は大きいですが、反応時間と刺激レベルの関係が、被験者が行う判断の確信の程度と関連して変化することが分かった。

第6章 臨床聴力検査への反応時間の応用に関する検討

第3章から第5章の一連の実験によって訓練の学習測度である反応時間の実態と意味、そして可能性を検討してきた。本章では、臨床聴力検査への反応時間の応用について検討する。

第1章でも述べたように、高齢者人口の増加に伴い、臨床においては、通常の聴力検査だけでなく、診断資料のパラメータを増やすため、あるいは、補聴器のフィッティングの精度を増すためにも、周波数分解能や時間特性、あるいは方向知覚などの聴覚心理測定が将来必要になると考えられる。また、臨床以外でも、聴覚研究のための聴覚心理測定では、高齢者を被験者とする測定を行う機会が増えるであろう。

臨床では、効率良く検査を行わないと、検査拒否にあたりする。患者の負担を軽くするためにも、効率良く閾値推定する必要がある。

これらの聴覚心理測定を行うには、測定手続きの複雑さ、手続きの標準化、人的ミスの軽減などのためにも、コンピュータを利用した測定が適していると考えられる。適応法はコンピュータを利用して、効率良く閾値を推定する方法であるが、臨床への適用には、効率が良く、精度も悪くないという点で有望だと考えられる。

伝統的な恒常法では、精神測定関数が求まり、聴覚心理測定としては洗練された方法であるが、時間がかかる点で臨床に適さない。適応法の中のUDTR法は広く使われている方法で、本研究ではこの方法を取りあげた。

コンピュータを利用する利点として次のことがあげられる。

- 1) 検査中に検者は、検査機器の操作に忙殺されることなく、被験者に注意を向けられる。
- 2) 測定内容が複雑になると、コンピュータ利用の方が人的間違いが少ない。
- 3) 測定後のデータ処理もコンピュータ上でそのまま行える。
- 4) データの加工や保存などの、後処理の自由度が高い。

検査技師は、患者の反応時間を見ながら検査を行うべきだとされている²⁾。コンピュータで反応時間の計測処理を行うことは難しいことではなく、計測された反応時間を処理し、検査技師に対して分かりやすく反応時間への注意を促すこと

が可能である。

一般の聴覚心理測定では、コンピュータを使った測定が多いが、以上のことを考えると、今後、臨床にもコンピュータを使用した測定の自動化が加速されていくと考えられる。臨床でのコンピュータ化は、従来の検査項目については今までの測定の様式を大きく変えないでも検査は可能である。反応時間の測定を加えることによって、機械の改造、あるいは更新が必要であるが、被験者の新たなパラメータを得ることができる。

反応時間を利用することにより、訓練過程における学習の評価だけでなく、測定中の患者の心身コンディションや教示の効果を評価できるようになる。このため、訓練および測定中の患者の内的情報処理過程が検者に客観的に把握でき、心身コンディションを推定するために必要な情報が今まで以上に検者に把握できるようになる。その結果、今まで検査できなかったような、より高度な聴覚心理測定が臨床検査として実現可能になるであろう。

さらに、反応時間を測るには、素早い応答を要求する教示を与えた方が、プラトーが分かりやすいという利点がある。同時に、このような教示を与えることによって、検査時間の短縮につながるという長所にもなる。

したがって、第5章で述べたように、応答操作の訓練が完了したと考えられる反応時間がプラトーに達した時点の周波数弁別閾には、「応答操作に問題はない」という確証が得られ、その弁別閾の信頼性を増すので、採用されるべき閾値を取り始める時点を、応答操作訓練の完了後とすべきであると考えられる。

一方、閾値測定の完了時をいつにするかが問題になるが、一般の聴覚研究では、閾値が安定し、再現性が高いと判断される時であると考えられる。具体的には、検者が定めた精度（範囲のような散布度）内に連続して一定回数納まる場合や、適応法では刺激レベルのパターンの類似性、恒常法では精神測定関数のあてはめの良さ²⁶⁾などがあげられるが、決定的な基準はなく、今後、そのような客観的な指標が望まれる。さらに、臨床の場合は、第1章で述べたように、一般の聴覚研究に較べて多くの制限がある。前述のように応答操作訓練の完了を確認すれば、その後、一般の聴覚研究と同じ基準で閾値測定を完了すれば良いであろう。時間に制限があったり、被験者の肉体的・精神的コンディションが悪ければ、その時点での閾値として採用せざるをえないであろう。しかしながら、現在まで、本研

究が示したような応答操作訓練の完了のような客観的な基準は存在しなかったことを考えると、「応答操作に問題はない」という確証が得られ、その閾値の信頼性を増す意味は大きいと考えられる。

本研究では、訓練において被験者が十分に弁別可能と考えられる刺激対を用いたが、実際には、丁度100%弁別可能な刺激を的確に予測して呈示することは不可能で、正答率もすぐには100%付近にならない場合もあった。内観報告によれば、2つの音のピッチが違うことが分かるが、どちらが高いかが分からない場合がある。このようにピッチ感覚がまだ心的に形成されていない場合には、どのような刺激レベルの刺激を与えても必ずしも正答率が上昇するとはいえないであろう。また、臨床では、若年成人だからといって必ずしも健聴者のデータから得られた十分に弁別可能であるという刺激レベルを与えるのが適切でない場合もある。これらのことを考慮して、将来の展望ではあるが、訓練をしながら、閾値推定に移行できるような訓練・測定法の可能性が示される。それは、適応的に刺激レベルを変えながら十分弁別可能な刺激を呈示して訓練を行い、反応時間を求めていく。常に十分弁別可能な刺激レベルを与えるために正答率は常に100%付近になるはずである。判定基準はパラダイム毎に求めなくてはならないが、反応時間がプラトーに達したと判定されるならば、応答操作の訓練が完了したことになる。この後は、知覚に対する訓練（すなわち、閾値を低下させる訓練）が自動的になされる。何パーセント閾値を推定するのかは検者によるが、適応法の刺激レベルの決定ルールを変更することによって、本測定に移行する。ただ、高齢者では、訓練完了まで多くの時間が必要であることが本研究の結果から予想できるので、訓練試行からそのまま、さらに時間のかかる本測定に移行できない場合もある。訓練された高齢者であればそのまま本測定に移行できるであろう。このように、本研究の結果を用いることにより、被験者の学習レベルを判定して効率的に聴覚心理測定を行う訓練・測定法を検討することが可能であるといえる。これは、将来の課題であろう。

以上より、より高度の聴覚心理測定を臨床検査で行う場合、応答操作の訓練完了を判定するために、訓練の学習測度として反応時間を用いるべきだといえる。

第7章 結論

聴覚心理測定に未経験の被験者、特に、認知機能、運動機能が低下し、個人差が大きな高齢者を効率良く訓練し、短時間で信頼性のある聴覚心理測定を行えるようにするには、測定方法の理解や応答機器の操作等の「応答操作」の訓練が必要である。そのためには検者が学習のレベルを把握するための客観的な学習測度が必要である。特に、臨床検査を想定すると、様々の肉体的・精神的コンディションの患者を対象にしなくてはならないため、精度重視の一般の聴覚研究と異なり、精度よりも検査のスピードが要求される。

本研究は、測定に未経験の若年成人・高齢被験者が、聴覚研究や臨床検査における聴覚心理測定に参加する場合、被験者が応答操作を理解したかどうかを訓練過程の中で見つけだす方法として、正答率だけでなく反応時間を学習測度として用いる方法の有効性を示し、さらに、実際の聴覚心理測定中の反応時間を計測することによって被験者の肉体的・精神的コンディションを推定する糸口を掴むことを目的とするものである。

具体的な聴覚心理測定として1kHz純音の周波数弁別閾測定を取り上げて検討した。訓練方法は、「1音刺激を検知したら素早く応答ボタンを押す」という単純な検知課題と、十分弁別可能と考えられる刺激対を呈示して、「初めの刺激のピッチが高ければ、スイッチボックスのボタン1を押し、2番目の刺激のピッチの方が高ければ、ボタン2を押させ、正答を被験者にフィードバックする」という周波数弁別課題の2種類の訓練を使用した。

また、周波数弁別閾測定を行い、同時に反応時間を測定し、検討を行った。

第3章では、訓練による学習測度として、正答率とともに反応時間を用い、測定に経験のある者と経験の無い若年成人の訓練過程においてどのような違いがあるか、正確で素早い応答を要求する教示の下で調べた。その結果、

- 1) 単純反応時間において、経験者の方が未経験者に比較して、有意に短かった。
- 2) 経験者の選択反応時間はすぐに短縮され、未経験者よりも学習が速いと考えられる。一方、未経験者は特に第1ブロックが長いが、すぐに学習がなされ、4ブロック目では、経験者と差がなくなってしまうといえた。

- 3) 若年成人においては、反応時間と正答率は、どちらもブロック間の差を表わせたが、正答率よりも反応時間の方が良く経験の違いを出せ、応答操作の学習測度としての反応時間の有効性を示すことができた。

第4章では、未経験被験者に対する周波数弁別閾測定のための訓練を若年成人と高齢者に対して行い、3日間にわたる訓練過程での正答率と反応時間の変化を正確で素早い応答を要求される教示群と、そうでない非教示群で検討した。その結果、

- 4) 応答操作の学習測度である反応時間については、若年成人では1日目の第2～3ブロックでプラトーに達し、訓練によって学習が完了したといえた。高齢者では2日目の第1ブロックで学習が完了したといえた。したがって、応答操作の学習測度として反応時間の使用が有効であるといえた。
- 5) 正確さの学習測度である正答率については、周波数弁別に必要な知覚判断処理が心的に形成されたと考えられる学習の完了は、若年成人では2日目、高齢者では3日目であった。
- 6) 反応時間で非教示群と教示群との間の違いが出た。教示群の反応時間は応答操作の学習のレベルが明確に出るため、学習の完了の判断が容易だった。
- 7) 正答率については、若年成人では1日目に非教示群と教示群との間に違いがみられたが、高齢者では3日間にわたって違いがみられなかった。
- 8) 正答率、反応時間の両方で、前日の学習結果と較べて次の日の結果に大きな悪化がないことから、前日の学習結果が次の日にも保持されている。このことは、高齢者の場合、数日間にわたる測定の方がむしろ好ましいと考えられる高齢者では、数日にわたって測定を行い、1日の負担を軽くすることも可能であることを示唆した。

第5章では、訓練後に若年成人被験者と高齢被験者によって1kHzの周波数弁別閾を測定した。その結果、

- 9) 周波数弁別閾は一般的には繰り返し測定することによって徐々に低下していくが、本研究でも3日間にわたって低下する傾向がみられた。
- 10) 反応時間がプラトーに達した時点は、応答操作の訓練が完了したと考えら

れる。その時点の周波数弁別閾には、「応答操作に問題はない」という確証が得られるため、その弁別閾の信頼性を増すことになるといえる。特に、臨床では、様々の身体的、精神的コンディションの患者が測定に参加するため、測定回数が制限される。少ない測定回数の中で、測定値の信頼性を増すためにも、応答操作の訓練の完了を確認することは意味があるといえる。

- 1 1) 訓練および実際の周波数弁別閾測定中の反応時間は、被験者の課題に対する意識の集中度（意欲）や覚醒レベルを反映する。測定パラダイムに対応する基準値が必要ではあるが、反応時間で被験者の状態をモニターすることによって、休憩を与えたり、測定の中止や延期を決定する参考資料として応用が考えられる。
- 1 2) 素早い応答を要求する教示の下で、訓練の学習測度として反応時間を用いて訓練の完了を判定することによって、その弁別閾の信頼性を増すことができるため、採用されるべき閾値を取り始める時点を、応答操作訓練の完了後とすべきであると考えられる。

さらに、未経験若年成人被験者における周波数弁別閾測定中の刺激レベルと反応時間の関係を調べるために、恒常法を用いて、素早い応答を求める教示の下で、訓練を行わないで測定した場合については、

- 1 3) 個人差は大きいですが、反応時間と刺激レベルの関係が、被験者が行う判断の確信の程度と関連して変化することが分かった。

第6章では、これからの臨床聴覚検査に関する議論を行い、その結果、

- 1 4) より高度の聴覚心理測定を臨床検査で行う場合、応答操作の訓練完了を判定するために、訓練の学習測度として反応時間を用いるべきであることを提案した。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、津村尚志教授には、多くの有益な御助言だけでなく、暖かい励ましの言葉を頂きました。心から御礼を申し上げます。また、研究室の多くの方々からも、ディスカッションを通して多くの刺激を与えてくださったことに感謝致します。

参考文献

- 1) 下田雄丈：老年者における聴覚の研究。日本耳鼻咽喉科学会誌 98：1426-1439、1995.
- 2) 服部浩：基本的聴覚検査マニュアル、金芳堂、p7-11、1994.
- 3) 下中弘編集：新版 心理学事典、平凡社、87-88、1981.
- 4) Lachman R, Lachman JL and Butterfield EC (箱田裕司、鈴木光太郎監訳)：認知心理学と人間の情報処理 I—情報処理パラダイム—、サイエンス社、177-245、1988.
- 5) Welford AT：Reaction times、Academic Press、1980.
- 6) Luce RD：Response Times.、Oxford University Press、New York、1986.
- 7) 高岡佳弘：聴覚の反応時間測定法に関する研究、日本耳鼻咽喉科学会会報、93：746-755、1990.
- 8) 中村敏枝：レベル変化音に対する聴覚パーシュート・トラッキング、人間工学、16：335-341、1980.
- 9) 谷口高士：2 純音による同時的音程の弁別に対する楽器経験の影響、心理学研究、60(3)：148-155、1989.
- 10) 宮崎謙一、石井玲子、大串健吾：絶対音感を持つ音楽専攻学生によるメロディの認知、日本音響学会誌、50(10)：780-788、1994.
- 11) 佐藤方彦 監修：人間工学基準数値数式便覧、技報堂出版株式会社、163-165、1992.
- 12) Morgan et al. (近藤武ほか7名訳)：人間工学データブック、コロナ社、186-192、1972.
- 13) 日本音響学会、音響用語辞典、p.143、コロナ社、
- 14) 津村尚志：最近の聴覚心理実験における新しい測定法、日本音響学会誌 40：45-51、1984.
- 15) 津村尚志：聴覚実験における計量心理学の応用、日本音響学会誌 42：801-805、1986.
- 16) 津村尚志：聴覚心理測定法の最近の動向、日本音響学会誌 47：363-366、

1991.

