

音楽の生演奏時における演奏者と聴取者の相互作用の解析†

山本知仁*・三宅美博*

Analysis of Interaction between Player and Listener in Music Live Performance†

Tomohito YAMAMOTO* and Yoshihiro MIYAKE*

Listening to music at concert is different from listening to it from CD player. It is caused from not only sound facilities, but also interaction between player and listener. In this research, we investigated relation between listener's respiration and music to analyze interaction in live performance. As a result, it was discovered that listener's respiration period was changed by music, and also player's 1-bar period was changed by listener, and it was suggested that mutual entrainment occurred between 1-bar period and respiration period.

Key Words : music, respiration, live performance, interaction, entrainment

1. はじめに

音楽をCDなどのメディアから聴くときと、コンサートなどの生演奏で聴くときでは、同じ曲を聴いても違う印象を受け、生演奏のほうが良い印象を受けることが多い。これまで、その原因として考えられてきたのは、音響設備の違いや演奏に伴う視覚的な情報であった。たとえば、CDなどのメディアからの音楽を、生演奏のように再現するとき、多チャンネルスピーカーによる空間性の考慮¹⁾、デジタル録音の際のサンプリングレート引き上げによる高い音域の再生²⁾、または音楽に合わせて変化する視覚的な刺激提示³⁾、などが行なわれてきた。しかしわれわれはその原因として、生演奏における演奏者と聴取者の作用の双方向性に注目した。つまり、CDなどのメディアから音楽を聴くときには、聴取者は流れてくる音楽を一方的に聴く。それに対し、生演奏時には、演奏者が聴取者から影響を受けて演奏を変化させることがある。そして、それが音楽を良く感じさせる原因になっているのではないかと考えている。

これまでわれわれは演奏者と聴取者の間の相互作用を調べるために予備的な実験を行ってきた。その中で相互に作用する要素として、演奏者については音楽(小節周期)、聴取者については呼吸(呼吸周期)に注目してきた⁴⁾。これまで、演奏者と聴取者の関係に関する研究⁵⁻⁹⁾は、主に演奏者の意図がどのように聴取者に伝わるかということに注意が払われてきた。また、音楽と呼吸の関係についてもいくつかの報告¹⁰⁻¹²⁾

がなされてきているが、そこでは主に(演奏者の)音楽が、聴取者の呼吸に対して及ぼす影響について調べられてきた。本論文では、演奏者の音楽と聴取者の呼吸の作用関係が双方向的なのではないかという仮説を立て、この仮説の検証を主たる目的とする。また、得られた結果が、CDなどのメディアによる音楽を、生演奏のように再現できるシステムの構築への足がかりになればと考えている。

本論文では、上記の仮説を検証するために、音楽を聴くことによる聴取者の呼吸周期の変化、聴取者からの影響による演奏者の小節周期の変化を調べる実験を設定した。第2章においてこの実験に関する手法を述べる。第3章では聴取者の変化、演奏者の変化についての結果を示し、聴取者と演奏者の作用の双方向性について検証する。第4章において実験結果に関する考察を行ない、最後に第5章で本論文をまとめる。

2. 実験手法

2.1 実験手順

実験における演奏は、すべて電子ピアノを用いて行なった。演奏者にはピアノを専攻する音大生4人(20~23歳、女性)、聴取者には大学院生6人(23~25歳、男性)が参加した。使用した曲は坂本龍一作曲、energy flow(4分の4拍子、88小節、ピアノソロ、歌詞なし、曲の長さ;約4分20秒)である。実験は以下の手順で行なった。

1. 聴取者の平常時の呼吸を4回計測する(1回5分)。
 - 2-1. 演奏者1人で演奏曲を6回、数分の休憩をおいて弾く。
 - 2-2. 演奏者が聴取者6人と1人ずつ対面になり演奏する。
 - 2-3. 演奏者と聴取者の間についてを置き(両者はお互い誰であるかを認識している)、再び1人ずつ演奏する。
- それぞれの演奏者は1日で2-1~2-3の実験を通して行ない

† 第40回SICE学術講演会(SICE2001)で発表(2001・7)

