

TSUKUBA

# 音楽を介したコミュニケーションにおける聴取者と演奏者の相互作用の解析とメディアプレーヤーへの応用

山本 知仁<sup>\*1</sup> 三宅 美博<sup>\*1</sup>

## Analysis of Interaction between Music Player and Listener in Music Communication and Its Application for Media Player

Tomohito Yamamoto<sup>\*1</sup> and Yoshihiro Miyake<sup>\*1</sup>

**Abstract** - In this research, we analyze the difference between listening to music at a live performance and listening to it from passive media (for example CD) from the view point of not sound facilities but interaction between a player and a listener. As a result, forced and mutual entrainment was discovered between period of a bar and period of listener's respiration. Based on measurement results, a communication model was constructed and its experiment was performed. Its result was that most of subjects felt its music was live.

**Keywords** : Human Communication, Human Interface, Music, Respiration, Entrainment

### 1. はじめに

本研究は、音楽を一方向的なメディア（CDなど）から聴くときと生演奏で聴くときとの相違を、音響設備からの視点ではなく、音楽を介するコミュニケーションの相互作用の視点から解析し、一方向的なメディアからの音楽を生演奏のように再現できるシステムの構築を試みる。

本研究では、この音楽を介したコミュニケーションを解析するにあたり、引き込み現象を用いる [1] [2]。その理由として引き込み現象の2つの様相、片方が他方に一方的に合わせるといふ強制引き込みと、両者が互いに合わせあうという相互引き込みが、一方向的なメディアからの音楽と双方向的である生演奏による音楽の相違を解析する上で有効であると考えられるからである。これまでコミュニケーションを引き込み現象を用いて研究されて例には [3] [4] などがあるが、それにおける一方向性、双方向性については言及されてこなかった。

本研究で音楽を介したコミュニケーションを、引き込み現象を用いて具体的に解析するにあたり、我々は予備実験より音楽の小節周期と聴取者の呼吸周期の間に引き込み現象を見出し、注目した。これまで音楽と人間の生理指標の関係をみた例として [5] ~ [7] などがあるが、音楽の小節情報と呼吸の対比を詳細に見た例はなかった。

### 2. 一方向的なメディアから音楽を聴くときの聴取者の呼吸と音楽の関係

ここでは、テンポが一定の一方向的なメディアから音楽

を聴くときの聴取者の呼吸周期と、音楽の小節周期の関係を考察する。

#### 2.1 計測システムと計測条件

計測は図1に示すシステムで行った。呼吸はサーミスターセンサー（日本光電：TR-511G）を鼻腔に付けて計測し、音楽はMIDIシーケンサー（emagic：Logic Audio platinum Ver 3.5）から、ヘッドホン（Roland：RH-120）用いて聴かせた。被験者は計測時、部屋に一人になり、音楽以外の音は聞こえない状態にした。

計測には20代学生6人が参加した。使用した音楽は2曲で、A：宇多田ヒカル作曲、First Love（4分の4拍子、BPM=89、ピアノソロ）、B：坂本龍一作曲、Merry Christmas Mr. Lawrence（4分の4拍子、BPM=100、ピアノソロ）である。2曲とも歌詞、曲中のテンポの変化はない。計測はこの2曲を数分おいて続けて聴かせた。

#### 2.2 計測結果

計測結果の一例（曲A）を図2に示す。このグラフでは、横軸に時間、縦軸に周期をプロットし、実線は音楽の小節周期の変動（1小節を1周期とする）、破線は聴取者の呼吸周期の変動を示している。この計測では、音楽が呼吸計測開始200秒後に始まるように設定しているため、そ

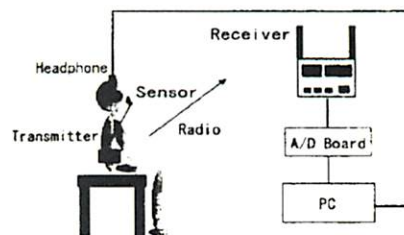


図1 計測システム  
Fig. 1 Measuring System

コミュニケーション支援

\*1: 東京工業大学大学院 総合理工学研究科  
\*1: Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering



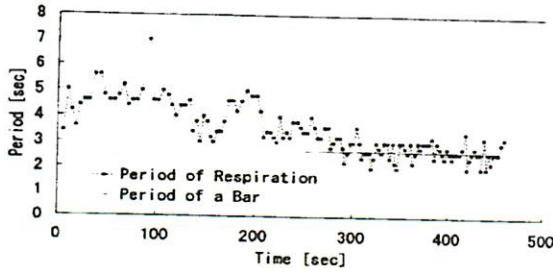


図2 聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期  
Fig. 2 Respiration Period of a Listener and a Bar  
Period of Music

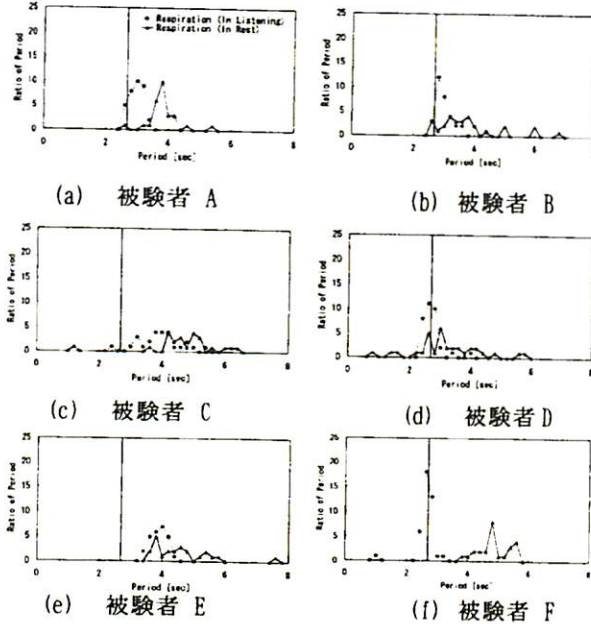


図3 聴取時と平常時の呼吸周期のヒストグラム  
Fig. 3 Histogram of Respiration Period in Rest and in Listening

れ以前の呼吸は平常時であると考えられる。音楽が始まると徐々に聴取者の呼吸周期が短くなって音楽の小節周期に近づき、その変動の幅が小さくなっているのがわかる。これは言い換えれば、呼吸周期が音楽の小節周期に1対1で強制引き込みされているということを意味する。

図3 (a)～(f)は曲Aにおける、被験者全6人の音楽聴取時100秒間と平常時100秒間の呼吸周期に関するヒストグラムであり、横軸が周期、縦軸がその周期の頻度を示している。破線が音楽聴取時、実線が平常時を示し、縦軸に平行な線は曲Aの小節周期を表している。被験者A、B、D、Fの4例は音楽の小節周期に1対1で強制引き込みされていることがわかる。被験者Eは平常時からあまり変化しているとはいえないが、被験者Cに関しては有理数比で引き込んでいる可能性があるといえる。また曲Bにおいても同様に引き込まれる様子が見られた。

### 3. 音楽の生演奏における聴取者の呼吸と音楽の関係

ここでは、ピアノによる生演奏が行なわれるときの聴取

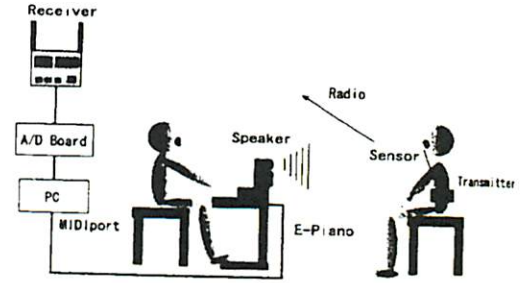


図4 計測システム  
Fig. 4 Measuring System

者の呼吸周期と音楽の小節周期の関係を考察する。

#### 3.1 計測条件

計測は図4に示すシステムで行なった。演奏用ピアノにはRoland: RD-600を使用し、他の計測装置、計測環境は2.1と同じである。演奏者にはピアノ演奏の経験が10年以上の学生1人、聴取者には2.1と同じ6人が参加した。計測は演奏者が十分に練習したピアノソロ曲(ショパン作曲: 雨だれ前奏曲, 4分の4拍子)一曲を弾き、それを被験者一人で聞くという形式で、被験者計6人を約5分間隔で通して計測した。