17) Wetherill GB and Levitt H : Sequential estimation of points on a psychometric function. Br. J. Math. Stat. Psychol. 18:1-10、1965.

18) Levitt H : Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics. The Journal of the Acoustical Society of America 49:467-477、1971

19) 日本音響学会、音響用語辞典、p.178、コロナ社、

20) 下中弘編集：新版 心理学事典、平凡社、10-11、1981.

21) 下中弘編集：新版 心理学事典、平凡社、710-711、1981.

22) 森敏昭、吉田寿夫 編著：心理学のためのデータ解析テクニカルブック、北大路書房、36-42、1990.

23) Luce RD : Response Times. p.57、Oxford University Press、New York、1986.

24) Guilford JP (秋重義治監訳) : 精神測定法、培風館、177-178、1959.

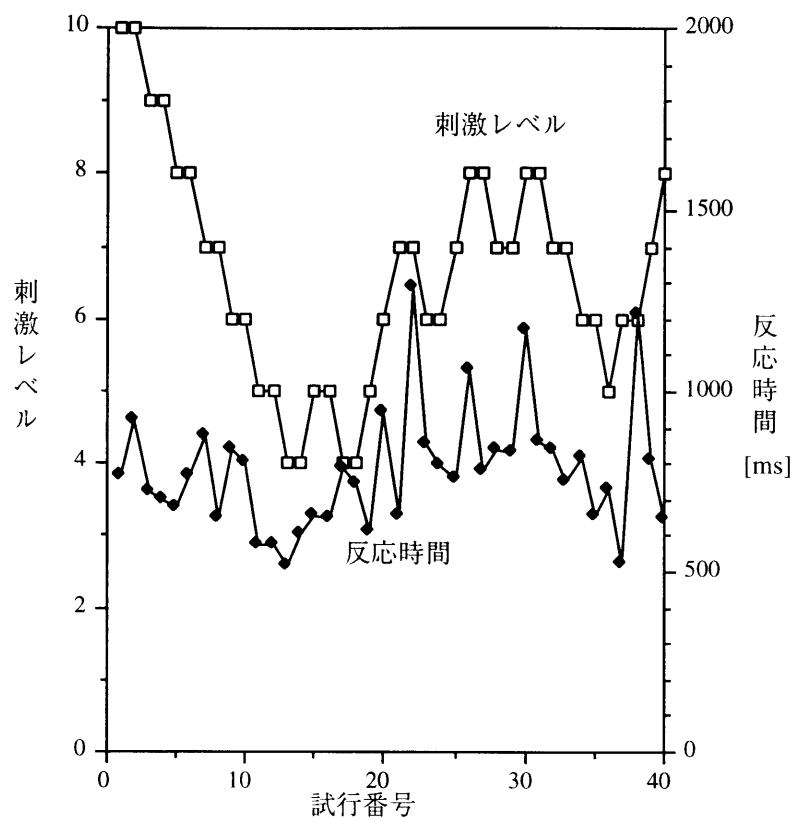
25) Guilford JP (秋重義治監訳) : 精神測定法、培風館、381-383、1959.

26) 難波精一郎、桑野園子：音の評価のための心理学的測定法、p.40、コロナ社、1998.

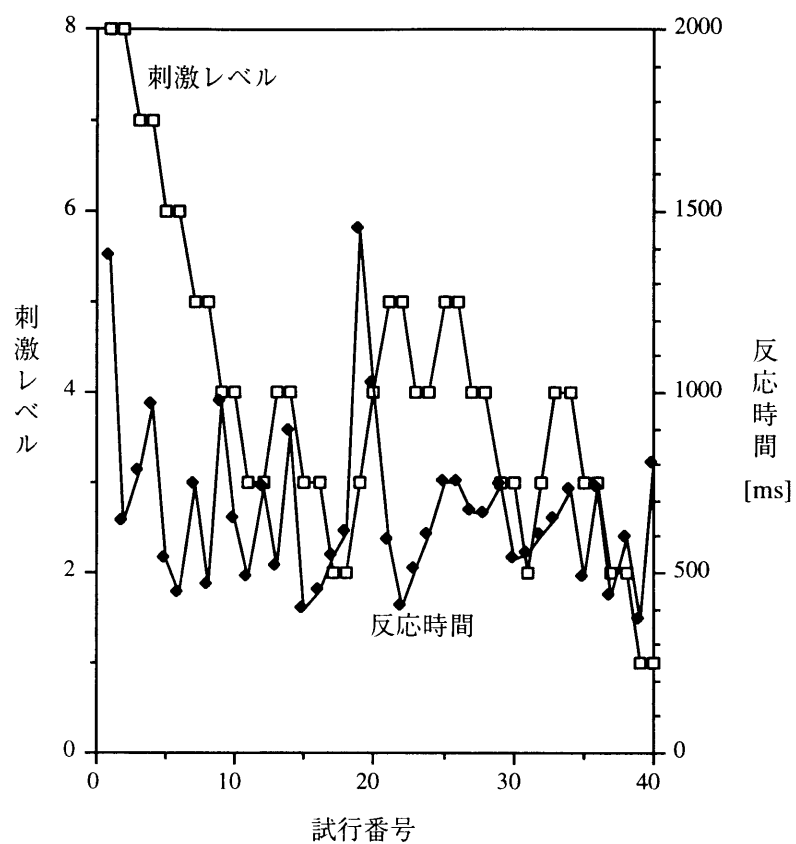
付録A U D T R 法による刺激レベルと反応時間の変化

5.2節におけるUDTR法によって周波数弁別閾を決定した被験者のブロックについて刺激レベルと反応時間の変化を、若年成人被験者と高齢被験者の非教示群と教示群について1名ずつ3日間にわたる変化を示した。以下に、図の詳細を示す。

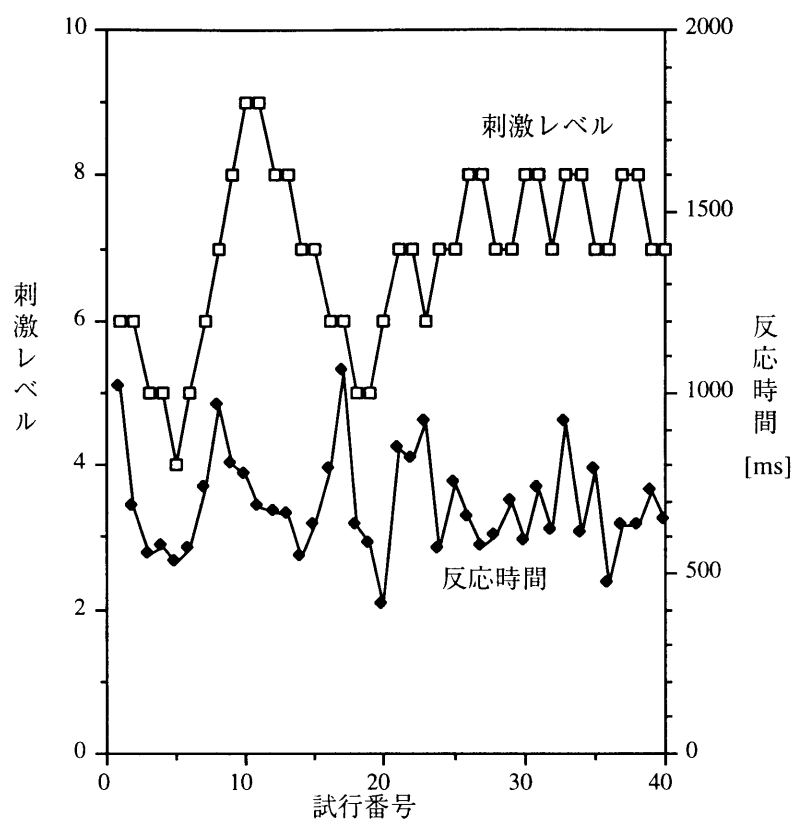
図番号	測定日	被験者	教示・非教示群	ステップ幅(Hz)
図A 1	1日目	若年成人Y 3	非教示	0.25
図A 2	2日目	若年成人Y 3	非教示	0.50
図A 3	3日目	若年成人Y 3	非教示	0.20
図A 4	1日目	若年成人Y 8	教示	1.00
図A 5	2日目	若年成人Y 8	教示	0.50
図A 6	3日目	若年成人Y 8	教示	0.50
図A 7	1日目	高齢者E 3	非教示	10.00
図A 8	2日目	高齢者E 3	非教示	2.00
図A 9	3日目	高齢者E 3	非教示	3.00
図A 10	1日目	高齢者E 9	教示	10.00
図A 11	2日目	高齢者E 9	教示	5.00
図A 12	3日目	高齢者E 9	教示	2.00



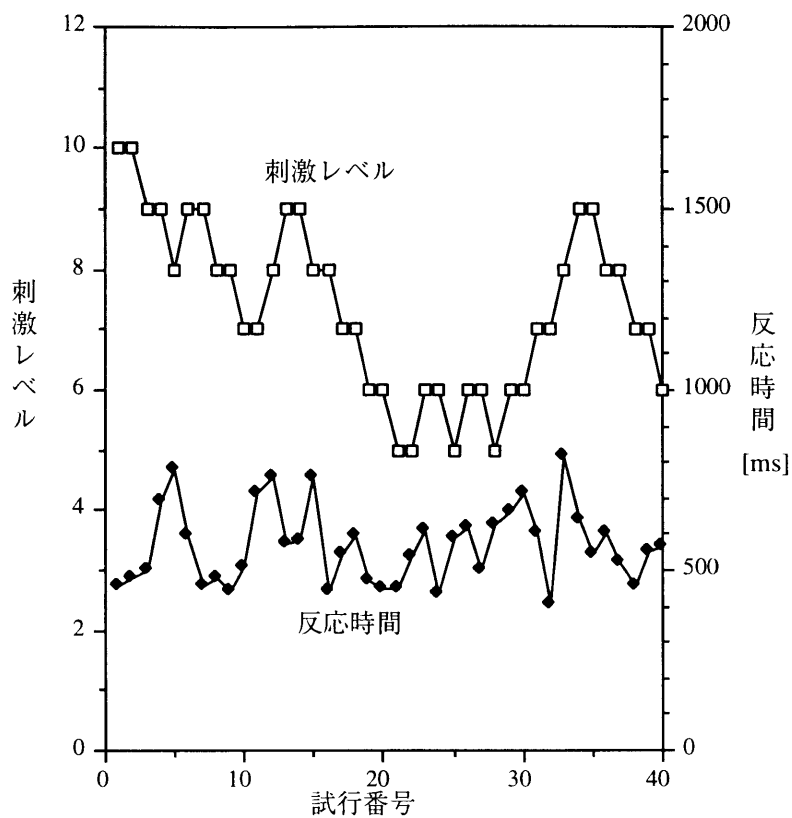
図A 1 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（非教示群若年成人、Y 3）。
1 日目。ステップ幅＝0.25Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。



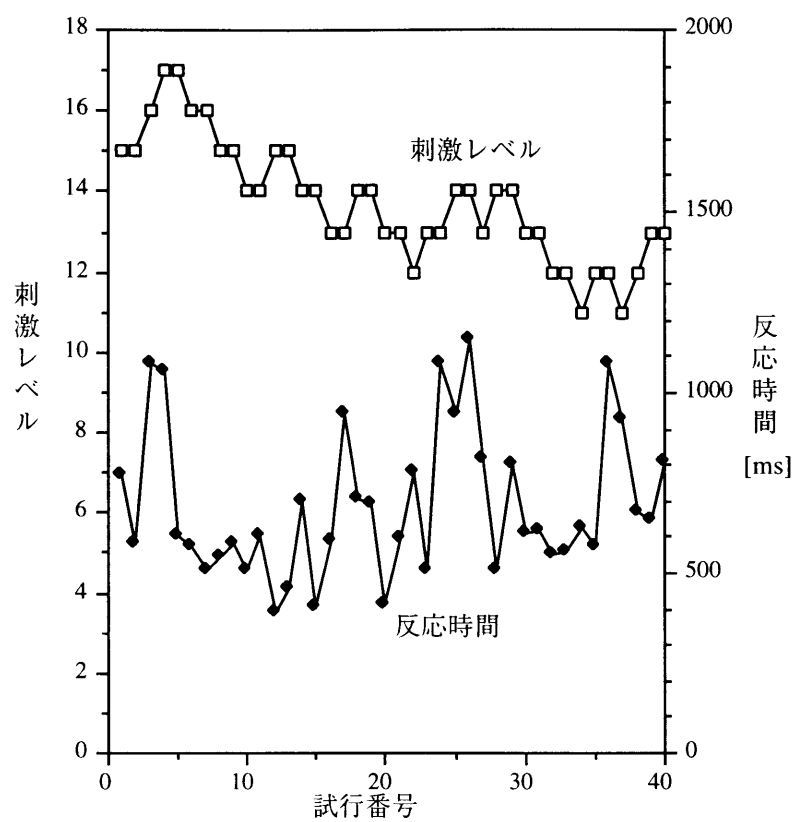
図A2 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（非教示群若年成人、Y3）。
 2日目。ステップ幅＝0.5Hz、
 刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。



