



Subjective preference evaluation of sound fields by performing singers

Dennis, Noson

(Degree)

博士（学術）

(Date of Degree)

2003-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2782

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002782>

※ 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。



【 194 】

氏 名 ・(本 籍) Dennis Noson (アメリカ)

博士の専攻分野の名称 博士 (学術)

学 位 記 番 号 博い第434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15年3月31日

【 学位論文題目 】

Subjective Preference Evaluation of Sound Fields by
Performing Singers
(声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価)

審 査 委 員

主 査 教 授 安藤 四一

教 授 松嶋 隆二

教 授 村上 晋一

概要

声楽演奏者が演奏しやすい音響条件に関する知見を得ることは、オペラハウスやコンサートホールなどにおける音響設計、特にステージ音場の設計において重要な課題であり、最近多くの研究がなされつつある。従来、反射音のレベルや遅れ時間を変化させたシミュレーション音場による実験が行われ、声楽演奏者が演奏しやすいと考えられる音響条件が示唆されている。しかし、プリファレンス判断の基本的要素と考えられる音源信号の時間的特性と声楽演奏に特有な骨伝導音の効果が考慮されていない。そこで本論文では、これらを考慮したモデルを提案して検証し、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンスの評価方法を明らかにするとともに、ステージ音響設計に対する工学的な応用例を示すことを目的としている。

以下、各章ごとにその内容を述べる。

第1章では、本論文の背景を要約し、本論文の研究目的および研究方法の概要を述べている。

第2章では、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価を可能にするための、統一的なモデルを提案している。まず音源信号の時間的特性を表すファクターとして、自己相関関数の有効継続時間 (τ_c) を用いている。過去の研究により、音源信号の τ_c は聴者と器楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価に関わる有力な音源信号の時間的ファクターであることがわかっている。本論文では、空気伝達に骨伝導を加えた直接音と音場からの反射音が声楽演奏において存在することを考慮し、器楽演奏者を対象とした過去の研究により構築された演奏者の心理的プリファレンス評価モデルに、骨伝導音の評価を加えたものをモデルとして提案した。

第3章では、どの音響条件が声楽演奏者のプリファレンス判断に対して支配的な影響を与えるかを検討すると共に、第2章で提案したモデルの妥当性を予備的に検証することを目的としている。まず、実音場に電気的に遅らせてスピーカーから再生される音を付加した音場において、歌詞のある声楽演奏曲をモチーフに、一対比較法によるプリファレンス実験を行った。その結果、速いテンポのソロ演奏と遅いテンポのデュエット演奏においては、30[ms]以内の遅れ時間の単一反射音を加えると演奏者のプリファレンスが向上することがわかった。この結果は、ステージ上に反射板を追加することによりステージ音場が、より合唱やソロ演奏に適したものに改善されうということを示唆している。次に、ソロ演奏者に対象を絞って、歌詞のある声楽演奏曲をモチーフに、シミュレーション音場で一対比較法による実験を行った。その結果、速いテンポの演奏の場合は平均で 14[ms] という好ましい単一反射音の遅れ時間が存在し、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間と音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値

の間に比例関係があることが示唆された。しかし、遅いテンポの演奏の場合はプリファレンスの判断は一意でなかった。そこで音源信号の τ_c が異なる場合にも提案した理論式が適用できるかどうか、また室容積の大きいシミュレーション音場を用いることにより判断の精度が向上するかどうかを検討し、本論文で提案する理論の妥当性を検証する必要があると判断したため、次章で取り扱っている。

第4章では、歌詞の違いによって声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間が変化するかどうかを検証することを目的としている。第3章よりも容積の大きい無響室でシミュレーション音場を構築して、“la”の歌詞を用いた声楽演奏曲をモチーフに、一対比較法による実験を行った。その結果、通常の歌詞で歌う場合よりも“la”の歌詞で歌う場合のほうが、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間および音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値は共に長くなって、その比例関係が保たれることが示唆された。

第5章では、歌詞の違いが骨伝導音のラウドネスに与える影響を評価し、その骨伝導音の効果が、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間に影響を与えるかどうかを検証することを目的としている。まず、“la”と“hum”の単一母音をモチーフに、マイクロフォンとスピーカーとアテニューエーターを用いて、直接音と電気的に遅らせた音とのラウドネスのマッチング実験を行った。その結果、マッチング時の外耳道位置での反射音の音圧レベルは直接音に対して平均で 22.4dB 小さいことがわかった。この結果は、声楽演奏者は空気伝達に骨伝導を加えた直接音よりも音場からの反射音を過大に評価しているということを示唆している。また、それぞれの歌詞でその相対レベルは有意に異なり、“hum”ではスピーカーからの再生音による音圧が“la”と比べて平均で 9.9dB 大きいという結果を得た。この結果は、“hum”では骨伝導音によって直接音が“la”よりも平均で 9.9dB 増幅されていることを示唆している。

