

氏名(本籍)	柳 沢 武 三 郎 (宮城県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 第 1 4 8 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 1 月 1 2 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最終学歴	昭和 3 3 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信 工学専攻修士課程修了
学位論文題目	室内初期反射音の主観的效果に関する研究

(主査)

論文審査委員	教 授 二村 忠元 教 授 城戸 健一
	教 授 柴山 乾夫 助教授 曾根 敏夫

## 論 文 内 容 要 旨

室内音響に関する研究は、室の寸法、形状、周壁の音響処理によって室内にできる音場の物理的特性を明らかにし、さらに使用目的からみた音響効果に対する評価と音場の物理的特性との相関を明らかにして、目的に適した音響効果を与える境界条件を見出だすことである。

室内で音を発すると、音は周壁によって反射され、それらが合成された複雑な音場ができる。これらの反射音群によって構成される室内音場は coherent 状態から incoherent 状態へ移行していく。

Incoherent 状態にある音場は残響音場である。残響音場は物理的にも主観的にもとらえられ得るものであるから、早くから室内音響設計の立場から研究されてきた。最適残響時間と残響時間周波数特性の推奨値とはその成果である。残響音場に関するこれらの物理的特性は、次の点で主観的评价と対応するものとして多くの経験的知識にもとづいて提唱されたものである。すなわち残響時間の

長短は音の豊かな感じ、響く感じに対応し、残響時間周波数特性は音の力強さの感じ、明瞭性、艶、歯切れのよしあしに対応するといわれている。

しかしながら、残響時間が同じ室でも、主観的效果は異なることがあることも経験される。これは残響時間が incoherent 状態のみを巨視的にとらえたものであって、coherent 状態を無視していることに起因している。従って、室内音響設計にとって、従来のように残響時間を考慮することは必要条件であっても十分条件であるとはいえない。この意味から、coherent 音場の物理的特性、特に第1回反射音の直接音からの遅延時間が主観の評価に重要な役割を演じているであろうと強調されるようになってきた。すなわち coherent 音場では室の大小により、直接音と第1回反射音との時間間隔は変わり、この時間間隔が室の広狭の感じをもたらす主要な要素であろうといわれている。さらに第1回反射音は比較的大きなエネルギーをもっているので、エコーとして知覚されるとき音源の方向感を害し、明瞭度、音質などに悪影響を及ぼすであろうし、エコーとして知覚されないときでも主観的に何らかの音響効果をもたらすのであろうといわれている。

この点に関して、第1回反射音は明瞭度の向上に寄与することが定量的に明らかにされ、第1回反射音がエコーとして分離知覚されないための遅延時間についても諸説が提唱されているけれども、第1回反射音が音質に与える効果についてはまだ定性的な域を出ていない。また、一方では最近、残響付加装置の開発により室内音の音響効果を電氣的に制御できるようになり、録音ヘッドと再生ヘッド間の間隔（遅延時間）、再生ヘッドから録音ヘッドへの帰還量（残響時間）を、従来の経験的知識からでなく合理的な根拠のもとに明らかにすることが必要になってきた。

本論文では、(1)直接音と第1回反射音との時間差が音質に与える効果、(2)音場の物理的特性と主観の評価との対応、(3)第1回反射音の時間的な分離に関する聴覚特性について、無響室にシミュレートされた音場により、室内音響設計、音響測定の立場から基礎的資料を得ることを目的としておこなった研究結果について述べている。

本論文は5章からなっている。各章の構成の概要を次に述べる。

第1章序論では、残響時間とその背景、室内音響設計の目標と現状、実験音場の構成法に関する考察、研究の目的と意義について述べている。

第2章遅延信号による音質評価では、室内音場と音質評価、実験音場の構成、音質評価を尺度化するために採用した心理計測法について述べ、残響音が付加された第1回反射音の時間遅れ効果、一定波形の残響音が付加された第1回反射音の時間遅れ効果、第1回反射音だけによる時間遅れ効果、一定波形の残響音が付加された第1回反射音のレベル効果、残響付加装置による主観的效果に関する実験と結果を次に述べて、最後にこの章の研究結果をまとめている。

第3章室内音響に関する物理量と心理量との対応では、最初に、無響室にシミュレートされた音場の場合について、実験音場の構成、音源信号音の作成と再生、実験と測定量、測定結果と考察、物理

量と心理量との対応および考察を述べ、次に、立体録音再生法による場合について、音場構成と実験方法、心理量に関する実験、物理量に関する実験、物理量と心理量との対応および考察を述べ、最後にまとめている。

第4章単一遅延信号音の時間的な分離に関する検知限では、検知限レベルの定義、実験方法などを最初に述べ、直接音と単一遅延信号とが同一方向から到来する場合について、純音と1オクターブバンドノイズにより、その継続時間、周波数、聴取レベル、立ち上がり立ち下がり時間をパラメータにして測定した検知限の結果と考察を述べ、直接音と単一遅延信号音との到来方向が異なる場合について、水平面内と垂直面内での結果と考察を述べ、最後にまとめている。

第5章は本論文の結論であり、これまでの実験研究により得られた結果をまとめて考察を加えている。

本論文での研究結果を要約すると、次のようにいうことができる。

直接音と第1回反射音との時間差が音質に与える効果について、音声、ピアノソロ、交響曲を音源信号音とし、Scheffeの7段階評価による一対比較法により主観的評価を尺度化した第2章の結果から、シミュレート音場による主観的評価は、ホールで残響付加装置を用いておこなった結果と傾向においてかなり良くあうことが確認され、シミュレート音場により、この種の問題を一般的に論じることができることがわかった。