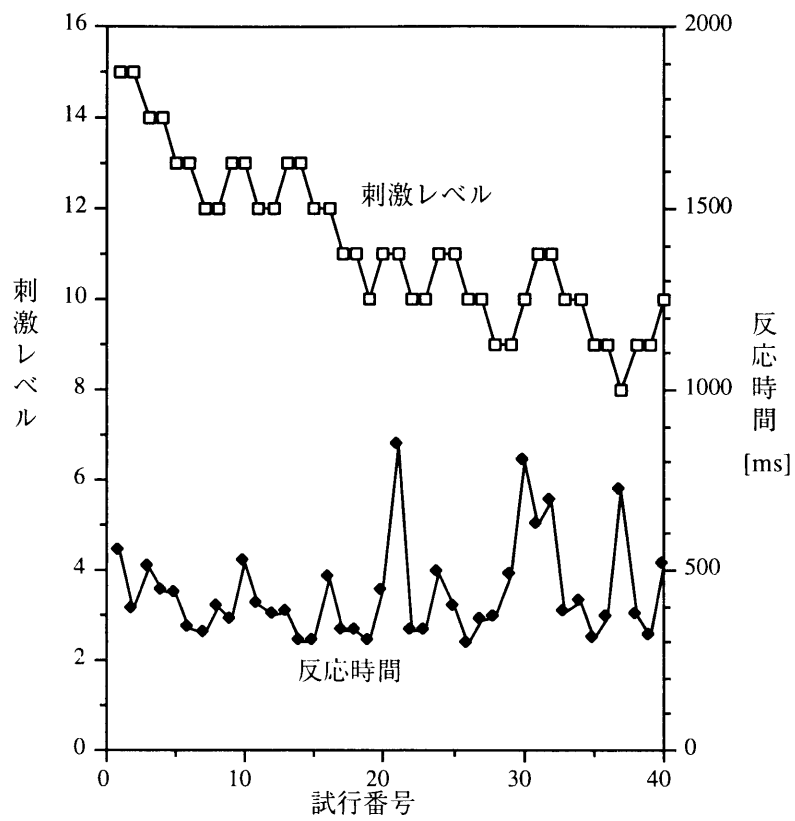
図A3 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（非教示群若年成人、Y3）。
3日目。ステップ幅＝0.20Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。



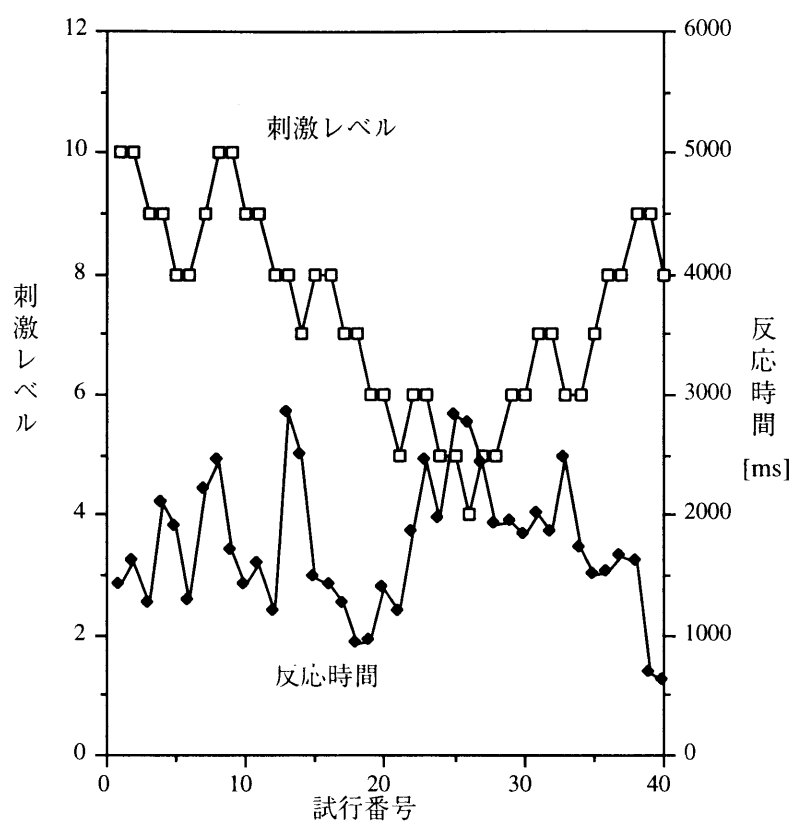
図A 4 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（教示群若年成人、Y 8）。
1日目。ステップ幅＝1.00Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。



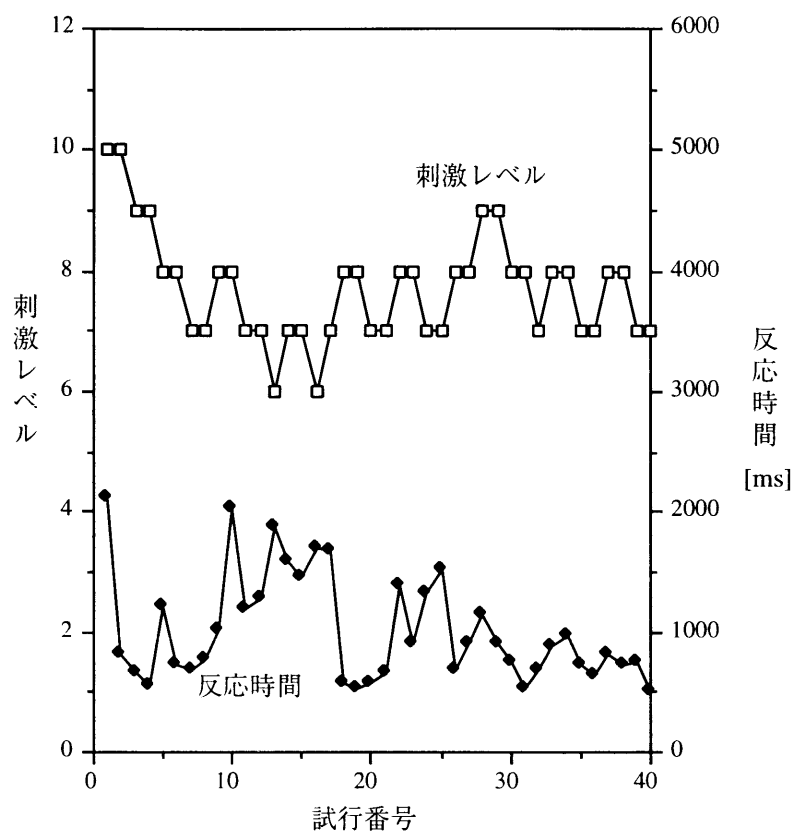
図A 5 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（教示群若年成人、Y 8）。
 2日目。ステップ幅=0.50Hz、
 $\text{刺激対周波数差(Hz)} = \text{刺激レベル} \times \text{ステップ幅}$ 。



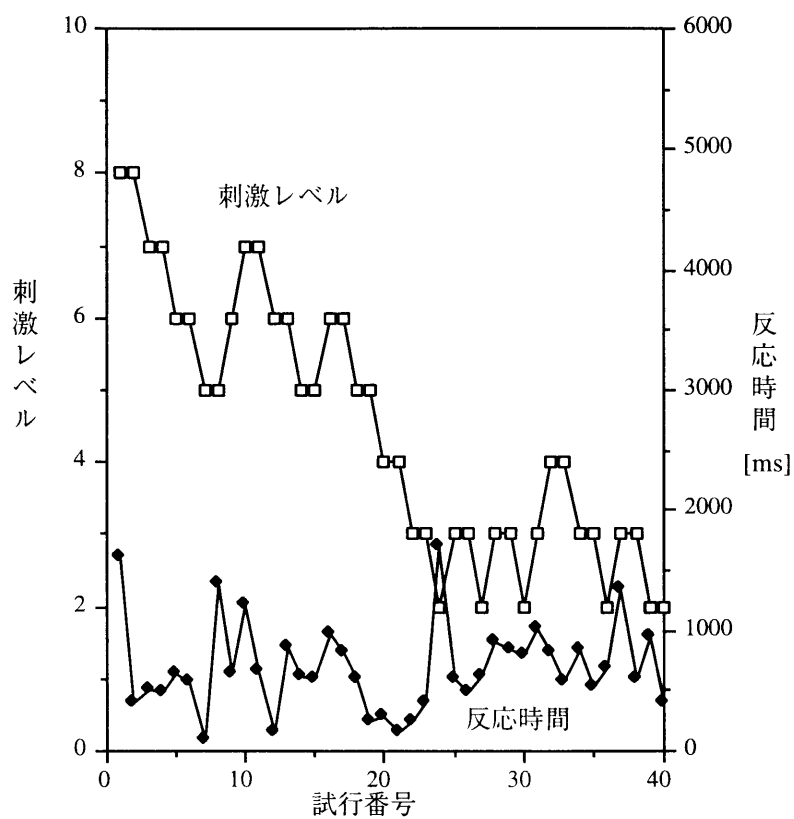
図A 6 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（教示群若年成人、Y 8）。
3日目。ステップ幅＝0.50Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。



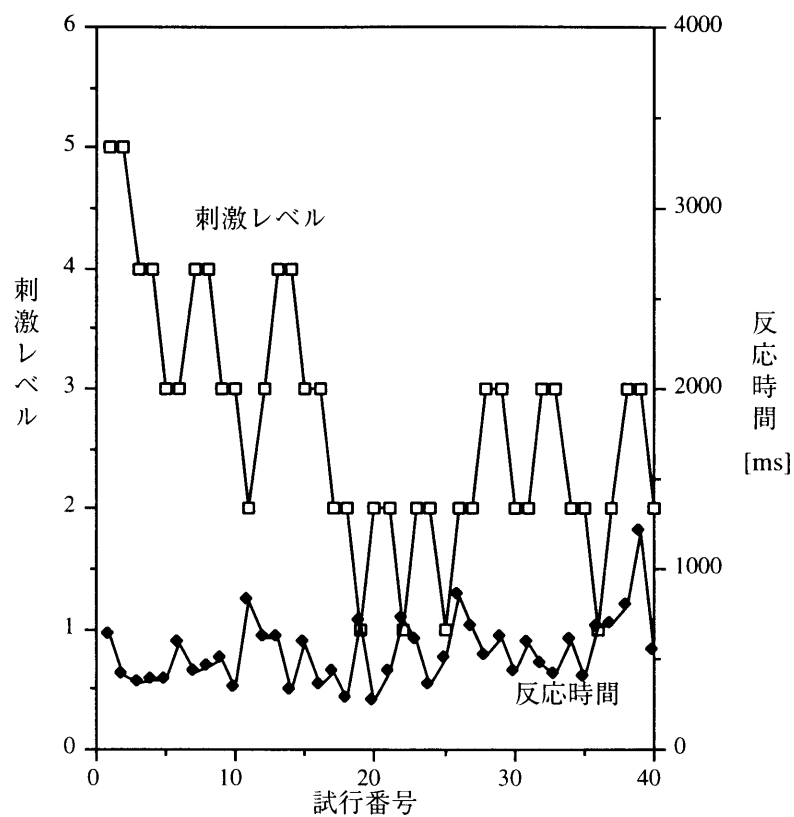
図A7 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（非教示群高齢者、E3）。
 1日目。ステップ幅=10.00Hz、
 $\text{刺激対周波数差(Hz)} = \text{刺激レベル} \times \text{ステップ幅}$ 。



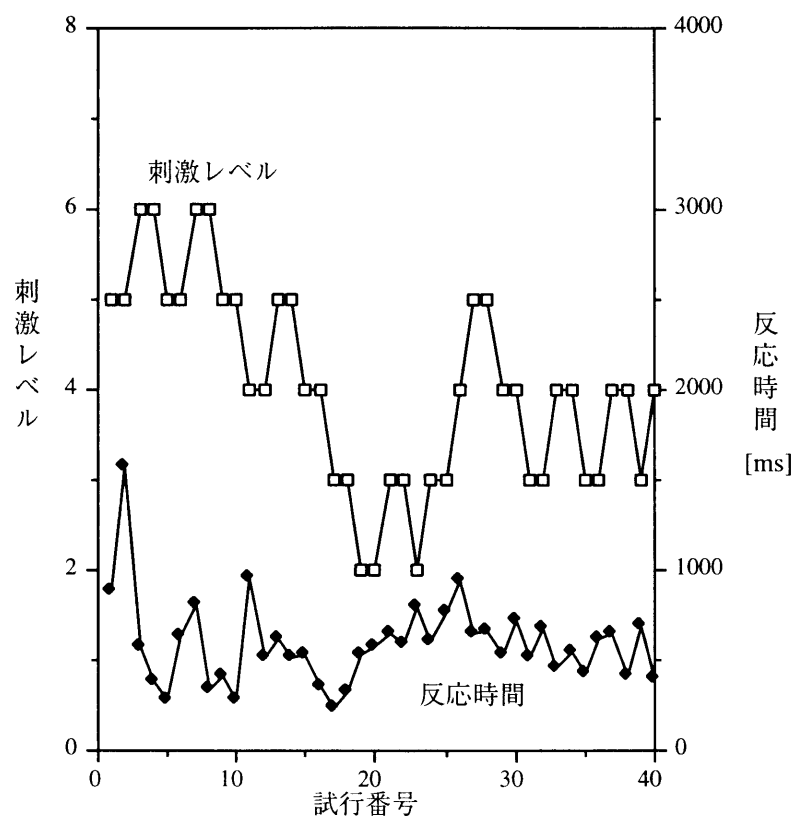
図A 8 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（非教示群高齢者、E 3）。
2日目。ステップ幅=2.00Hz、
刺激対周波数差(Hz)=刺激レベル×ステップ幅。