次に、“hum”の歌詞を用いた声楽演奏曲をモチーフに、シミュレーション音場で一対比較法による実験を行った。その結果、通常の歌詞や“la”の歌詞で歌う場合よりも“hum”の歌詞で歌う場合のほうが、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間および音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値が共に長くなり、その比例関係は保たれることが示唆された。さらに、実験で得られた反射音の過大評価と骨伝導音のラウドネスの効果を考慮してから、直接音に対する反射音のレベルを決定し、本論文で提案する理論式に代入することによって、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間の予測精度が飛躍的に向上する ($r^2=0.97, p<0.01$) ことがわかった。この結果は、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス判断には、反射音の過大評価と骨伝導音による直接音の増幅の効果が有意に影響しており、その効果を考慮した本論文で提案するモデルが有効であることを強く示唆しているといえる。

(氏名 : Dennis Noson NO. 3)

第6章では、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価の個人差および個人内変動について述べている。第4章で得られたプリファレンス実験の結果を元に、反射音の遅れ時間の最適値およびプリファレンスカーブの鋭さを決定する α 値が実験を重ねることで有意に変化するかどうかを検証した。その結果、最初の実験と6ヶ月後の実験で α 値は有意に大きくなって(平均 15%, $p<0.05$)プリファレンス判断の精度は向上するが、個人ごとの反射音の遅れ時間の最適値そのものは変化しないことがわかった。

第7章では、上記の結果を踏まえ、本論文の内容をまとめている。本論文で明らかにした内容は以下の通りである。

- 1) ステージ音場に反射音を付加することで声楽演奏者のプリファレンスが向上($p<0.05$)する(第3章)。
- 2) 声楽演奏者は空気伝達に骨伝導を加えた直接音よりも音場からの反射音を平均で 22.4dB 過大に評価($p<0.01$)している(第5章)。
- 3) 歌詞を変化させることにより直接音に対する反射音の心理的大きさが変化($p<0.01$)し、そのレベルの差(平均 9.9dB)は骨伝道による直接音のラウドネスの差と考えられる(第5章)。
- 4) 音場からの反射音の過大評価、骨伝導音のラウドネス、音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値の効果を統合した理論式を用いることで、声楽演奏者による反射音場の心理的プリファレンスが正確に予測できる($r^2=0.97, p<0.01$)(第5章)。
- 5) 声楽演奏者に好ましい反射音の遅れ時間を求める実験においては、実験を重ねることで判断の精度は向上する($p<0.05$)が、個人ごとの最適値そのものは変化しない(第6章)。

氏名	Dennis Noson		
論文 題目	Subjective Preference Evaluation of Sound Fields by Performing Singers (声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	安 藤 四 一
	副 査	教 授	松 嶋 隆 二
	副 査	教 授	村 上 晋 一
要 旨			
<p>声楽演奏者が演奏しやすい音響条件に関する知見を得ることは、オペラハウスやコンサートホールなどにおける音響設計、特にステージ音場の設計において重要な課題であり、最近多くの研究がなされつつある。従来、反射音のレベルや遅れ時間を変化させたシミュレーション音場による実験が行われ、声楽演奏者が演奏しやすいと考えられる音響条件が示唆されている。しかし、プリファレンス判断の基本的要素と考えられる音源信号の時間的特性と声楽演奏に特有な骨伝導音の効果が考慮されていない。そこで本論文では、これらを考慮したモデルを提案して検証し、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンスの評価方法を明らかにするとともに、ステージ音響設計に対する工学的な応用例を示すことを目的としている。</p> <p>以下、各章ごとにその内容を述べる。</p> <p>第1章では、本論文の背景を要約し、本論文の研究目的および研究方法の概要を述べている。</p> <p>第2章では、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価を可能にするための、統一的なモデルを提案している。まず音源信号の時間的特性を表すファクターとして、自己相関関数の有効継続時間(τ_c)を用いている。過去の研究により、音源信号のτ_cは聴者と器楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価に関わる有力な音源信号の時間的ファクターであることがわかっている。本論文では、空気伝達に骨伝導を加えた直接音と音場からの反射音が声楽演奏において存在することを考慮し、器楽演奏者を対象とした過去の研究により構築された演奏者の心理的プリファレンス評価モデルに、骨伝導音の評価を加えたものをモデルとして提案した。</p> <p>第3章では、どの音響条件が声楽演奏者のプリファレンス判断に対して支配的な影響を与えるかを検討すると共に、第2章で提案したモデルの妥当性を予備的に検証することを目的としている。まず、実音場に電氣的に遅らせてスピーカーから再生される音を付加した音場において、歌詞のある声楽演奏曲をモチーフに、一対比較法によるプリファレンス実験を行った。その結果、速いテンポのソロ演奏と遅いテンポのデュエット演奏においては、30[ms]以内の遅れ時間の単一反射音を加えると演奏者のプリファレンスが向上することがわかった。この結果は、ステージ上に反射板を追加することによりステージ音場が、より合唱やソロ演奏に適したものに改善されうるということを示唆している。次に、ソロ演奏者に対象を絞って、歌詞のある声楽演奏曲をモチーフに、シミュレーション音場で一対比較法による実験を行った。その結果、速いテンポの演奏の場合は平均で 14[ms]という好ましい単一反射音の遅れ時間が存在し、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間と音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値の間に比例関係があることが示唆された。しかし、遅いテンポの演奏の場合はプリファレンスの判断は一意でなかった。そこで音源信号のτ_cが異なる場合にも提案した理論式が適用できるかどうか、また室容積の大きいシミュレーション音場を用いることにより判断の精度が向上するかどうかを検討し、本論文で提案する理論を検証する必要があると判断したため、次章で取り扱っている。</p> <p>第4章では、歌詞の違いによって声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間が変化するかどうかを検証することを目的としている。第3章よりも容積の大きい無響室でシミュレーション音場を構築して、“la”の歌詞を用いた声楽演奏曲をモチーフに、一対比較法による実験を行った。その結果、通常の歌詞で歌う場合よりも“la”の歌詞で歌う場合のほうが、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間および音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値は共に長くなって、その比例関係が保たれることが示唆された。</p>			

