

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
研究期間：2007～2008
課題番号：19860046
研究課題名（和文） 演奏者と音楽ホールの相互作用の研究－響きに応じた演奏表現の音響学的検討
研究課題名（英文） Investigation of the interaction between musician and concert hall: acoustic interpretation of the musicians' adjustment of their performance according to room acoustic conditions
研究代表者 加藤 浩介 (KATO KOSUKE) 大阪大学・先端科学イノベーションセンター・助教 研究者番号：90444504

研究成果の概要：三次元音場シミュレーションによる響きの呈示下での演奏実験と、そこで得られた演奏音の音響分析を組合せるという新たな試みにより、第一線で活躍する熟練の演奏者らがホールの音響条件に応じて種々の演奏表現を調整することを定量的に確認した。本研究で得られた知見は、演奏音をホールの響きによって変化するものと考えて行う建築音響設計、ならびに演奏者が演奏者を志すものに対して行う、ホール音響に応じた調整という演奏技能に関する演奏教育のために有用であると考えられる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	990,000	0	990,000
2008年度	1,040,000	312,000	1,352,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,030,000	312,000	2,342,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：演奏、室内音響、コンサートホール音響、音響分析、音場、音楽知覚認知

1. 研究開始当初の背景

音楽ホールにおいて、演奏者はホールの響きに応じて演奏法をコントロールし、聴衆はホールの響きを伴った演奏を聴く（図1）。このように演奏表現と室内音響は極めて密接な関係にあるが、両者を融合する視点での科学的アプローチは乏しい。演奏者、音響設計者、舞台技術者、聴衆が協調して選曲・奏法・ホール音響制御について意見を交わし、個々の楽曲のもつ魅力を最大限に引き出し聴衆に伝えるという大目標を実現するためには、客席における音楽演奏の聴取を扱う従

来の研究領域に加えて、近年重要性が認められてきた「演奏者と音楽ホールの相互作用」を扱う研究領域の開拓が不可欠であると考えた。

報告者らは2006年度から、熟練の器楽演奏者およびオペラ歌唱者を対象とする試奏実験を遂行した。すなわち、ホールの響きを実験室内に再現する三次元音場シミュレーションを用いて、演奏者とホール音場との相互作用を創出し、演奏者へのインタビューと収録音の音響分析と収録音の試聴実験とを通じて、演奏表現と室内音響特性との相互作用

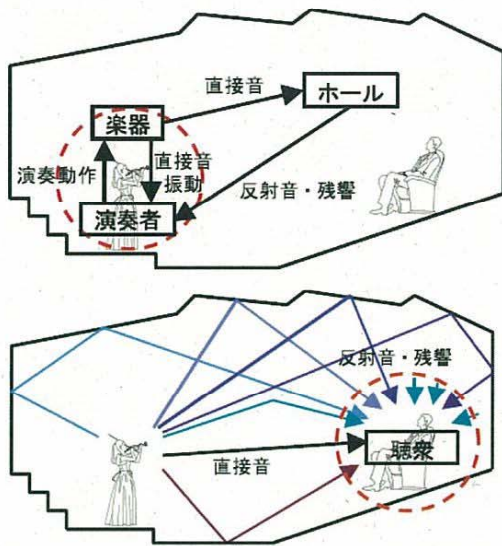


図1：演奏者、楽器、ホール、聴衆の関係

的關係の心理学的・物理学的解釈を試みた(図2)。その結果、ホールの響きに応じた演奏は存在するという、つまり、熟練の演奏者はホールの響きの違いを知覚的に識別し、ホールの響きに応じて意識的または無意識的に演奏をコントロールするという現象をとらえた。例えば、演奏のテンポとピブラート特徴量とは、演奏者の意識に応じて調整されていることを示した。しかしながら、それらの演奏の調整は演奏者の個人的経験に基づくもので、具体的な方法は演奏者同士でも共有されておらず、科学的に明らかになっていないという課題が残されていた。

2. 研究の目的

本研究は、三次元音場シミュレーションによる響きの呈示下での演奏実験と、そこで得られる演奏音の音響分析を組合せるという新たな試みにより、上記の課題の解決を目指す。すなわち、楽器の違い、曲の特徴との関係を考慮し、ホール音場において演奏者がどのように演奏表現を調整するかについて、科学的に理解することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