図A9 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（非教示群高齢者、E3）。
 3日目。ステップ幅＝3.00Hz、
 刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。

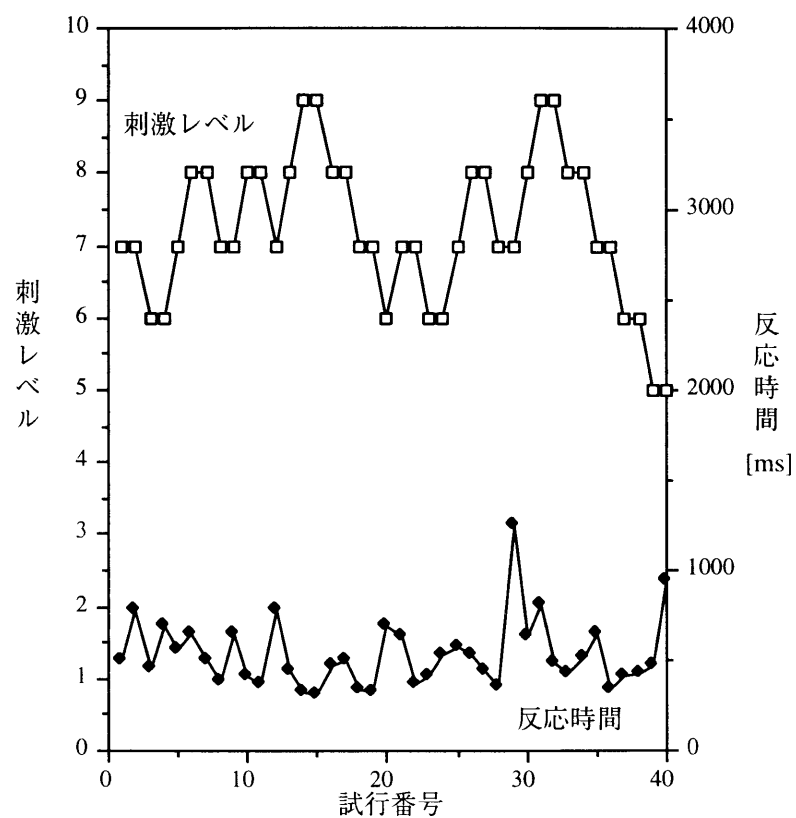


図A 1 0 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（教示群高齢者、E 9）。
1日目。ステップ幅=10.00Hz、
刺激対周波数差(Hz)=刺激レベル×ステップ幅。



図A11 UDR法による周波数弁別閾測定における反応時間と刺激レベルの変化の例（教示群高齢者、E9）。

2日目。ステップ幅=5.00Hz、
 刺激対周波数差(Hz)=刺激レベル×ステップ幅。



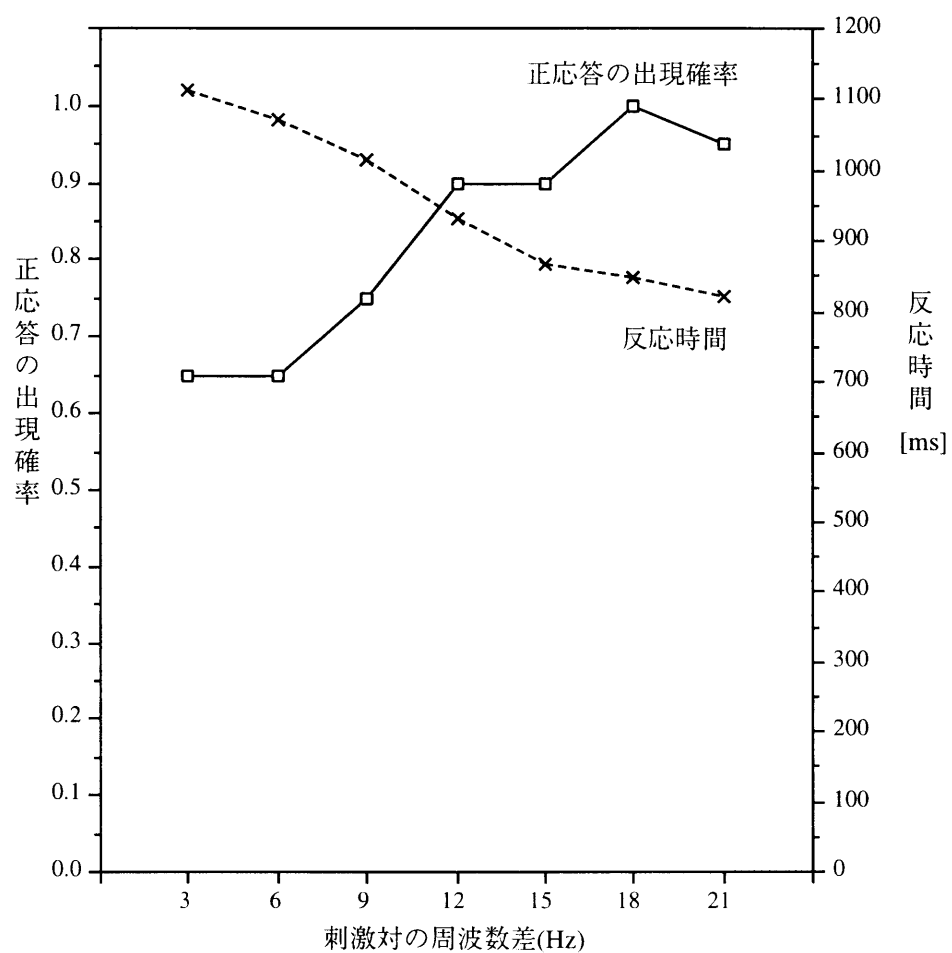
図A 1 2 U D T R法による周波数弁別閾測定における反応時間
と刺激レベルの変化の例（教示群高齢者、E 9）。
3日目。ステップ幅＝2.00Hz、
刺激対周波数差(Hz)＝刺激レベル×ステップ幅。

付録B 恒常法による刺激レベルと反応時間の変化

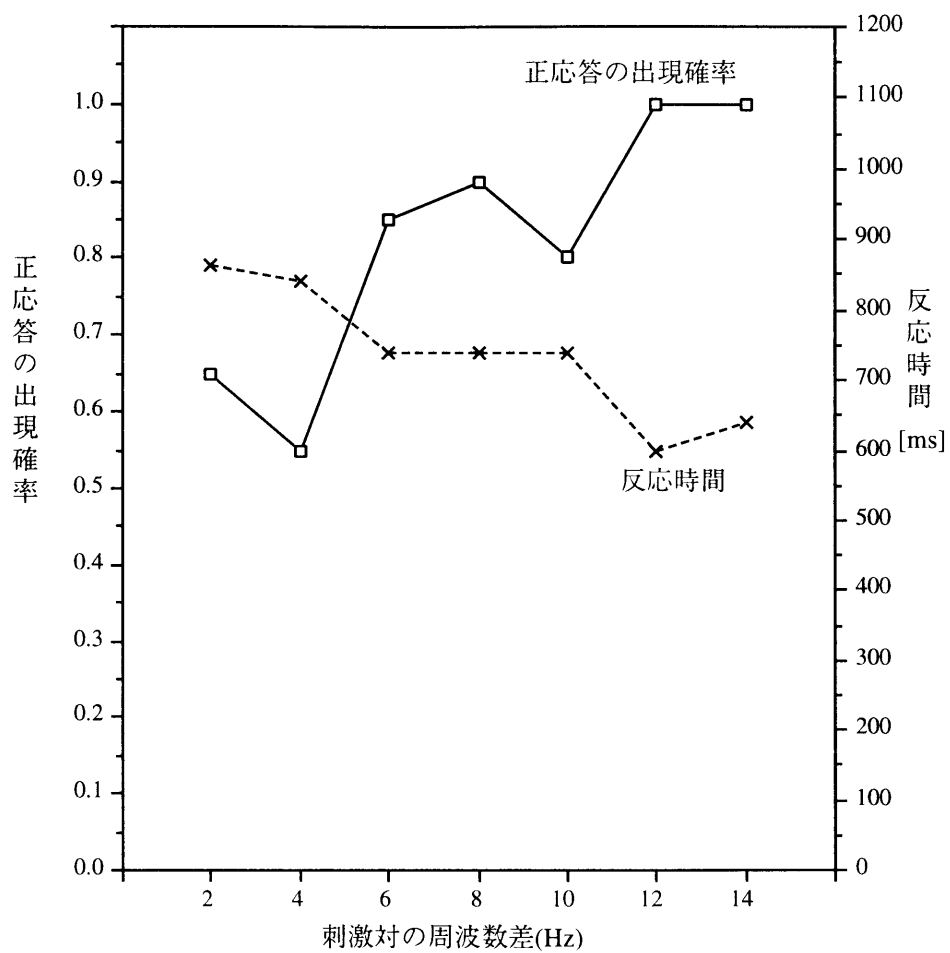
5.3節の恒常法によって、測定に未経験で、刺激音を検知する課題による訓練のみを行った被験者の、刺激対の周波数差（刺激レベル）に対応する反応時間と、正応答の出現確率を順にプロットしたものである。弁別閾を求めるにはまだ信頼性の高いデータは出ていないが、測定に慣れていく様子が分かる。

以下に、図の詳細を示す。

図番号	被験者	測定番号
図B 1	C 1	1
図B 2	C 1	2
図B 3	C 1	3
図B 4	C 1	4
図B 5	C 2	1
図B 6	C 2	2
図B 7	C 2	3
図B 8	C 2	4
図B 9	C 3	1
図B 1 0	C 3	2
図B 1 1	C 3	3
図B 1 2	C 3	4
図B 1 3	C 4	1
図B 1 4	C 4	2
図B 1 5	C 4	3
図B 1 6	C 5	1
図B 1 7	C 5	2
図B 1 8	C 5	3
図B 1 9	C 6	1
図B 2 0	C 6	2
図B 2 1	C 6	3
図B 2 2	C 6	4