* 東京工業大学総合理工学研究科 横浜市緑区長津田町4259

* Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,

Tokyo Institute of Technology, Yokohama

(Received January 17, 2002)

(Revised May 29, 2002)

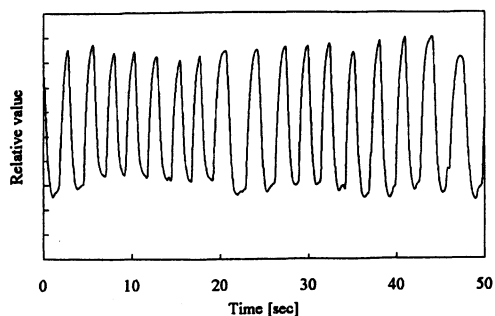


Fig. 1 Respiration wave

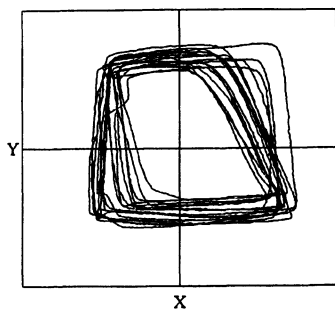


Fig. 2 Transformed respiration wave

(演奏者ごとの日は変えた), その演奏回数は18回になる。また, 実験1と2は, なるべく近い日で日を変えて行なった。

それぞれの実験で注目する値は, 聴取者の呼吸周期, 演奏者の音楽の小節周期(1小節の長さ)である。聴取者の呼吸周期はつぎのように算出した¹⁰⁾。まず, ある時刻における呼吸計測データとそれから ΔT 秒($= 0.8\text{sec}$)先行している呼吸計測データをそれぞれ横軸, 縦軸にとる。そして中心が原点にくるように座標変換する。Fig.1に計測した呼吸の生波形(値が高くなる時が吸気, 低くなる時が呼気を表す), Fig.2に変換後のグラフを示す。Fig.2が示すように, 変換後はおおむね閉じた軌道をえがくので, プロットされる点と原点を結び位相を割り出し, それが 2π になったところを1周期とした。この手法は, 呼吸周期を非常に少ない計算量で算出できるため, 計測中でも呼吸周期をリアルタイムでモニタリングすることができる。

音楽の小節周期は各演奏をMIDIデータとして記録し, 各小節の最初の音とつぎの小節の最初の音との時間間隔より算出した。

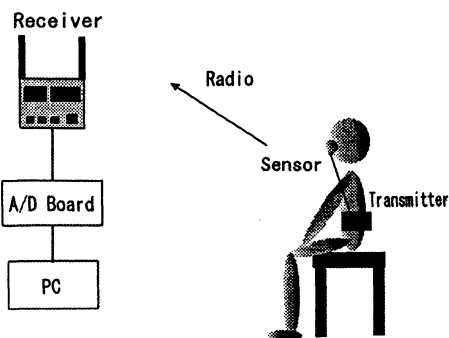


Fig. 3 Measuring system of respiration

本論文は演奏者と聴取者の間の相互作用の解析を目的としている。そのためには, 演奏条件ごと, 試行ごとの聴取者と演奏者の変化に注目する必要がある。よって, これら2つの周期の一曲にわたる平均値を基本的な指標として用いた。

またついたてを置いての演奏は, 対面演奏時に聴取者から演奏者への作用が認められたとき, その作用が聴取者が誰であるかに依存するのか, それとも視覚的なものに依存するのかを検証するためのものである。

2.2 実験システム

実験1の平常時の呼吸計測は, Fig.3に示すシステムで行なった。呼吸の計測はサーミスターセンサー(日本光電: TR-511G)を鼻腔につけ, 呼吸による鼻腔付近の空気の温度変化を検出することによって行なった。計測データは送信機(同社: XB-581Z)より, 受信機(同社: Multi Telemeter System WEB-5000)に送られ, そのアナログデータはA/Dボード(Interface: IBX-3119)により100Hzのサンプリング周期, 12bitの解像度でデジタル化されPC(Intel PentiumII 450MHz)に最終的に格納した。計測で使用した部屋は横3.6m×縦7.0m×高さ2.5m, 明るさ約2000ルクス, 温度約23℃で, 無音状態にした。