熟練の演奏者は演奏者自身の意識とおおよそ一致して、人間の耳で聴いてもその差異が分かる程度の差をつけて、演奏音のテンポとピブラート特徴量をコントロールするという現象を、本研究に先立つ2006年度の研究においてとらえることができていた。さらに2007年度の前半において、各音場条件下で得られた個々の演奏者のコメントと、収録音の試聴実験を通して、得られたコメントの分析を進めた結果、少なくともテンポ・音

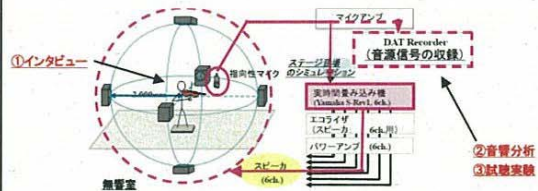


図2：第一線で活躍する演奏者を対象とする三次元音場シミュレーションによる演奏実験

量・強弱・音符長・ピブラート・倍音に関しては、演奏者がホールの響きに応じて調整する可能性が示されていた。

そこで本研究では、以下の演奏実験およびそこで得られる演奏音の音響分析により、次の3点について考察・検証を行った。

- 1) ホールの響きによって各演奏表現はどの程度変化するのか？
- 2) ホールの響きに応じた各演奏表現の調整に対する演奏者の意識と演奏音の音響特徴量の変化とは対応するのか？
- 3) 各演奏表現は、ホール音場のどの音響指標の変化に応じて調整されるのか？

すなわち、バイオリン奏者1名、オーボエ奏者1名、フルート奏者2名、およびバリトン歌手1名の計5名の第一線で活躍する演奏者(以下、VN、OB、FL1、FL2、BRと表記)が、無響室、小ホール、中ホール、大ホール、および教会の計5つの音響空間(以下、AE、HS、HM、HL、CHと表記)の響きをシミュレートした音場条件下で演奏した演奏の録音に対して、これらの演奏表現に対応する演奏音の音響特徴量を系統的に分析した。ここで、演奏曲はロングトーンを含むテンポの遅い曲として、Schubert作曲の*Ave Maria*の冒頭(以下AMと表記)、およびスタッカートを含むテンポの速い曲として、Gossec作曲の*Gavotte*の冒頭(以下GVと表記)それぞれ20秒程度の部分を選んだ。ただし後者は声楽曲ではないため、BRのみScarlatti作曲の*Gia il sole dal gange*の冒頭7秒程度の部分を選んだ。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

①ホールの響きによって各演奏表現はどの程度変化するのか？

ホールの音場条件による演奏音の音響特徴量の変化の度合いをまとめたものを表1に示す。この表において、例えば、5つの異なる音場におけるバイオリン奏者VNの演奏は、最も遅く演奏した音場におけるテンポの平均値が、最も速く演奏した音場におけるテ

ンポの平均値と比較して、VN の全ての演奏のテンポの平均値の 12.7%相当遅かったことを意味している。

ところで、演奏のテンポでは 5%、演奏の音量では 1 dB、演奏のビブラート速さでは 6%程度の変化があれば、その違いが人間の耳で聴いて知覚されることが、先行研究により報告されている。本研究で得られた、音場条件によるこれらの音響特徴量の変化の度合いのうちいくつかは、これらの知覚の閾値を超えるものであった。一方、本研究に関連する試聴実験を行った結果、テンポ、強弱、音符長、ビブラートについては、異なる音場で演奏された演奏音の違いが耳で聴いて知覚されることが示された。したがって、少なくとも、テンポ、音量、強弱、音符長、ビブラートのうちいくつかの演奏表現については、耳で聴いてその違いがわかる程度以上にホールの響きによって変化するということが明らかになったといえる。

②ホールの響きに応じた各演奏表現の調整に対する演奏者の意識と演奏音の音響特徴量の変化とは対応するのか？

5 つの音場における演奏者に対するインタビューの結果得られた、ホールの響きに応じた演奏表現の調整に対する演奏者のコメントと、演奏音の音響特徴量の変化の対応の有無についてまとめたものを表 2 に示す。この表において、例えば、5 つの異なる音場における奏者 VN の曲目 AM の演奏の音量の調整に関するコメントは、音響分析の結果得られた音圧レベルの値と比較して、それぞれ AE：不一致(●)、HS：一致(○)、HM：コメントなし(-)、HL：コメントなし(-)、CH：一致(○)、であったことを示している。