図B 1 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 1）。1回目。



図B 2 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 1）。2回目。

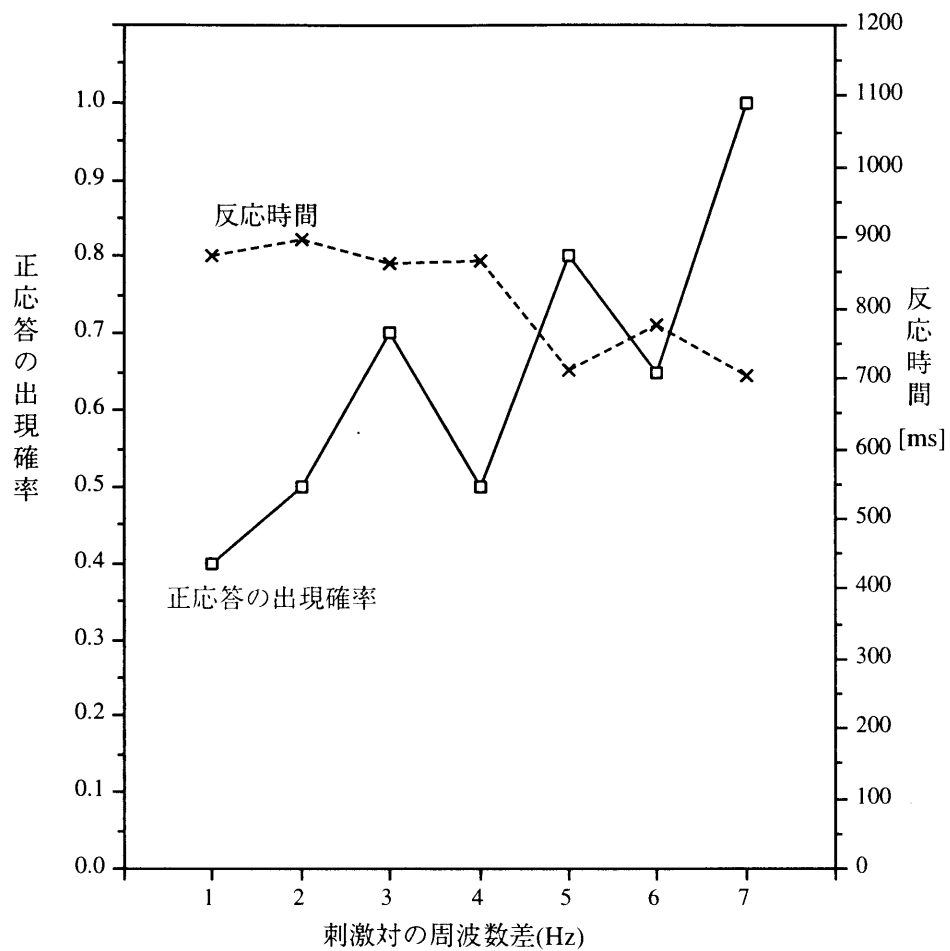
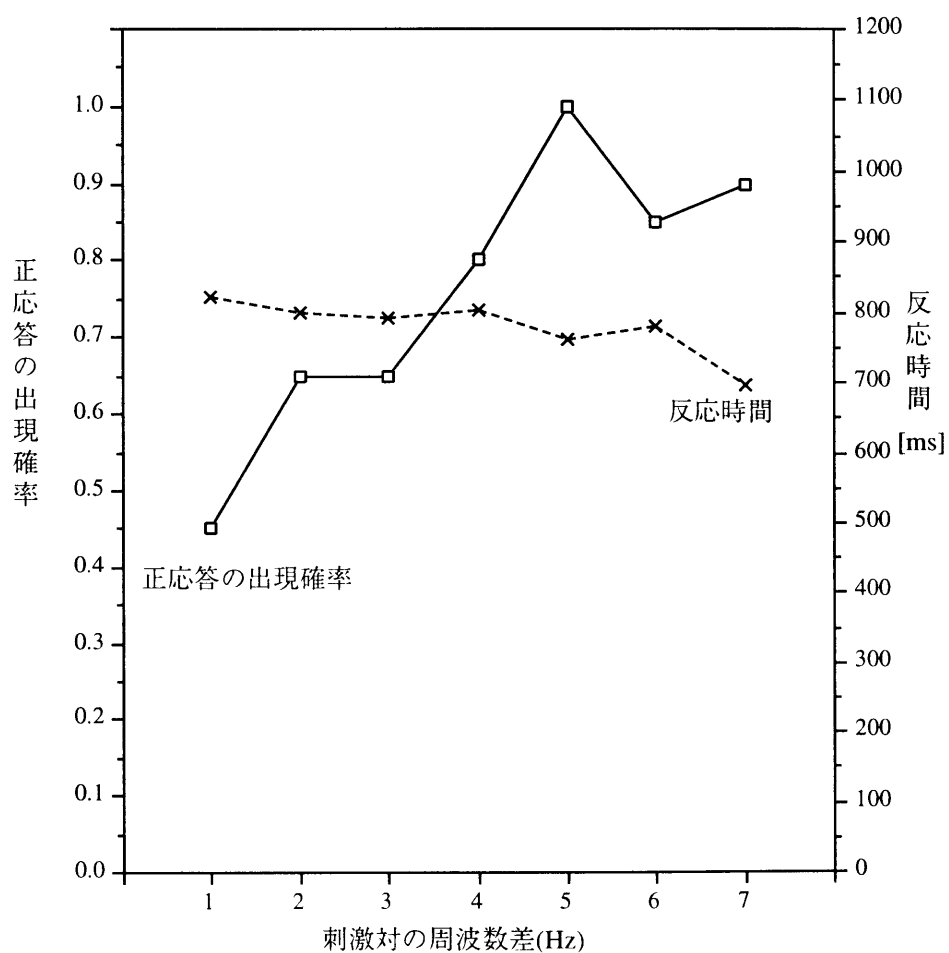
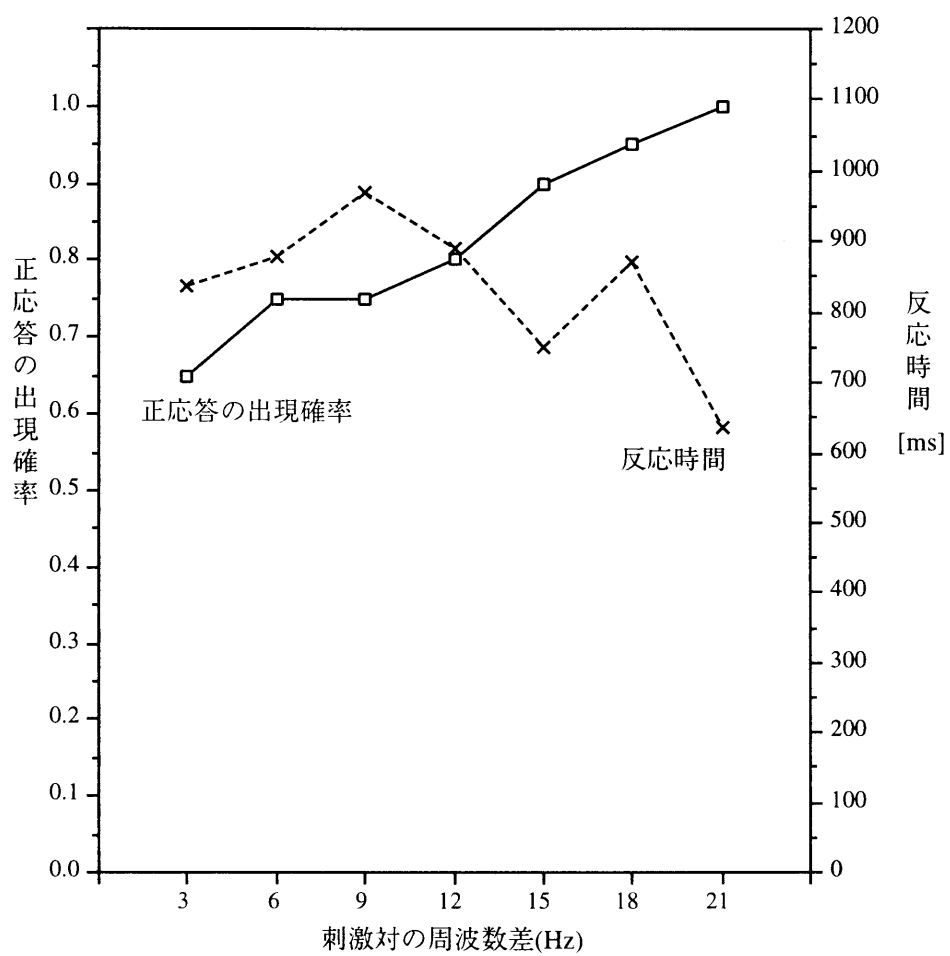


図 B 3 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差 (=刺激レベル) に対応する反応時間と正応答の出現確率 (被験者 C 1) 。 3 回目。



図B 4 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 1）。4 回目。



図B 5 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 2）。1回目。

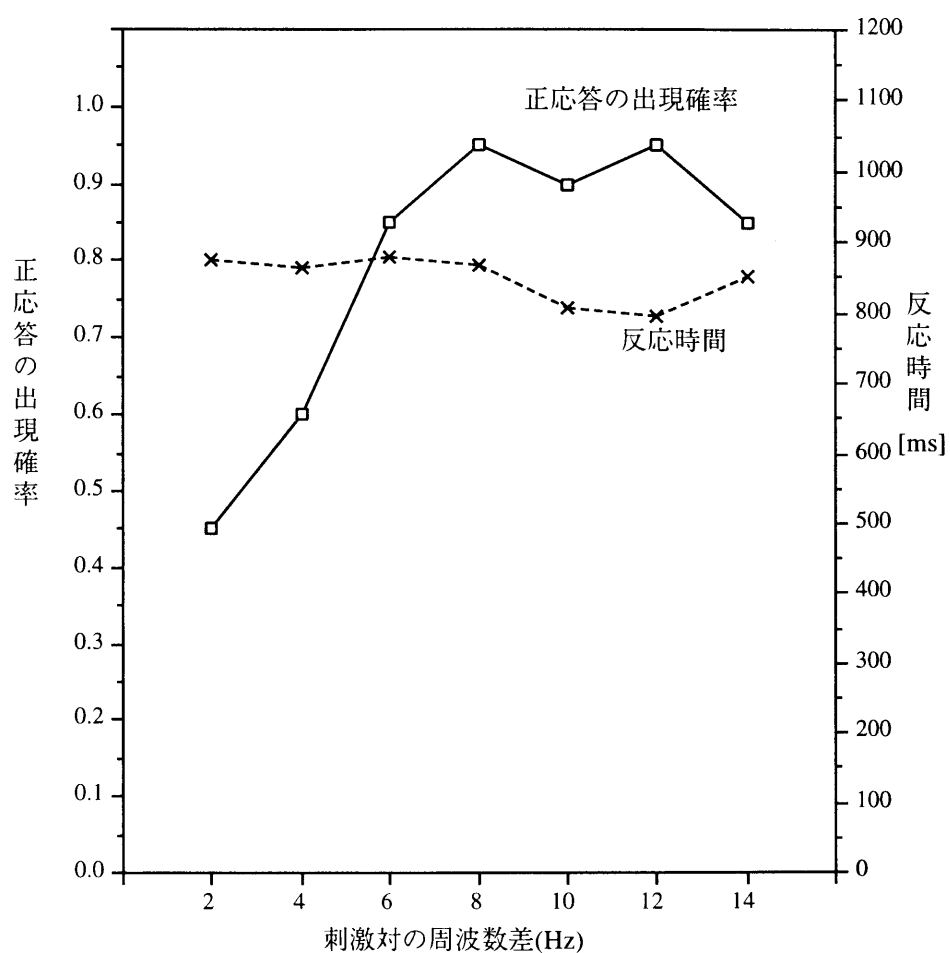
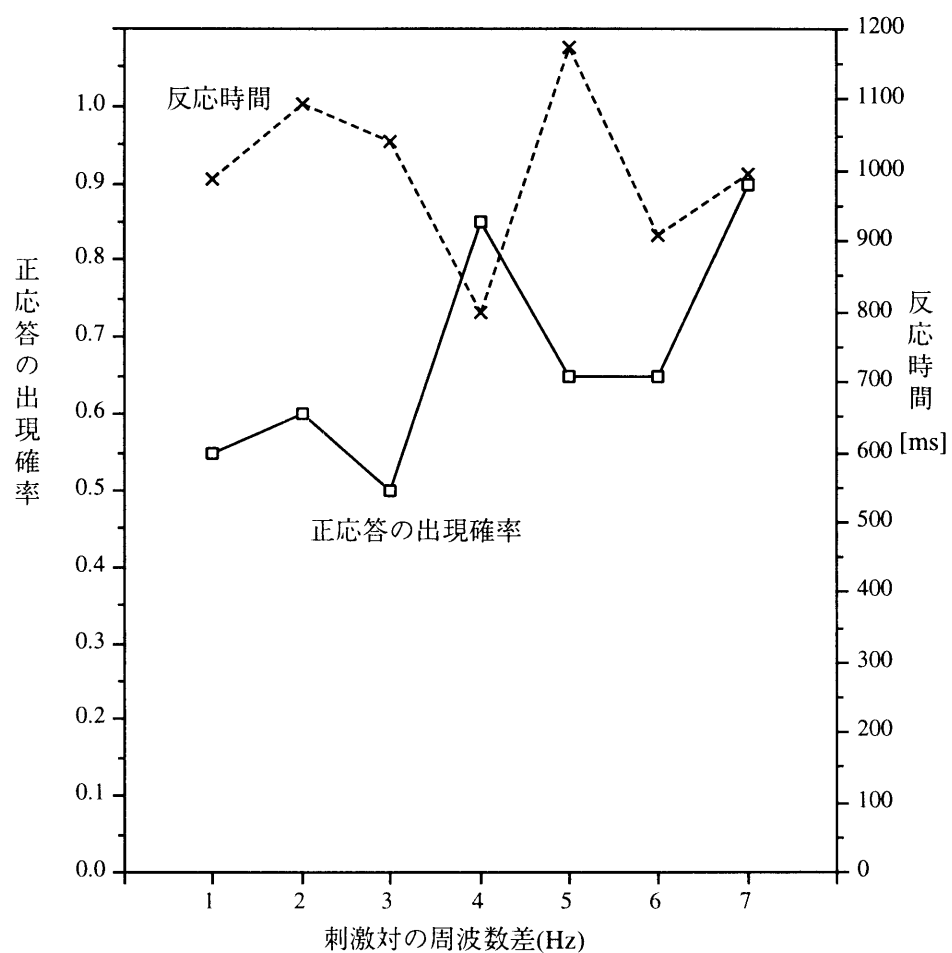