実験2の計測はFig.4に示すシステムで行なった。演奏には電子ピアノ(Roland: RD-600)を使用し, 音はスピーカー(三菱電機: DIATONE DS-51)によって提示した。他の計測装置, 計測環境については前述と同じものを使用した。聴取者は演奏者と約2.7m, スピーカーとは約2m離れており, 計測時, 部屋には演奏者1人, もしくは演奏者と聴取者の2人だけになる。実験2-3では電子ピアノの前に, 縦175cm×横125cmついたてを置き聴取者から演奏者への視覚的な情報を遮断した。ピアノ演奏はMIDI信号としてMIDIシーケンサー(emagic: Logic Audio platinum Ver 3.5)に記録し, 聴取者の呼吸との時間関係を分析できるようにした。

3. 呼吸周期と小節周期の変化

3.1 音楽を聴くことによる聴取者の呼吸周期の変化

Fig.5は平常時(In Rest)および, 対面演奏時(Face to Face), ついたてを置いての演奏時(Partition)における, 聴取者の1人である"Listener_F"の呼吸周期の平均値を示したものである。平均値は平常時に関しては4試行の時系列データ, 音楽聴取2

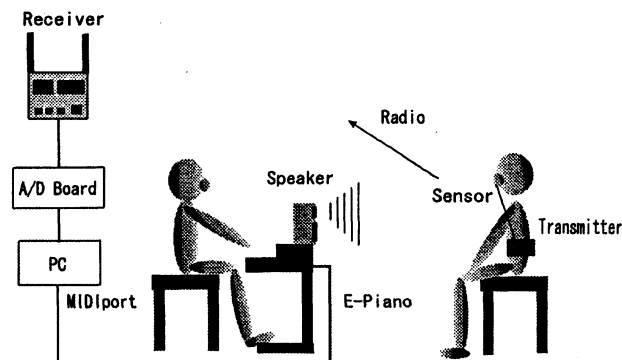


Fig. 4 Measuring system of a live performance

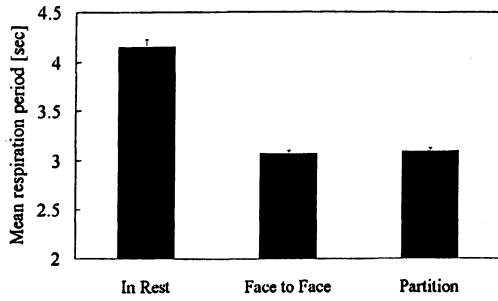


Fig. 5 Mean respiration period of a listener

条件に関しては4人の演奏者の時系列データから算出した(以下この値を, “全体にわたる平均値”と記す). 図より平常時の呼吸周期に比べ, 音楽聴取時における呼吸周期がいずれも変化していることがわかる.

Table 1はすべての聴取者(Listener_A,B,C,D,E,F)の平常時(In Rest), 対面演奏時(Face to Face), ついたてを置いての演奏時(Partition)における, それぞれの演奏者(Player_1,2,3,4)に対する呼吸周期の平均値, および全体にわたる平均値(Mean)とその標準偏差(S.D.)を示したものの(単位はすべて[sec])である. 表の下から二番目の行は, 平常時と対面演奏時との間で, また一番下の行は, 平常時とついたてを置いての演奏時との間で, 全体にわたる平均に関して両側のウェルチの検定を行なった時の有意差の有無を示している. **は $p < 0.01$ で有意差があることを示し, $p = 0.05$ より有意水準が大きいときは結果の p 値をそのまま表示している. 表から, Listener_B と Listener_C の

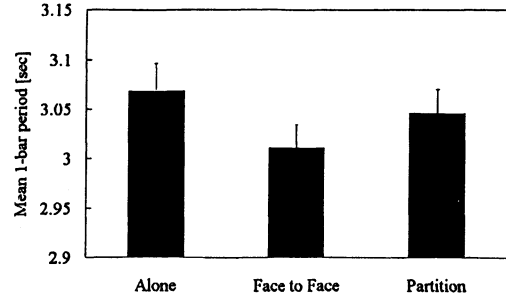


Fig. 6 Mean 1-bar period of a player

ついたてを置いての演奏時を除いて, 明らかに平常時から呼吸周期が変化していることがわかる.