このように、ホールの響きに応じた演奏の調整に関する言及は、言及数については演奏表現や演奏者によって異なるものの、言及内容については、おおよそ演奏音の音響特徴量の変化と一致するという結果が得られた。一方で、演奏の調整に対するコメントが得られていない場合や、演奏の調整に対して否定的な意見が得られた場合であっても、演奏音の音響特徴量がホールの響きによって変化するケースも見られた。したがって、ホールの響きに応じた演奏の調整は、意識的または無意識的に行われるものであるといえる。

③演奏表現は、ホール音場のどの音響指標の変化に応じて調整されるのか？

実験で呈示した音場の音響指標と分析された演奏音の音響特徴量との相関関係についてまとめたものを、表 3 に示す。以下、演奏表現毎に、どのようなホールの響きの変化に応じて各演奏表現が調整されるのかについて考察する。

テンポ：残響時間が長い音場と残響時間が短い音場において、共に演奏のテンポが遅く

なるという結果が得られ、先行研究の結果と一致した。これらの演奏の調整が行われた原因は、先行研究と同様に、一音一音の音量を確保するために残響時間の短い音場でテンポを遅くし、聴衆に届く演奏音の間の長さを一定にするために残響時間が長い音場でテンポを遅くしたからであると考えられる。

音量：ルームゲイン(直接音のエネルギーに対する、直接音と全ての反射音を合わせたエネルギーのレベル)が大きい音場、すなわち反射音のエネルギーが大きい音場ほど、演奏の音量が小さくなるという結果が得られた。これは、ピアノ奏者や教師が、ルームゲインの大きい音場で演奏の音量や声量を小さくするという先行研究の結果と一致していた。

表 1：音場条件による演奏音の音響特徴量の変化の度合い

音響特徴量	曲名	演奏者				
		VN	OB	FL1	FL2	BR
テンポ [%]	AM	12.7	3.3	9.9	21.3	11.6
	GV	11.7	5.6	9.8	13.6	2.6
音圧レベル(全体) [dB]	AM	1.6	3.7	3.0	2.7	0.8
	GV	3.2	0.8	2.5	1.7	1.8
音圧レベルの幅 [dB]	AM	1.2	1.6	4.1	3.9	2.8
音符長 [%]	GV	17.0	34.0	12.8	20.6	-
間の長さ [%]	GV	20.0	28.0	20.7	18.1	-
立ち上がり時間 [%]	AM	36.2	20.5	17.1	7.9	14.2
周波数ビブラート深さ [%]	AM	44.4	18.7	36.9	57.0	16.1
振幅ビブラート深さ [%]	AM	27.4	29.6	17.5	62.1	24.9
周波数ビブラート速さ [%]	AM	0.9	6.8	3.5	13.6	3.2
スペクトル重心 [%]	AM	2.5	4.3	6.1	5.0	1.7

表2：演奏音の音響特徴量の変化と響きに応じた演奏表現の調整に対する演奏者のコメントとの対応の有無(○:コメントと一致、●:コメントと不一致、-:コメントなし)