図 B 6 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 2）。2 回目。



図B 7 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 2）。3回目。

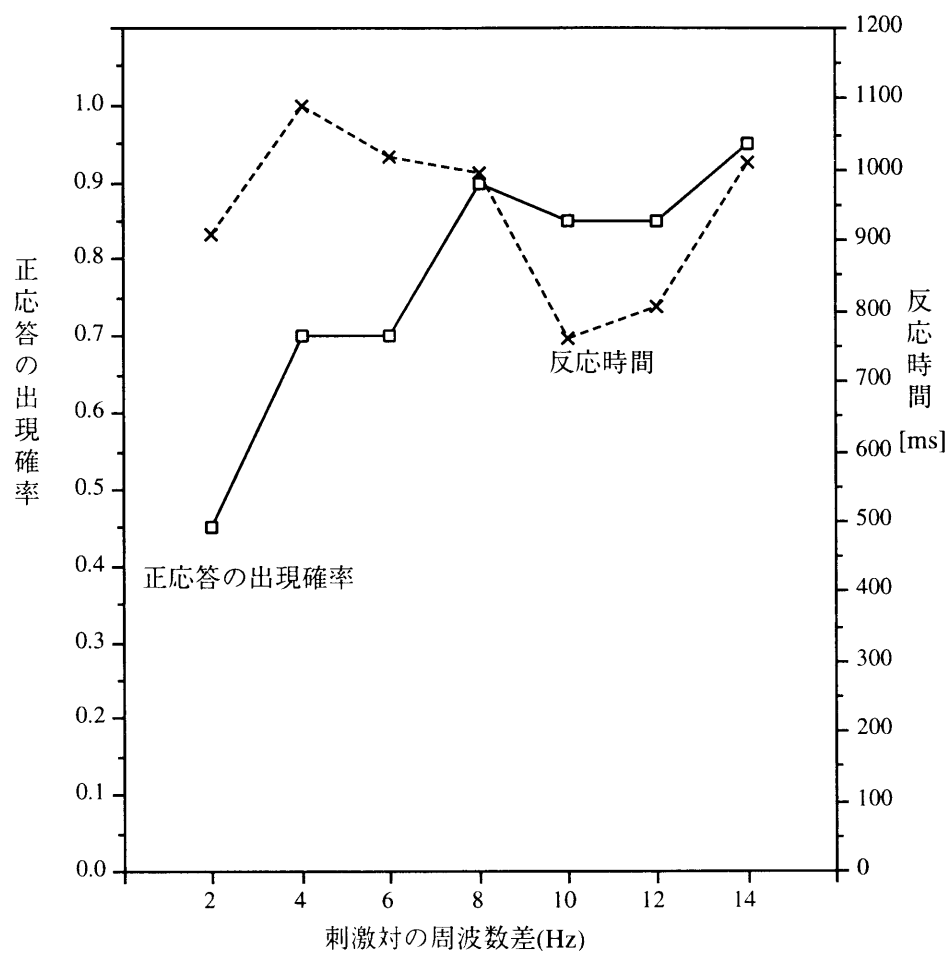
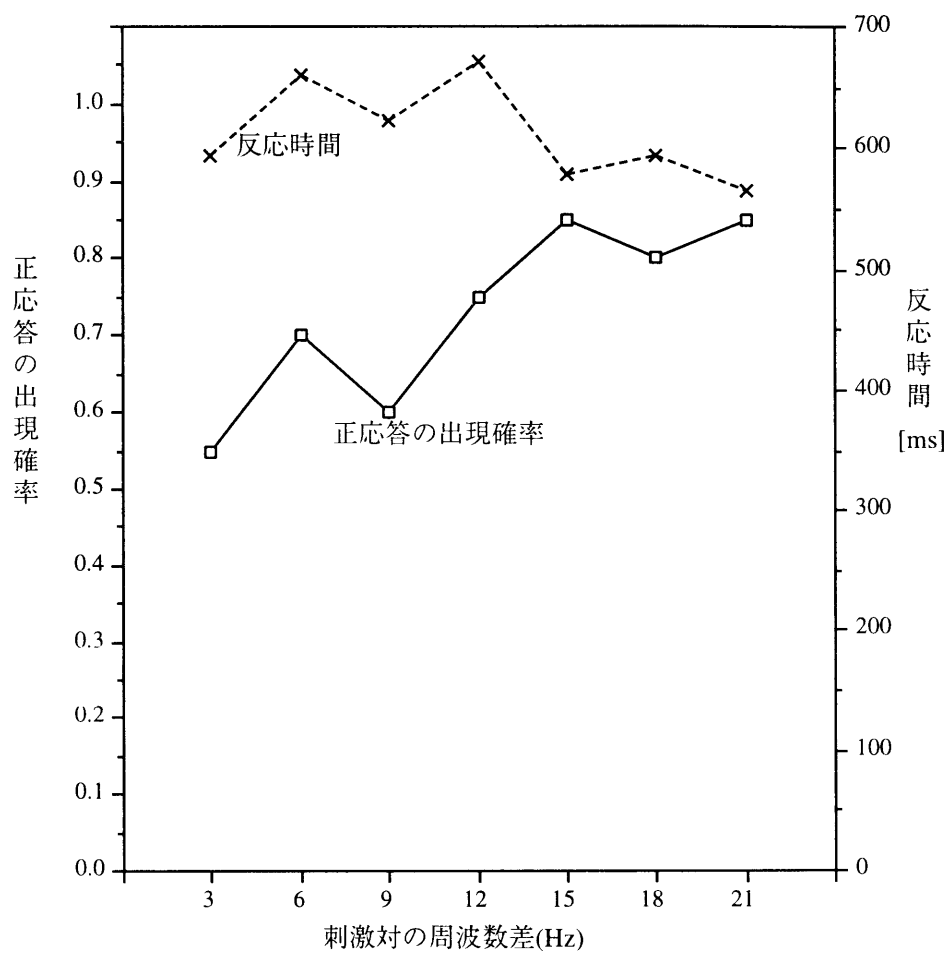
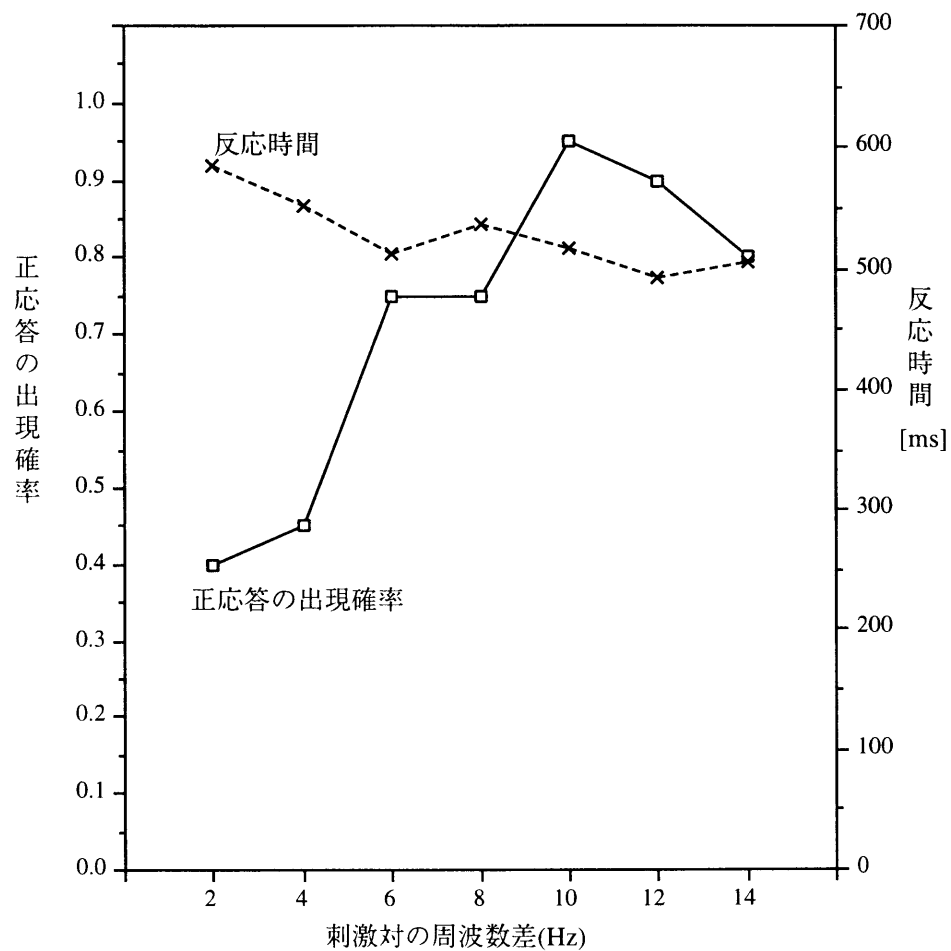


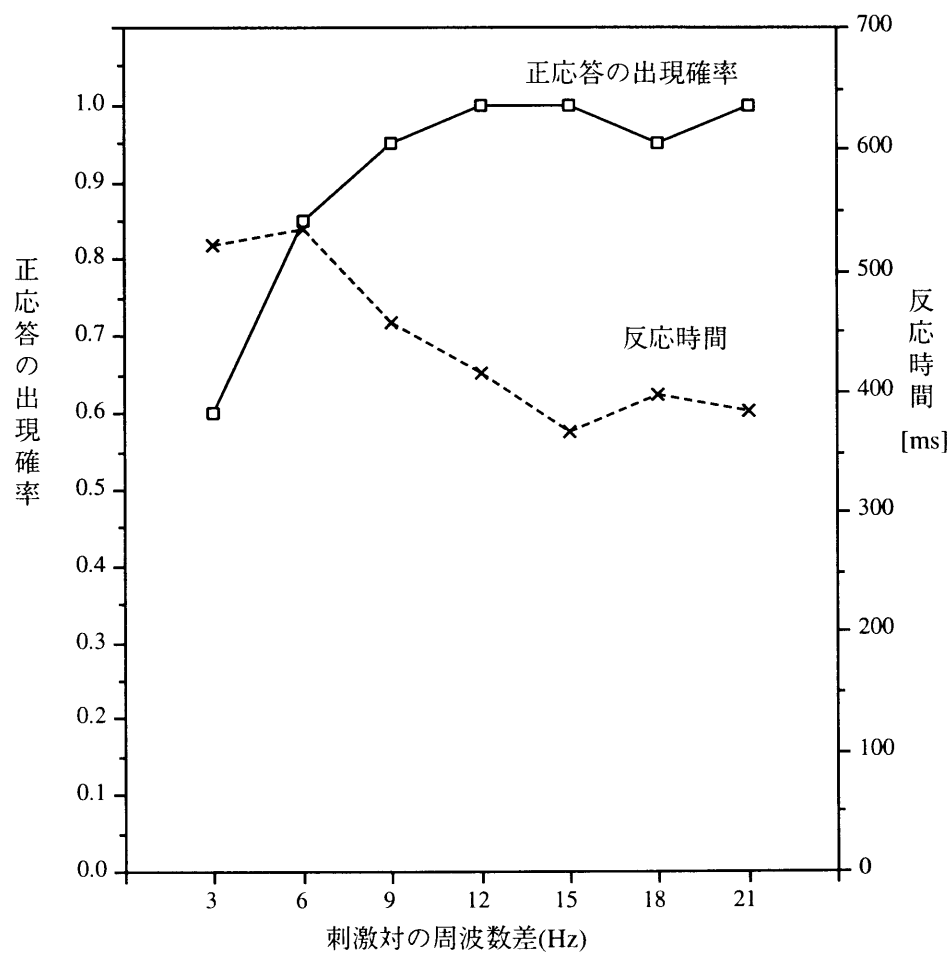
図 B 8 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 2）。4 回目。



図B 9 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 3）。1 回目。



図B 1 0 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 3）。2回目。



図B 1 1 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 3）。3回目。

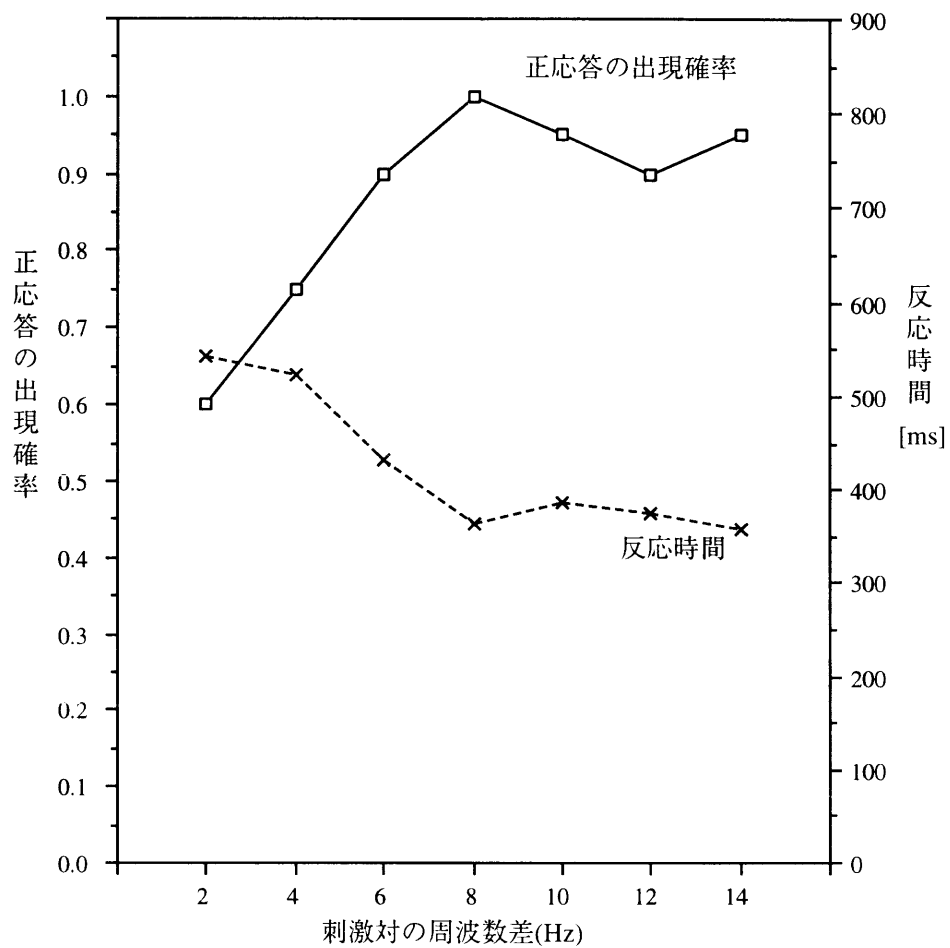
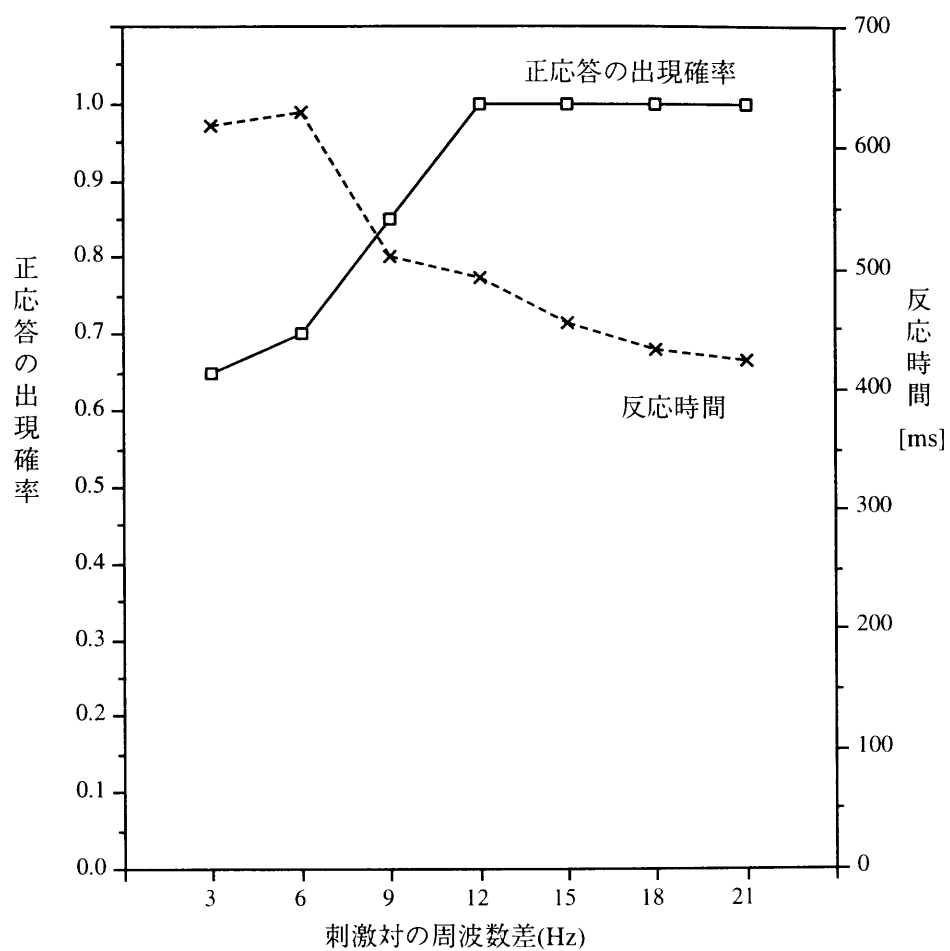
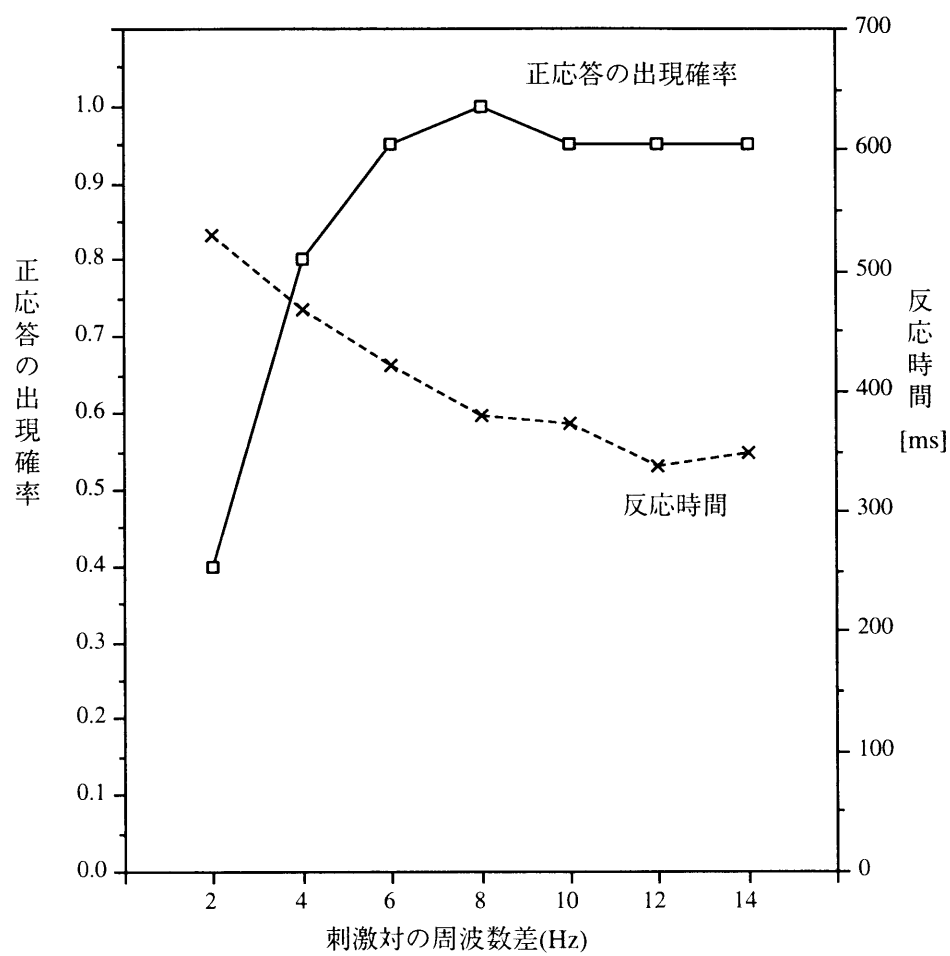