3.2 聴取者からの影響による演奏者の小節周期の変化

Fig.6は1人での演奏時(Alone), 対面演奏時(Face to Face), ついたてを置いての演奏時(Partition)において, 演奏者の1人である“Player_4”が演奏した音楽の小節周期の平均値を示したものである. 平均値は, 1人での演奏時では6演奏分, 他の演奏2条件では聴取者6人分の時系列データから算出した. 図より対面演奏時に, 音楽の小節周期が変化していることがわかる.

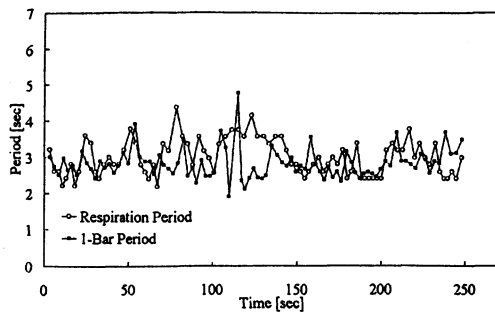
Table 2はすべての演奏者(Player_1,2,3,4)の, 1人での演奏時(Alone), 対面演奏時(Face to Face), ついたてを置いての演奏時(Partition)におけるそれぞれの聴取者(Listener_A,B,C,D,E,F)に対する小節周期の平均値, および全体にわたる平均値(Mean)とその標準偏差(S.D.)を示したものの(単位はすべて

Table. 1 Respiration period of listeners

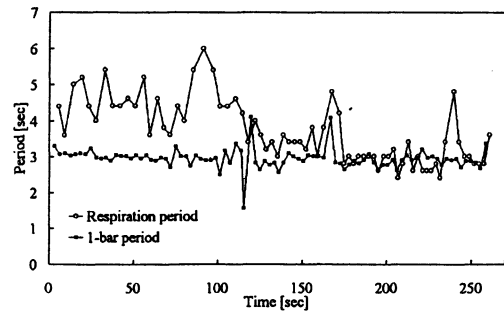
	Listener_A			Listener_B			Listener_C			Listener_D			Listener_E			Listener_F		
	In Rest	Face to Face	Partition	In Rest	Face to Face	Partition	In Rest	Face to Face	Partition	In Rest	Face to Face	Partition	In Rest	Face to Face	Partition	In Rest	Face to Face	Partition
Player_1	4.609	3.792	3.580	4.600	4.215	4.989	2.817	3.110	2.861	4.385	4.787	5.404	3.248	2.528	2.360	3.230	3.102	3.283
Player_2	4.947	3.659	3.383	4.191	4.066	3.927	2.533	2.817	2.531	4.943	4.566	4.044	3.047	2.422	2.549	4.525	3.070	2.846
Player_3	4.043	3.678	3.626	4.872	3.987	3.853	2.705	2.726	2.667	5.052	4.224	4.422	2.605	2.418	2.575	4.746	2.986	3.015
Player_4	4.970	2.934	3.739	3.862	4.116	4.131	2.696	2.892	2.755	4.497	3.753	4.268	3.259	2.575	2.481	4.505	3.136	3.263
Mean	4.609	3.489	3.550	4.349	4.098	4.198	2.686	2.885	2.702	4.697	4.312	4.502	3.015	2.486	2.484	4.150	3.074	3.097
S.D.	0.9078	0.8330	0.9665	1.192	0.6570	0.8185	0.4831	0.3915	0.3924	0.5210	0.7032	0.8465	0.5211	0.3954	0.3563	1.277	0.5774	0.5802
t-Test		**	**		**	0.0911		**	0.604		**	**		**	**		**	**