演奏音の音響特徴量	曲名	音場	コメントとの対応の有無				
			VN	OB	FL1	FL2	BR
テンポ	AM	AE	-	○	-	-	-
		HS	○	-	●	-	-
		HM	○	○	-	-	-
		HL	-	○	-	-	-
	GV	CH	○	○	○	-	○
		AE	-	○	-	-	-
		HS	○	-	○	-	-
		HM	○	○	-	-	-
音圧レベル(曲全体)	AM	HL	-	○	-	-	-
		CH	○	○	○	-	-
		AE	○	-	-	-	-
		HS	○	-	○	-	-
	GV	HM	-	-	-	-	-
		HL	-	-	-	-	-
		CH	●	○	○	●	-
		AE	-	-	-	-	-
曲内の音圧レベルの幅	AM	HS	-	-	-	-	
		HM	-	-	-	-	
		HL	-	-	○	-	-
		CH	-	-	-	-	-
音符長	GV	AE	-	-	●	-	
		HS	-	-	-	-	
		HM	-	-	-	-	
		HL	○	○	○	-	
間の長さ	GV	CH	○	-	○	-	
		AE	-	○	●	-	
		HS	-	-	○	-	
		HM	-	-	-	-	
立ち上がり時間	AM	HL	-	-	-	-	
		CH	-	○	○	-	
		AE	-	-	-	-	
		HS	-	-	○	-	
周波数ビブラート深さ	AM	HM	-	-	-	-	
		HL	-	-	-	-	
		CH	-	○	○	-	
		AE	○	-	○	-	
振幅ビブラート深さ	AM	HS	○	○	-	-	
		HM	○	○	-	-	
		HL	○	-	○	-	
		CH	○	○	●	-	
周波数ビブラート速さ	AM	AE	○	-	-	-	
		HS	-	-	-	-	
		HM	-	○	-	-	
		HL	-	-	○	-	
スペクトル重心	AM	CH	-	○	○	-	
		AE	●	-	-	-	
		HS	○	-	○	-	
		HM	-	-	-	-	

表3：演奏音の音響特徴量とホールの音響指標との相関関係(RT:残響時間[s], RG:ルームゲイン[dB], ITD:初期反射音の遅れ時間[ms])。ただし、テンポに関しては、RTを説明変数として2次曲線をあてはめた場合の決定係数。

演奏音の音響特徴量	曲名	ホールの音響指標	演奏者毎の相関係数(ただしテンポは決定係数)				
			VN	OB	FL1	FL2	BR
テンポ [%]	AM	RT	0.73	0.47	0.47	0.47	0.23
	GV	RT	0.69	0.70	0.03	0.79	0.09
音圧レベル(全体) [dB]	AM	RG	-0.48	-0.51	-0.23	-0.53	-0.25
	GV	RG	-0.59			-0.41	-0.78
音圧レベルの幅 [dB]	AM	RG	-0.50		-0.47		
	GV	RT	-0.64	-0.89		+0.24	-
間の長さ [%]	AM	ITD	-0.44	+0.30	+0.49		
	GV	RT	+0.45	+0.89	+0.22	+0.54	-
立ち上がり時間 [%]	AM	ITD	-0.44	+0.30	+0.49		
	GV	RT	+0.45	+0.89	+0.22	+0.54	-
周波数ビブラート深さ [%]	AM	RT	-0.58		-0.48		-0.67
	GV	RT					
振幅ビブラート深さ [%]	AM	RT		+0.51		+0.52	
	GV	RT					
周波数ビブラート速さ [%]	AM	RT			+0.20		
	GV	RT					
スペクトル重心 [%]	AM	RG	-0.68	-0.29	-0.29	-0.64	-0.68
	GV	RT					

音符長・間の長さ：残響時間が長い音場ほど、音符長が短くなり、間の長さが長くなるという傾向が見られた。この結果は、ピアニ奏者が残響時間の長い音場において間を長くして演奏するという先行研究の結果と一致するものである。これは、連続する音符が重ならないようにするための、演奏表現の調整であると理解することができる。

立ち上がり時間：直接音に対する初期反射音の遅れ時間が遅い場合には、反射音が分離して聴こえるのを避けるために、立ち上がり

を遅く演奏するのが好ましいということが、先行研究において指摘されていた。しかし、本研究では、2名の演奏者（OBとFL1）については先行研究と同様の結果が得られたものの、1名の演奏者（VN）については先行研究とは逆の結果が得られた。これは、アベマリアの演奏におけるバイオリンの演奏音の立ち上がり時間が、初期反射音の遅れ時間と同程度かそれよりも遅いために上記のように反射音が分離して聴こえるということは起こらず、上記とは異なる目的で立ち上がりの調整がなされたためであると推察される。今後、この点については更なる検証が必要である

