



音像の空間的性質の評価に関する研究

飯田, 一博

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1993-03-31

(Date of Publication)

2015-03-17

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1220

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3092499>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001220>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	飯田 一博 (神奈川県)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	博い第58号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成5年3月31日
学位論文題目	音像の空間的性質の評価に関する研究
審査委員	主査 教授 松本 衛 教授 室崎 益輝 教授 田中 初一 教授 森本 政之

論文内容の要旨

音環境設計により所望の聴空間を実現するためには、受聴者の両耳に到達する音響信号と受聴者が知覚する音像との関係、すなわち音像の評価方法を明らかにする必要がある。音像は時間的性質（持続感、逐次感、リズム感など）、空間的性質（方向感、拡がり感、距離感など）、質的性質（大きさ、高さ、音色など）の3つの性質に分けられる。これらのうち、時間的性質と質的性質については評価方法が確立されつつあるが、空間的性質の評価方法については従来明らかにされていない。本論文では、音環境評価の基礎的研究として、音像の空間的性質の評価方法に関する以下の3つの問題を検討した。

- (1) 音像の方向感における第一波面の法則の適用限界
- (2) 音像の拡がり感におけるみかけの音源の幅と両耳間相関度の関係
- (3) 両耳聴信号処理モデルを用いた音場シミュレーション

第1章では、音環境評価における本論文の意義を述べた。次に上記3つの問題に関する従来の研究を概説し、本論文で明らかにすべき課題をまとめた。

第2章では、音像の方向感における第一波面の法則の適用限界について検討した。日本語のスピーチを音源とし、音像の分離の割合（パーセントスプリット）を音響心理実験により求め、従来第一波面の法則の適用限界として便宜的に用いられていたエコー検知限やエコーディスタージャンプと比較した。その結果、後続音がエコー検知限を越えても必ずしも音像は分離しないことを示した。また、後

続音がエコーディスタースとはならなくても音像は分離する場合があることを示した。以上の結果から、第一波面の法則の適用限界はここで求めたパーセントスプリットにより規定すべきであることを明らかにした。

第3章では、両耳間相関度をみかけの音源の幅 (ASW) の評価指標として任意の音場に適用するために解明すべき課題を音響心理実験により検討した。まず、第一波面の法則が成立する音場でもしない音場でも同じように ASW を両耳間相関度で評価できるか否かを検討した。その結果、両耳間相関度が等しくても第一波面の法則が成立しない音場の ASW は、同法則が成立する音場の ASW より小さくなることを示した。また、そのような場合の ASW は、反射音の第一波面の法則が成立する範囲内に含まれる部分だけを用いて求めた両耳間相関度で評価できることを明らかにした。

次に、入射音構造が空間的に異なる任意の音場において、両耳間相関度で ASW を評価できるか否かを検討した。その結果、反射音の到来方向にかかわらず両耳間相関度で ASW を評価できることを示した。また、直接音が正面以外の方向から到来する場合は正面から到来する場合に比べて ASW は小さくなり、この場合は直接音が正面から到来する場合と同じように両耳間相関度で評価することはできないことを示した。

さらに、音場間の両耳間相関度の差を評価するために、音楽を音源とした場合の ASW に関する両耳間相関度の弁別限を求めた。また、求めた弁別限には Weber の法則が成立することを示した。

最後に、両耳間相関度の測定法について検討し、4 kHz 以上の成分を含む広帯域信号の場合の ASW は、従来の両耳間相関度では評価できないことを示すとともに、そのような場合には、耳入力信号の 1600Hz 以下の成分だけを用いて求めた両耳間相関度で評価できることを明らかにした。

第4章では、従来のシミュレーション方法とは全く視点の異なる時系列両耳間相互相関関数を中心とした両耳聴信号処理モデルを用いた音場のシミュレーション方法を提案し、シミュレーション精度を音響心理実験により検討した。

まず、基礎的検討として、原音場が初期の離散的反射音だけで構成される場合について実験を行い、時系列両耳間相互相関関数を算出する際の時間窓の設定が適切であれば、外耳道入口におけるインパルス応答を簡略化しても、原音場で知覚される音像とほとんど同一の音像をシミュレートできる可能性を示した。しかし、原音場が残響音を含む場合には、インパルス応答を簡略化するシミュレーション精度が劣化することを示した。

また、時系列両耳間相互相関関数の算出に用いる時間窓としては、継続長が 10ms の矩形時間窓が妥当であり、その算出過程において内耳の信号処理機能を考慮する必要があることを明らかにした。結論として、本方法により原音場で知覚される音像を弁別閾内の精度でシミュレートできるだけでなく、従来の方法に比べてシミュレーションシステムのハードウェア規模を大幅に縮小できることを示した。