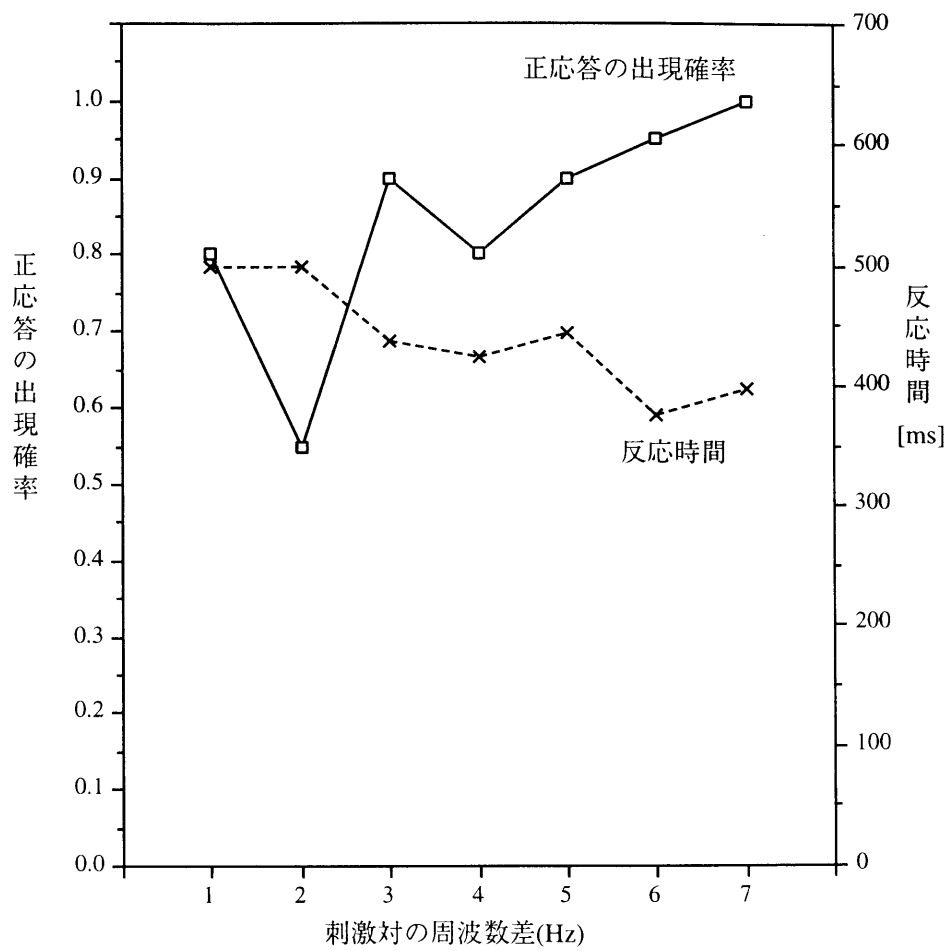
図 B 1 2 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 3）。4 回目。



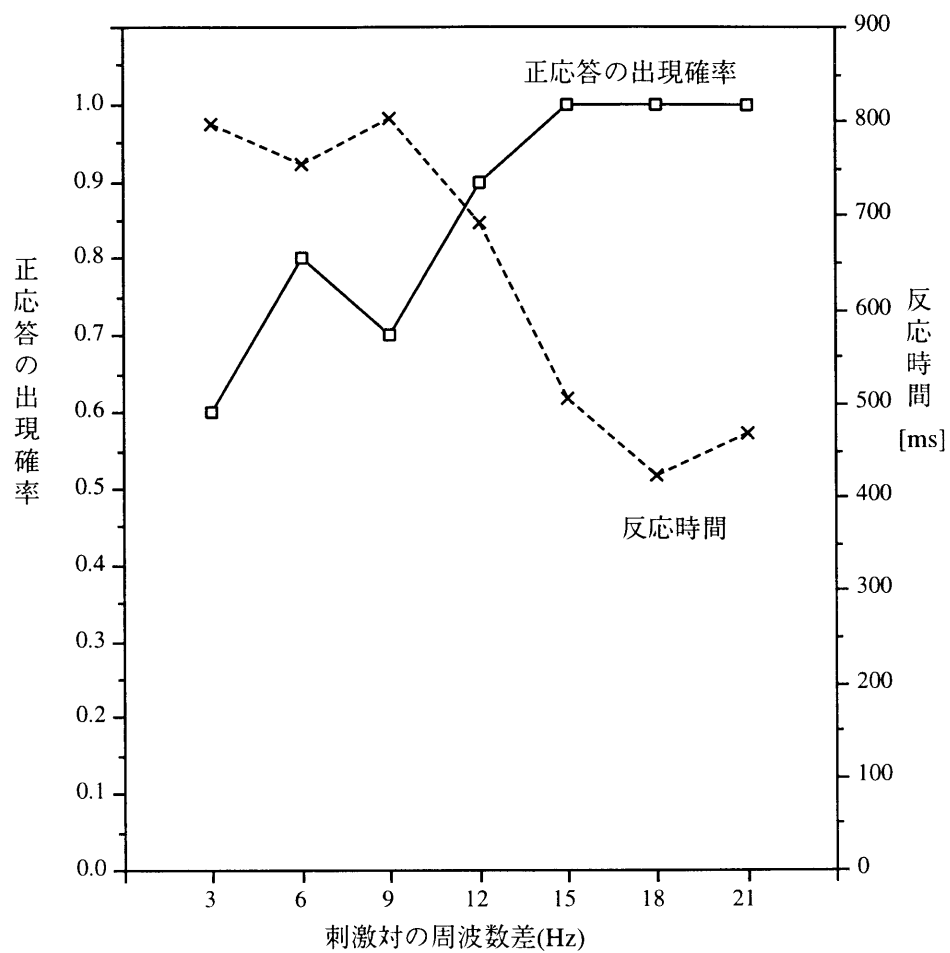
図B 1 3 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 4）。1 回目。



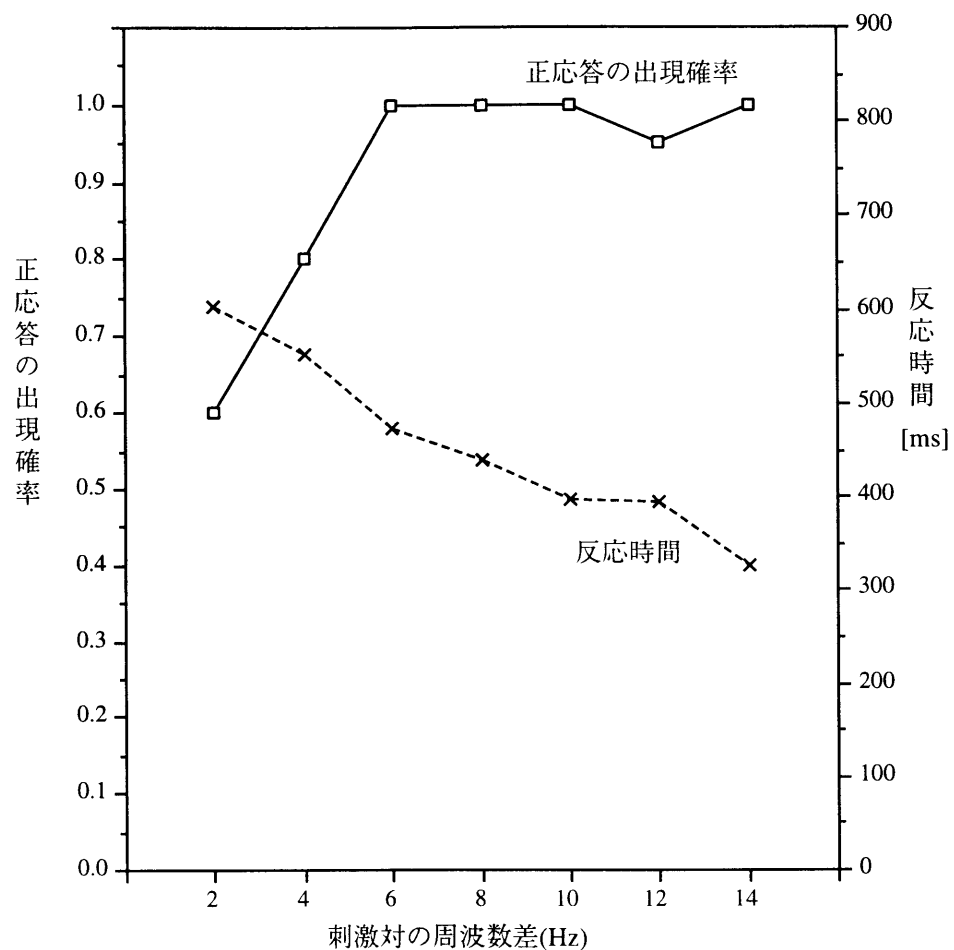
図B 1 4 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 4）。2回目。