氏名	Dennis Noson
<p>第 5 章では、歌詞の違いが骨伝導音のラウドネスに与える影響を評価し、その骨伝導音の効果が、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間に影響を与えるかどうかを検証することを目的としている。まず、"la"と"hum"の単一母音をモチーフに、マイクロフォンとスピーカーとアデプティブエーターを用いて、直接音と電氣的に遅らせた音とのラウドネスのマッチング実験を行った。その結果、マッチング時の外耳道位置での反射音の音圧レベルは直接音に対して平均で 22.4dB 小さいことがわかった。この結果、声楽演奏者は空気伝達による骨伝導を加えた直接音よりも音場からの反射音を過大に評価していることを示唆している。また、それぞれの歌詞でその相対レベルは有意に異なり、"hum"ではスピーカーからの再生音による音圧が"la"と比べて平均で 9.9dB 大きいという結果を得た。この結果、"hum"では骨伝導音によって直接音が"la"よりも平均で 9.9dB 増幅されていることを示唆している。</p> <p>次に、"hum"の歌詞を用いた声楽演奏曲をモチーフに、シミュレーション音場で一対比較法による実験を行った。その結果、通常のコピーや"la"の歌詞で歌う場合よりも"hum"の歌詞で歌う場合のほうが、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間および音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値が共に長くなり、その比例関係は保たれることが示唆された。さらに、実験で得られた反射音の過大評価と骨伝導音のラウドネスの効果を考慮してから、直接音に対する反射音のレベルを決定し、本論文で提案する理論式に代入することによって、声楽演奏者が好ましいと判断する単一反射音の遅れ時間の予測精度が飛躍的に向上する($r^2=0.97, p<0.01$)ことがわかった。この結果は、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス判断には、反射音の過大評価と骨伝導音による直接音の増幅の効果が有意に影響しており、その効果を考慮した本論文で提案するモデルが有効であることを強く示唆している。</p> <p>第 6 章では、声楽演奏者による音場の心理的プリファレンス評価の個人差および個人内変動について述べている。第 4 章で得られたプリファレンス実験の結果を元に、反射音の遅れ時間の最適値およびプリファレンスカーブの鋭さを決定する α 値が実験を重ねることで有意に変化するかどうかを検証した。その結果、最初の実験と 6 ヶ月後の実験で個人ごとの反射音の遅れ時間の最適値そのものは変化しないが、α 値は有意に大きくなって(平均 15%, $p<0.05$)プリファレンス判断の鋭さが向上することがわかった。</p> <p>第 7 章では、上記の結果を踏まえ、本論文の内容をまとめている。本論文で明らかにした内容は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ステージ音場に反射音を付加することで声楽演奏者のプリファレンスが向上($p<0.05$)する (第 3 章)。 2) 声楽演奏者は空気伝達による骨伝導を加えた直接音よりも反射音を平均で 22.4dB 過大に評価($p<0.01$)している (第 5 章)。 3) 歌詞を変化させることにより直接音に対する反射音の心理的大きさが変化($p<0.01$)し、そのレベルの差(平均 9.9dB)は骨伝道による直接音のラウドネスの差と考えられる (第 5 章)。 4) 音場からの反射音の過大評価、骨伝導音のラウドネス、音源信号の自己相関関数の有効継続時間の最小値の効果を統合した理論式を用いることで、声楽演奏者による反射音場の心理的プリファレンスが正確に予測できる($r^2=0.97, p<0.01$) (第 5 章)。 5) 声楽演奏者に好ましい反射音の遅れ時間を求める実験においては、実験を重ねても個人ごとの最適値そのものは変化しないが、判断の鋭さは向上する($p<0.05$) (第 6 章)。 <p>以上、本論文は、声楽演奏者による反射音場の心理的プリファレンスを明らかにしたものであり、建築音響学・環境心理生理学の分野において価値ある集積である。よって申請者 Dennis Noson は、博士 (学術) の学位を得る資格があると認める。</p>	