Table. 2 1-bar period of players

	Player_1			Player_2			Player_3			Player_4		
	Alone	Face to Face	partiton	Alone	Face to Face	partiton	Alone	Face to Face	partiton	Alone	Face to Face	partiton
Listener_A	3.318	3.234	3.206	2.900	2.939	3.042	2.705	2.842	2.856	3.019	2.984	3.020
Listener_B	3.278	3.197	3.219	2.955	3.004	2.973	2.728	2.834	2.839	3.053	3.014	3.041
Listener_C	3.313	3.233	3.244	2.952	3.074	2.971	2.791	2.844	2.842	3.093	3.007	3.037
Listener_D	3.267	3.255	3.299	2.959	3.030	3.009	2.778	2.847	2.781	3.062	3.031	3.075
Listener_E	3.211	3.227	3.273	2.958	2.981	2.948	2.759	2.797	2.812	3.093	3.024	3.050
Listener_F	3.197	3.250	3.311	3.026	2.975	2.977	2.773	2.821	2.795	3.091	3.008	3.053
Mean	3.264	3.233	3.259	2.958	3.001	2.987	2.756	2.831	2.821	3.069	3.011	3.046
S.D.	0.3717	0.3328	0.3923	0.3436	0.3213	0.3222	0.4848	0.4604	0.4680	0.6383	0.5322	0.5515
t-Test		0.148	0.817		*	0.162		*	*		0.111	0.536



(a) Listener_F and Player_3



(b) Listener_A and Player_2

Fig. 7 Time course of respiration period and 1-bar period

[sec]である。表の下から二番目の行は、1人での演奏時と対面演奏時との間で、また一番下の行は、1人での演奏時とついでを置いての演奏時との間で、全体にわたる平均に関して両側のウェルチの検定を行なった時の有意差の有無を示している。*は $p < 0.05$ で、有意差があることを示し、それより有意水準が大きいつきは結果の p 値をそのまま表示している。表よりすべての演奏者において、1人での演奏時と対面演奏時の間で有意傾向があるのがわかる。この結果は、対面演奏時に、演奏者が聴取者からの影響を受け、その演奏が変化したことを示唆している。

3.3 小節周期と呼吸周期の作用の双方向性

Fig.7(a)に対面演奏時におけるListener_FとPlayer_3, Fig.7(b)にListener_AとPlayer_2の呼吸周期と小節周期の時間変動を示す。これらの図では縦軸に周期、横軸に時間をプロットしている。Fig.7(a)では125秒前後を除いて、Fig.7(b)では120秒以後、

おおむね2つの時間変動が重なっているのがわかる。3.1節より、聴取者の呼吸周期が音楽聴取時に変化することが示された。3.2節より、演奏者の小節周期が聴取者から影響を受け変化することが示唆された。この節ではこの呼吸周期と小節周期の作用が双方向的であるかどうかについて検証する。

3.3.1 小節周期から呼吸周期への作用

演奏者の小節周期が、聴取者の呼吸周期に作用しているかどうかを検証するためには、3.1節のTable 1で示した各聴取者の呼吸周期の各演奏者による変化が、各演奏の小節周期に依存するかどうかを検証すればよい。そこで各演奏の小節周期に対する相関関係を調べる。ただし、すべての聴取者の呼吸周期との相関関係を調べるために、各聴取者のそれぞれの演奏に対する呼吸周期の平均値(Table 1のPlayer_1,2,3,4の行の値)と全体にわたる平均値(Table 1のMeanの値)との比を、対応する値として用いる。

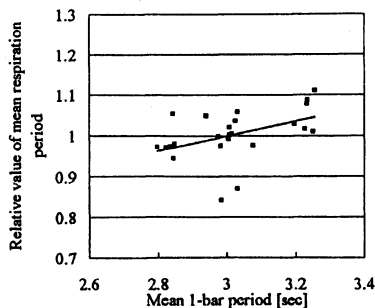
Table 3 Relative value of mean respiration period of listeners