ビブラート：残響時間が長い音場において、周波数ビブラートの音響的な構造が不明瞭になるということが、先行研究において指摘されている。本研究では、3名の演奏者（VN、FL1、BR）が、残響時間が長い音場ほど、周波数ビブラートの深さを浅くし、一方で2名の演奏者（OBおよびFL2）は、残響時間が長い音場ほど、振幅ビブラートの深さを深くするという興味深い結果が得られた。演奏者のコメントを参考にして考察すると、残響時間が長い音場においては、周波数ビブラートが深すぎるとビブラートの波が重なって響きの質が悪くなるのではないかと推定される。しかし、このような演奏の調整がどのような演奏効果をもたらすのかについては、聴感実験を通じた更なる検証が必要である。

スペクトル重心（倍音の大きさに関する指標）：ルームゲインが大きい音場ほど倍音のレベルが小さくなるという興味深い結果が得られた。一方で、倍音のレベルは音量の減少にともなって小さくなることが知られており、今回も同様の結果が得られている。つまり、今回倍音のレベルが変化した原因が、単にルームゲインが大きい音場において演奏の音量が減少したためなのか、固有の音色を生み出すために演奏が調整されたためなのか、結論づけることはできない。よって、この点について今後更なる検証が必要である。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

三次元音場シミュレーションによる自然な室内音場の響きの呈示下での演奏実験と、そこで得られる演奏音の音響分析を組み合わせるといった新たな試みにより、これまでは、演奏者の個人的経験として個別に報告されてきた「ホール音響に応じた演奏の調整」について、①調整される演奏表現の種類と調整の度合い、②演奏の調整に対する演奏者の意識と演奏音の音響的な変化との対応、③演奏表現の変化の傾向と室内音響指標との対応関係を含めて、系統的に明らかにすることがで

きた。

本研究によって得られた知見は、演奏音をホールの響きによって変化するものと考えて行う建築音響設計、ならびに演奏者が演奏者を志すものに対して行う、ホール音響に応じた調整という演奏技能に関する演奏教育のために有用であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① Kanako Ueno, Kosuke Kato, and Keiji Kawai, Effect of room acoustics on musicians' performance, Part I: Experimental investigation with a conceptual model., Acta Acustica united with Acustica (採録決定) 査読有 2010年発刊予定.

〔学会発表〕（計6件）

- ① 加藤浩介, 川井敬二, 上野佳奈子, ホール音響に応じた演奏の調整, 日本音響学会音楽音響研究会 11月度研究会, 2009年11月21日, 東京
- ② 加藤浩介, 上野佳奈子, 川井敬二, ホール音響に応じた演奏の調整の実験的研究～演奏音の音響特徴量間の相関関係～, 日本音響学会音楽音響研究会 6月度研究会, 2009年6月25日, 北海道
- ③ 加藤浩介, 上野佳奈子, 川井敬二, ホール音響に応じた演奏の変化の実験的検討—演奏音の倍音構造および立ち上がりの音響分析—, 日本音響学会 2009年春季研究発表会, 2009年3月17日, 東京.
- ④ 加藤浩介, 上野佳奈子, 川井敬二, ホール音響に応じた演奏の変化の実験的検討—演奏音の倍音構造および立ち上がりの音響分析—, 日本音響学会音楽音響研究会 10月度研究会, 2008年10月18日, 東京.
- ⑤ Kosuke Kato, Kanako Ueno, Keiji Kawai, Musicians' adjustment of performance to room acoustics, Part III: Understanding the variations in musical expressions., Optional paper of the Acoustics '08 Paris, 2008年7月3日, フランス.
- ⑥ 加藤浩介, 上野佳奈子, 川井敬二, ホール音響に応じた演奏表現の調整—音響分析による演奏音の差異の定量的検討—, 日本音響学会音楽音響研究会 3月度研究会, 2008年3月20日, 東京.

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：演奏技能修得支援装置と支援方法

発明者：加藤 浩介、上野 佳奈子、川井 敬二

権利者：国立大学法人大阪大学、国立大学法人熊本大学

種類：特許

番号：特願 2007-225915（特開 2009-58758）

出願年月日：2007 年 8 月 31 日

国内外の別：国内

○ 取得状況（計 0 件）

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤 浩介(KATO KOSUKE)

大阪大学・先端科学イノベーションセンター
助教

研究者番号：90444504

(2)連携研究者

川井 敬二 (KAWAI KEIJI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：90284744

上野 佳奈子 (UENO KANAKO)

明治大学・理工学部・准教授

研究者番号：10313107