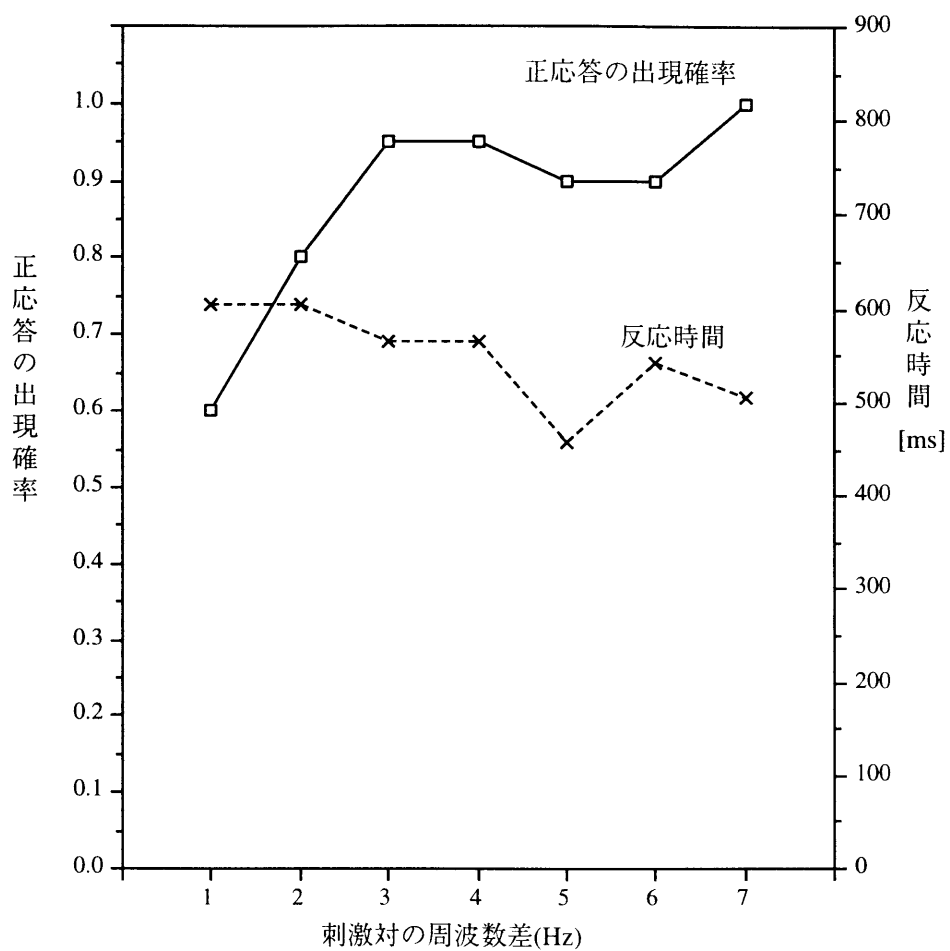
図B 1 5 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 4）。3回目。



図B 1 6 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 5）。1 回目。



図B 1 7 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 5）。2回目。



図B 1 8 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 5）。3回目。

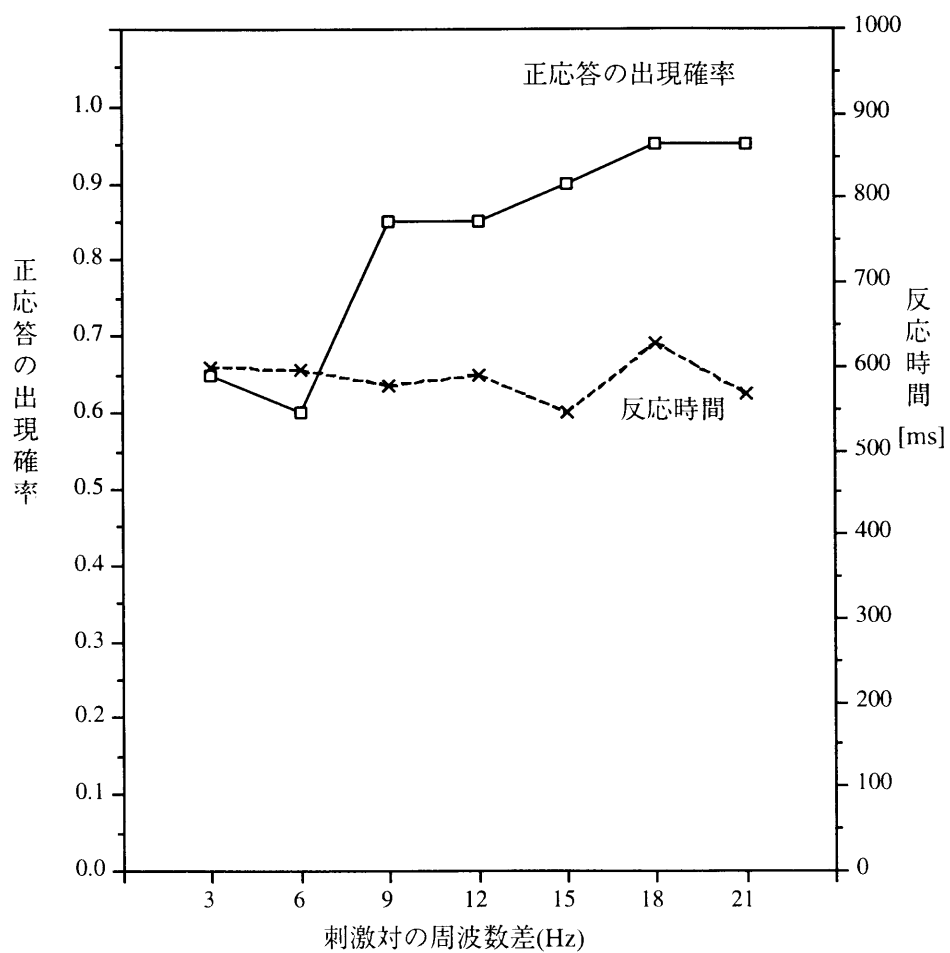
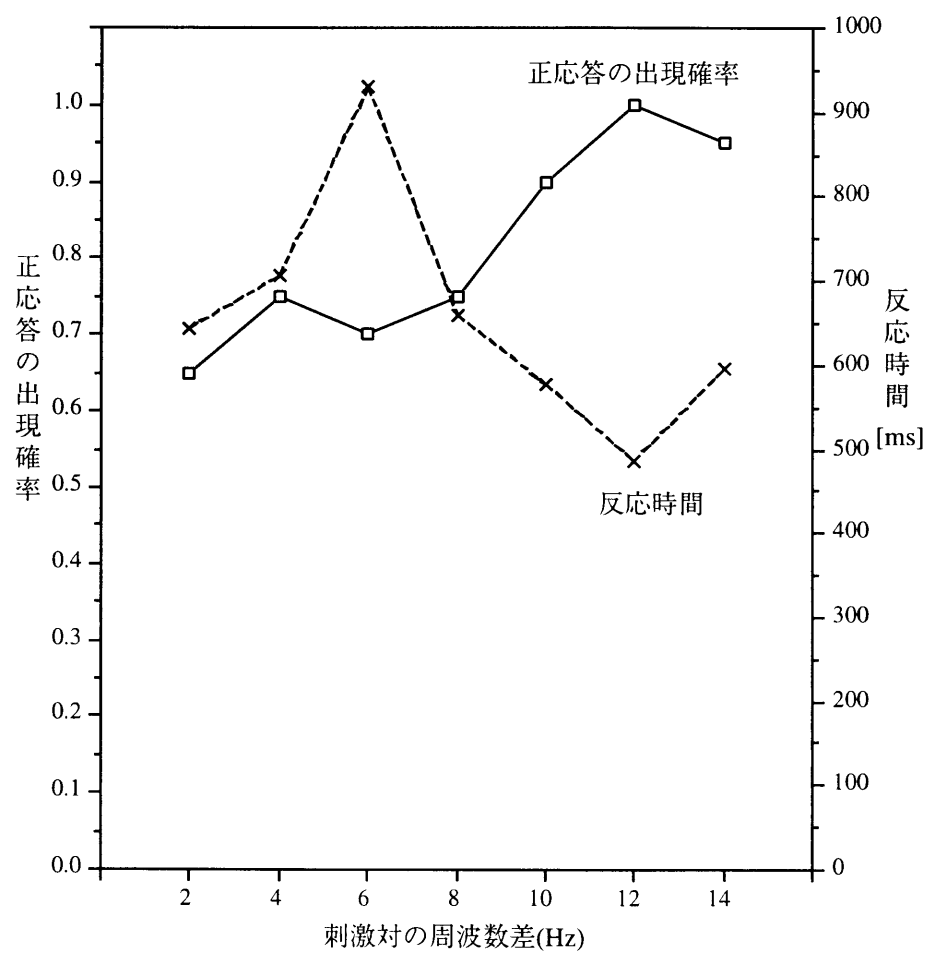


図 B 1 9 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 6）。1 回目。



図B 2 0 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 6）。2回目。

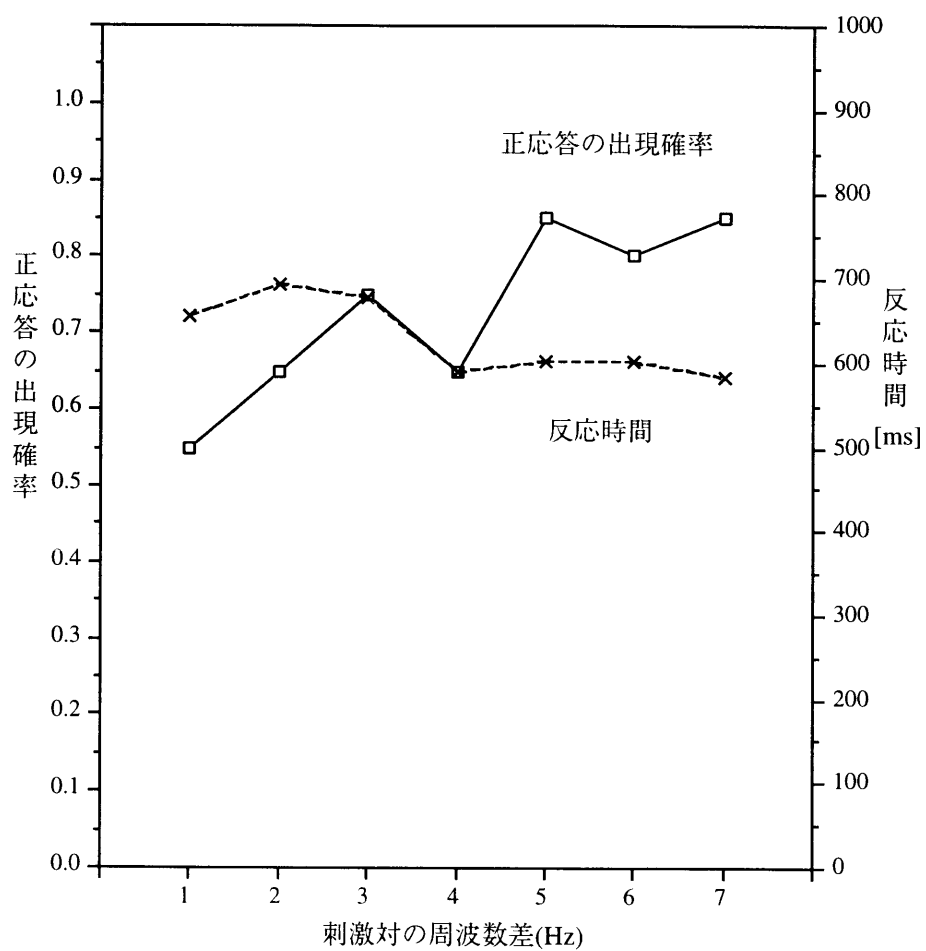
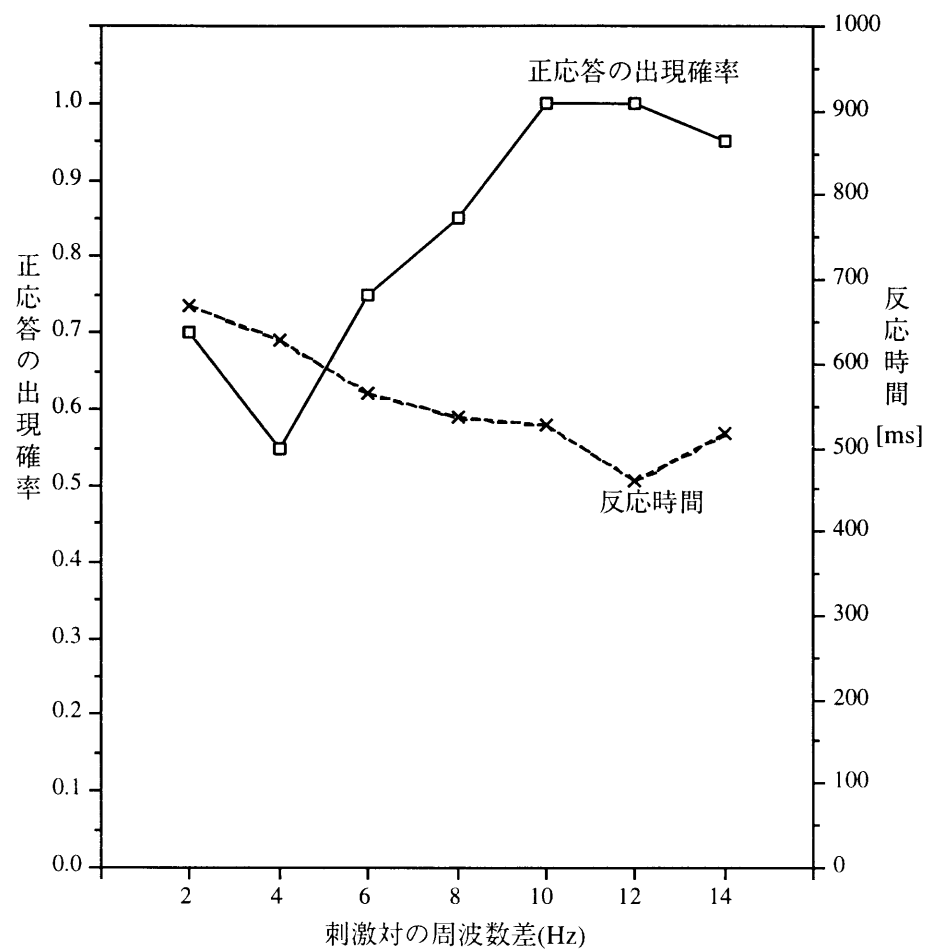


図 B 2 1 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者 C 6）。3 回目。



図B 2 2 恒常法による周波数弁別閾測定における刺激対の周波数差（＝刺激レベル）に対応する反応時間と正応答の出現確率（被験者C 6）。4 回目。