さらに、ASW を正確にシミュレートするための空間分割方法について検討し、シミュレーションシステムに必要なスピーカ個数とその配置を明らかにした。

第5章では、本論文の総括を行った。

以上のように、本論文は、音像の空間的性質の評価方法に関する検討の一環として、第一波面の法則の適用限界ならびにみかけの音源の幅 (ASW) の物理指標としての両耳間相関度の適用限界を明らかにし、実際の音場への応用を可能にした。また、音場シミュレーションの手法として、従来の手法とは全く視点の異なる両耳聴信号処理モデルを用いた方法を提案し、その有効性を明らかにした。

論文審査の結果の要旨

音環境設計により所望の聴空間を実現するためには、受聴者の両耳に到達する音響信号と受聴者が知覚する音像との関係、すなわち音像の評価方法を明らかにする必要がある。本論文では、音環境評価の基礎的研究として、音像の空間的性質の評価方法を検討している。

第1章は序論で本論文の意義、従来の研究、および明らかにすべき課題を述べている。

第2章では、音像の方向感における第一波面の法則の適用限界について検討している。日本語のスピーチを音源とし、音像の分離を知覚する割合 (パーセントスプリット) を音響心理実験により求め、後続音がエコー検知限を越えても必ずしも音像は分離しないこと、また、後続音がエコーディスターバンスとはならなくても音像は分離する場合があることを示した。以上の結果から、第一波面の法則の適用限界はここで求めたパーセントスプリットにより規定すべきであることを示した。

第3章では、両耳間相関度を音像の空間的性質の一つである、みかけの音源の幅 (ASW) の評価指標として任意の音場に適用するために解明すべき課題を音響心理実験により検討している。まず、両耳間相関度が等しくても第一波面の法則が成立しない音場の ASW は、同法則が成立する音場の ASW より小さくなること、また、そのような場合の ASW は、反射音の第一波面の法則が成立する範囲内に含まれる部分だけを用いて求めた両耳間相関度で評価できることを示した。次に、反射音の到来方向にかかわらず両耳間相関度で ASW を評価できることを示すと同時に、直接音が正面以外の方向から到来する場合は正面から到来する場合に比べて、両耳間相関度が等しくても、ASW は小さくなることを示した。さらに、音楽を音源とした場合の ASW に関する両耳間相関度の弁別限を求め、Weber の法則が成立することを示した。最後に、両耳間相関度の測定法について検討し、4 kHz 以上の成分を含む広帯域信号の場合の ASW は、従来の両耳間相関度では評価できないことを示すと共に、そのような場合には、耳入力信号の 1600Hz 以下の成分だけを用いて求めた両耳間相関度で評価できることを明らかにした。

第4章では、音場シミュレーション方法について検討している。本研究では、従来の音源と受音点の間の伝達関数をシミュレーションする方法および耳入力信号をシミュレートする方法に代わり、音像の性質を知覚する手掛かりを直接シミュレートする方法を提案している。すなわち、両耳聴信号処理モデルを構成する機能の一つである時系列両耳間相互関係関数に基づいて、音像の空間的性質を知覚する手掛かりの一つである時系列両耳間時間差をシミュレートする方法を提案し、その可能性について音響心理実験を行い検討している。まず、基礎的検討として、原音場が初期の離散的反射音だけで構成される場合について実験を行ない、時系列両耳間相互関係関数を算出する際の時間窓の設定が

適切であれば、外耳道入口におけるインパルス応答を簡略化しても、原音場で知覚される音像とほとんど同一の音像をシミュレートできる可能性を示した。しかし、原音場が残響音を含む場合には、インパルス応答を簡略化するとシミュレーション精度が劣化することを示した。

また、時系列両耳間相互相関関数を算出する際には、矩形時間窓の継続長として10ms が妥当であり、同時に内耳の信号処理機能を考慮する必要があることを明らかにした。結論として、本方法により残響音を含む原音場で知覚される音像を弁別閾内の精度でシミュレートできるだけでなく、本方法は従来の方法に比べてシミュレーションシステムのハードウェア規模を大幅に縮小できることを示した。さらに、ASW を正確にシミュレートするための空間分割方法についても検討し、シミュレーションシステムに必要なスピーカ-の個数とその配置を明らかにした。

第5章では、本論文の総括を行っている。

以上のように、本論文は、音像の空間的性質の評価方法に関する検討の一環として、第一波面の法則の適用限界およびにみかけの音源の幅の物理指標としての両耳間相関度の適用限界を明らかにし、それぞれの実音場への応用を可能にしている。同時に、音場シミュレーションの手法として、従来の手法とは全く視点の異なった両耳聴信号処理モデルを用いた方法を提案し、その有効性を示した。この方法は、従来の方法に比べてシミュレーションシステムのハードウェア規模を大幅に縮小できる画期的なものである。すなわち、本論文で得られた成果は、音場の評価および設計に新たな寄与をもたらしたものと認められる。

以上、本研究は音像の空間的性質の評価の方法およびそれを用いた音場シミュレーションシステムについて、物理・心理実験と解析により研究したもので、室内音響、建築音響設計における重要な知見を得たものであり、工学上寄与するところ大である。よって学位申請者飯田一博は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。