シミュレート音場による結果から、動的空間的因子で表わされる音質は、信号音の種類、第1回反射音に続く残響の大きさ、減衰過程、聴取レベルおよび聴取者によらず、第1回反射音の遅延時間に依存するといえる。これらの因子に属する音質評価は、第1回反射音の遅延時間が40 msecから60 msecの範囲でよい。これに対して、美的叙情的因子で表わされる音質は、第1回反射音の遅延時間ばかりでなく、信号音の種類、残響音の大きさ、減衰過程、聴取レベルおよび聴取者によっても変わる。このことは、動的空間的因子で表わされる音質は感覚的なものを表わすのに対して、美的叙情的因子で表わされる音質はわれわれの情諸概念を表わすため聴取条件によって変わり易いためであろうと考えられる。

音場の物理的特性と主観的評価との対応について、第3章の結果から、シミュレート音場による場合、残響室と無響室とを用いておこなった場合とも、ホールの音響特性を測定する際に適用できるように意図して定義した物理尺度による測定結果と主観的評価とは、一次形式によって対応づけられることがわかった。

残響時間は、美的叙情的因子と動的空間的因子とで表わされる音質評価と良く対応する。残響時間が長い方が音の響く感じ、豊かな感じを与えとか、音の響く感じと歯切れの良さは残響に関して逆の傾向にあるなど、従来、経験から定性的にいわれていたことが実験的に確認された。また、残響時間の差が少ないとき、残響過程を直接音の到来後50 msecの時点で二分し、定義された時間音圧

比は、残響時間よりも美的叙情的因子、動的空間的因子および柔らかさ因子で表わされる音質評価と良い対応をする。このことから、残響時間が同じホールでも主観的評価が異なるのは、第1回反射音の到達時間の相違によるのだらうと定性的にいわれていたことが実験的に裏付けられた。

二音の時間的な分離に関する聴覚特性について、直接音と第1回反射音とからのみなるシミュレート音場で、実際にホールで起こり得る布置と対応するように選定された物理的パラメータについて極限法を用いておこなった第4章の結果から、遅延時間に対する第2音の検知限は信号音の種類、継続時間、周波数、立ち上がり立ち下がり時間、聴取レベルおよび第2音の到来方向によらず、30 msecを境にして異なることがわかった。

検知限は30 msec以内で遅延時間に対してゆるやかに、それ以後で急速に指数減衰していく。二音の時間的な分離に関するこの時点は、二音の加算性、第2音の絶対検知限に関する結果と同じである。この時点は聴覚系に固有なものであると考えられるので、従来、諸説があった第1回反射音の遅延時間は、30 msec以内におさえるべきであるといえよう。

上で述べた本研究の諸結果は、次の点で工学的に有用であると考えられる。すなわち、音質評価に関する結果は、室内音響設計の資料として活用できるし、残響付加装置におけるヘッド間隔（遅延時間）の調整に対して有用な指針になる。物理量と心理量との対応に関する結果はホールの音響効果の測定法を確立していくための基礎資料となし得るし、残響付加装置における再生ヘッドから録音ヘッドへの帰還量（残響時間）を定める際に有用な指針となる。二音の時間的な分離に関して求めた聴覚特性は、室の形状、周壁の音響処理、拡声用スピーカの取り付け位置の選定等に適用できる。

## 審査結果の要旨

室内音場は、直接音とそれに続く反射音とからなる。その反射音特性は、室に固有な物理条件（形状、吸音特性など）によって決定され、室内音響特性に支配的な影響を与える。このことに関する従来の研究は、統計的な残響現象に注目したものが多く、拡散状態に至るまでの反射音特性に注目した体系的な研究は少ない。本論文は、反射音系列を、第1回反射音とそれに続く残響音とでなりたつものとして、これらについて心理物理学の実験を行ない、第1回反射音が室内音響効果にとって重要な因子であることを明らかにし、その主観的效果を詳細に探究したもので、全文5章よりなる。

第1章は序論で、従来の研究状況と本研究の目的ならびに研究方法について述べている。

第2章では、音質に対する第1回反射音の遅延時間効果を、7段階評価による一対比較法を用いて検討している。遅延時間が、音質評価に対して重要な効果をもつことを明らかにしたこと、特に、動的空間的感覚に関する評価に、遅延時間30 msecの前後で大きい差があることを明らかにしたことは新しい知見である。

第3章では、室内の物理的音響特性と音質との対応性を検討し、著者の提案を含むいくつかの物理量と心理量とは、1次関数によって近似的に対応づけられることを示している。その結果、同一残響時間の室でもその主観的評価が異なるのは、第1回反射音の到達時間の相違によるものであることが明らかにされ、また、従来経験的、定性的にいわれていたいくつかの事象が、心理物理学的に裏付けられた。

以上の研究により、第1回反射音が極めて重要であることを明らかにした後、第4章では、第1回反射音の時間的な分離に関する聴覚特性を、室内で実際に起こり得る種々のパラメタについて、極限法を用いて詳細に検討している。その結果、反射音の分離知覚に対する聴覚特性は、音源の種類、継続時間、周波数、立ち上がり立ち下がり時間、聴取レベルおよび到来方向によらず、遅延時間30 msecを境にして異なることを明らかにしている。このことは、室内音響、電気音響装置におけるスピーカの配置、残響付加装置などの設計指針を得るための重要な基礎となるものである。

第5章は結論である。

以上要するに、本論文は、室内における初期反射音の主観的效果について詳細な心理物理学の検討を行ない、初期反射音が室内音響効果にとって重要な因子であることを明らかにし、建築音響学および電気音響学に新しい知見を加えたもので、それらに寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。