(a) Face to Face

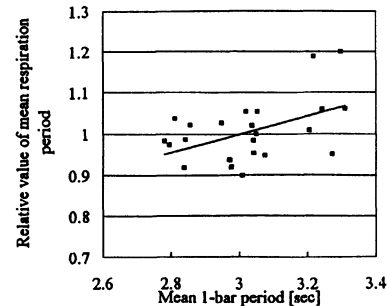
Face to Face	Player_1	Player_2	Player_3	Player_4
Listener_A	1.0868	1.0488	1.0541	0.84099
Listener_B	1.0285	0.99209	0.97292	1.0043
Listener_C	1.0779	0.97636	0.94476	1.0023
Listener_D	1.1100	1.0587	0.97956	0.87029
Listener_E	1.0167	0.97425	0.97247	1.0355
Listener_F	1.0092	0.99869	0.97121	1.0201
Mean	1.0549	1.0081	0.98250	0.96225

(b) Partition

Partition	Player_1	Player_2	Player_3	Player_4
Listener_A	1.0084	0.95311	1.0215	1.0533
Listener_B	1.1884	0.93542	0.91776	0.98401
Listener_C	1.0589	0.93683	0.98691	1.0195
Listener_D	1.2003	0.89834	0.98216	0.94794
Listener_E	0.95010	1.0260	1.0365	0.99886
Listener_F	1.0599	0.91874	0.97341	1.0536
Mean	1.0777	0.94474	0.98637	1.0095



(a) Face to Face



(b) Partition

Fig. 8 Relation between mean 1-bar period and relative value of mean respiration period

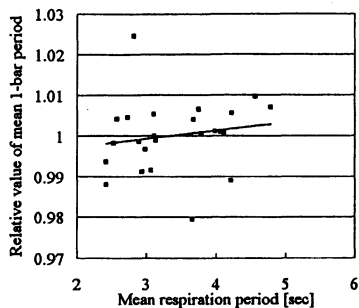
Table 4 Relative value of mean 1-bar period of players

(a) Face to Face

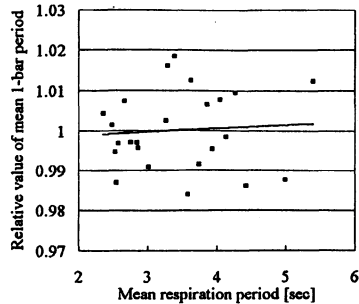
Face to Face	Listener_A	Listener_B	Listener_C	Listener_D	Listener_E	Listener_F
Player_1	1.0005	0.98899	1.0000	1.0070	0.99813	1.0054
Player_2	0.97951	1.0011	1.0246	1.0097	0.99365	0.99150
Player_3	1.0041	1.0012	1.0045	1.0056	0.98805	0.99661
Player_4	0.99113	1.0008	0.99855	1.0065	1.0042	0.99881
Mean	0.99380	0.99801	1.00691	1.0072	0.99601	0.99808

(b) Partition

Partition	Listener_A	Listener_B	Listener_C	Listener_D	Listener_E	Listener_F
Player_1	0.98400	0.98772	0.99562	1.0124	1.0043	1.0160
Player_2	1.0184	0.99535	0.99472	1.0077	0.98698	0.99687
Player_3	1.0125	1.0065	1.0072	0.98606	0.99680	0.99089
Player_4	0.99146	0.99830	0.99706	1.0094	1.0014	1.0024
Mean	1.0016	0.99696	0.99867	1.0039	0.99738	1.0015



(a) Face to Face



(b) Partition

Fig. 9 Relation between mean respiration period and relative value of mean 1-bar period

Table 3にその値を示す。Table 3(a)は対面演奏時、Table 3(b)はついたてを置いての演奏時を示している。

Fig.8(a)は縦軸にTable 3(a)の値を、横軸に対応するTable 2の対面演奏時の小節周期をプロットし、Fig.8(b)は縦軸にTable 3(b)の値を、横軸に対応するTable 2のついたてを置いての演奏時の小節周期をプロットしている。Fig.8(a)における相関係数は0.445、Fig.8(b)は0.477である。また、両方とも母相関が0であるとする帰無仮説は $p < 0.05$ で棄却される。このことは、Fig.8(a),(b)において正の相関関係があることを示している。

これらの結果は対面演奏時、ついたてを置いての演奏時の両方において、それぞれの演奏者の小節周期が各聴取者の呼吸周期に作用していることを示唆する。また、これはHaasらの報告¹⁰⁾とも一致する。

3.3.2 呼吸周期から小節周期への作用

聴取者の呼吸周期が、演奏者の小節周期に作用しているかどうかを検証するためには、3.2節のTable 2で示した演奏者の小節周期の聴取者による変化が、各聴取者の呼吸周期に依存するかどうかを検証すればよい。そこで各聴取者の呼吸周期に対する相関関係を調べる。ただし、すべての演奏者の小節周期との相関関係を調べるために、各演奏者がそれぞれの聴取者に弾いた演奏の小節周期の平均値(Table 2のListener_A,B,C,D,E,Fの行の値)と全体にわたる平均値(Table 2のMeanの値)との比を、対応する値として用いる。

Table 4にその値を示す。Table 4(a)は対面演奏時、Table 4(b)はついたてを置いての演奏時を示している。

Fig.9(a)は縦軸にTable 4(a)の値、横軸に対応するTable 1の対面演奏時の呼吸周期、Fig.9(b)は縦軸にTable 4(b)の値、横軸に対応するTable 1のついたてを置いての演奏時の呼吸周期をプロットしている。Fig.9(a)における相関係数は、外れた左

上の点を除いて0.335(左上の点を含めた場合0.163、回帰直線はこの値を反映している)、Fig.9(a)は0.0780である。また、母相関が0であるとする帰無仮説はFig.9(a)(0.335のほう)では $p=0.118$ 、Fig.9(b)では $p=0.718$ で棄却される。このことは、Fig.9(a)において正の相関関係があること、またFig.9(b)においてほとんど相関関係がないことを示唆している。

これらの結果は、対面演奏時において、それぞれの聴取者の呼吸周期が各演奏者の小節周期に作用していること、さらに、ついたてを置いての演奏時にはその作用がほとんどないことを示唆している。

4. 考察

3.3節より呼吸周期と小節周期の作用関係が双方向的であることが示唆された。また呼吸周期は小節周期に、小節周期は呼吸周期に合わせる傾向があることがわかった。これは対面演奏中に、両周期の間で相互引き込み現象が起きていることを示唆している。しかし、Table 1における聴取者の呼吸周期の値とTable 2における演奏者の小節周期の値を比較すると、すべての両周期の比率が1対1になっているわけではない。今後より詳細に引き込み現象を調べるためには、小節周期、呼吸周期の一曲にわたる平均値だけではなく、曲中における小節、フレーズなどの音のまとまりと呼吸の遷移過程も考慮して解析を行なうことが必要であると考えられる。

3.2節で演奏者の小節周期が変化することが示唆されたが、その場合、曲の全体的なテンポの変化によるものと、局所の抑揚のつけ方によるものが考えられる。Table 2における小節周期の標準偏差を見比べると、どの演奏者においても一人での演奏時より対面演奏時の値の方が小さいことがわかる。このことは、曲全体の変化による影響が大きいことを意味している。し

かし局所的な抑揚も変化している可能性は高い。よって今後、曲の遷移状態も詳細に解析する必要があると思われる。

3.1節と3.2節, 3.3.1節と3.3.2節の結果を比較すると、聴取者の呼吸周期の変化に対して演奏者の小節周期の変化は相対的に小さいといえる。このことは演奏者と聴取者の間で相互作用はあるが、基本的には演奏者から聴取者への影響が強く、聴取者から演奏者への影響は弱いことを示唆している。

また、演奏者が聴取者の呼吸に合わせているといった場合、演奏者が聴取者の呼吸を直接感じ取って合わせている可能性は低いと考えられる。3.3.2節で示したように、対面演奏時にはあった聴取者の呼吸との相関が、ついたてを置いての演奏時にはなくなる。このことから演奏者は、聴取者の体の動きなど、視覚的な情報に基づいて合わせている可能性が強いと予想される。そして、その結果として呼吸との相関が生れたのではないかと考えられる。

5. 終わりに

本論文では、生演奏を良く感じる原因の一つとして、演奏者と聴取者の作用の双方向性に注目しその解析を行なった。結果として、第一に聴取者の呼吸周期が演奏者の各演奏に影響を受け変化することを示し、第二に、対面演奏時に演奏者が各聴取者から影響を受け演奏を変化させていることを示した。第三に聴取者の呼吸周期と演奏者の小節周期の作用関係が双方向的であることを示唆した。

今後の展開として、演奏者と聴取者の関係をモデル化し、CDのようなメディアの音楽を生演奏のように再現できるシステムの構築が考えられる。さらに、その応用として、呼吸を計測し、それに合わせて音楽のテンポを変えることによって、ある程度呼吸を制御できるシステムの構築が期待される。また、本論文では扱えなかったが、演奏の主観的評価を演奏者と聴取者の生理指標などを用いて、客観的な手法で評価することも考えている。

参考文献

- 1) 桐生, 蘆原, 佐藤, 吉川昭: 次世代高品位オーディオと測定技術, 日本音響学会誌, 56-9, 653/656 (2000)
- 2) 橘 秀樹: ホール音響のオーラリゼーション, 日本音響学会誌, 56-5, 354/360 (2000)
- 3) 後藤, 村岡: 音楽に踊らされるCGダンサーによるインタラクティブパフォーマンス, コンピュータソフトウェア, 14-3, 20/29 (1997)
- 4) T. Yamamoto and Y. Miyake: Analysis of Interaction in Musical Communication and Its Modeling, Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, U.S.A., 763/768 (2000)
- 5) Y. Miyake and T. Miyagawa: Internal observation and co-generative interface, Proc. of IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Japan, I-229/I-237 (1999)
- 6) 三宅美博: 「2中心モデル」とインターフェース表現, 日本フェジ学会誌, 9-5, 637/647 (1997)
- 7) T. Nakamura: The communication of dynamics between musicians and listeners through musical performance, Perception & Psychophysics, 41-6, 525/533 (1987)

- 8) 大串健吾: 音楽演奏とコミュニケーション, 日本音響学会誌, 52-7, 558/562 (1996)
- 9) 萬田, 加藤, 木村, 片寄, 金森, 井口: インタラクティブアートにおける演奏家と観客の緊張状態の生理的解析, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 2-2, 9/16 (1997)
- 10) F. Haas, S. Distenfeld and K. Axen: Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern, J. APPL. PHYSIOL., 61-3, 1185/1191 (1986)
- 11) 中村敏枝, 感性情報処理, 151/169, オーム社 (1994)
- 12) 古浦一郎, 心理学的考察「いきが合う」, 北大路書房 (1990)
- 13) W.S. Condon and L.W. Sander: Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech, Science, 183, 99/101 (1974)
- 14) N. Kobayashi, T. Ishii and T. Watanabe: Quantitative Evaluation of Infant Behavior and Mother-Infant Interaction, hEarly Development and Parenting, 1-1, 23/31 (1992)
- 15) 渡辺, 大久保: コミュニケーションにおける呼吸の引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報処理学会論文誌, 39-5, 1225/1231 (1998)
- 16) 池口, 合原: 力学系の埋め込み定理と時系列データからのアトラクター再構成, 応用数理, 7-4, 6/16 (1997)
- 17) 長嶋, 橋本, 平賀, 平田 (編): コンピューターと音楽の世界, 共立出版 (1998)
- 18) 蔵本, 川崎, 山田, 甲斐, 篠本: パターン形成, 朝倉書房 (1991)

「著者紹介」

山本 知 仁



1975年6月20日生。2000年、東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。ヒューマンインタフェース、ヒューマンコミュニケーションの研究に従事。

三 宅 美 博 (正会員)



1959年6月8日生。89年、東京大学大学院薬学系研究科博士課程修了(薬学博士)。金沢工業大学情報工学科助手、講師、助教授を経て、96年より東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻助教授。99年よりミュンヘン大学客員教授併任。主として生命的自律性の研究に従事。生物物理学会、IEEE各会員。