#### 3.2 計測結果

得られた計測結果の一例を図5に示す。このグラフは横軸に時間、縦軸に周期をプロットしており、実線は音楽の小節周期の変動、破線は聴取者の呼吸周期の変動を示す。この計測では聴取者の呼吸計測開始60秒後から音楽の演奏を行なった。テンポ一定のMIDI音楽の場合、小節の周期変動はないが、グラフが示すように生演奏ではリアルタイムでそれが変化する。それにも関わらず両周期が同調しているのがわかる。その理由として、聴取者の呼吸が単に音楽に合っているというだけではなく、演奏者も聴取者の呼吸に合わせて弾いているのではないかという仮説を立てた。つまり音楽の演奏と聴取者の呼吸との間に相互引き込みが起こっているのではないかということである。

この仮説を検証するデータのひとつが図6 (a)である。このグラフは聴取者の平常時における呼吸周期の時間平均と、演奏者の演奏時間の関係を示しており、横軸に聴取

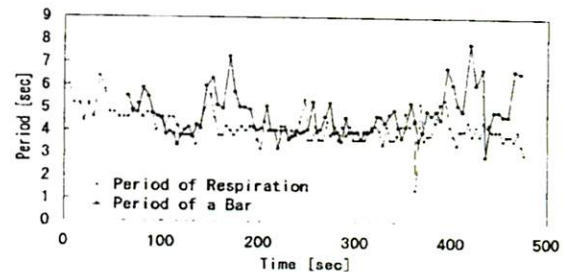


図5 聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期  
Fig. 5 Respiration Period of a Listener and a Bar  
Period of Music



者の呼吸周期平均、縦軸に演奏時間をプロットしている。グラフより、平常時の呼吸周期が長い聴取者ほど、演奏された演奏時間が長くなっていることが読み取れる。ちなみにこのグラフの相関係数は0.823である。

もうひとつのデータが図7である。図7(a)は、演奏者が計測に用いた曲を1人で4回演奏したときの音楽の演奏開始から100秒までの周期変動のそれぞれを重ねあわせたものであり、図7(b)は先の対面演奏における演奏開始から100秒までの音楽の小節周期変動を6例中4例重ねあわせたものである。図7(a)では変動パターンがそれぞれで似ているのに対して、図7(b)ではパターンが違ってくる。数値的にみると図7(a)における4つの

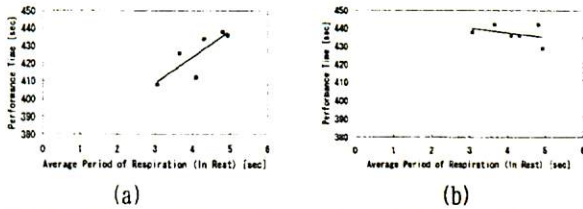
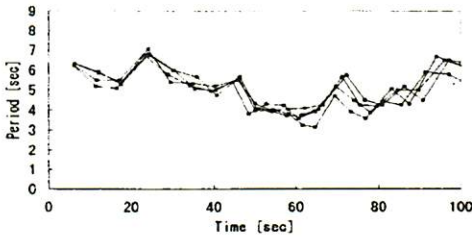
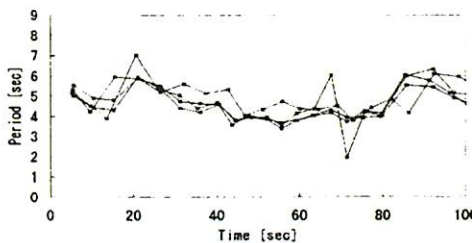


図6 聴取者の平常時の呼吸周期平均値と演奏者の演奏時間の関係

Fig. 6 Relation between Average Respiration Period of a Listener in Rest and Performance Time of a Player



(a) 一人で演奏したときの音楽の小節周期の変動



(b) 対面演奏時の音楽の小節周期の変動

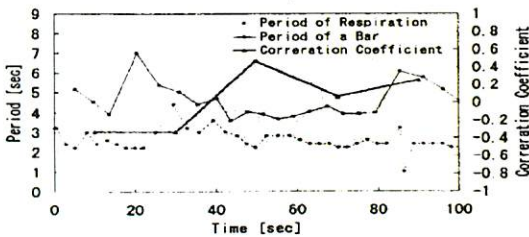


図7 対面演奏と一人で演奏する時の小節周期の相違  
Fig.7 Difference of a Bar Period between Play with a Listener and without a Listener

グラフの各時刻における分散の時間平均は、0.175 [sec<sup>2</sup>] であるのに対し、図7(b)のそれは0.322 [sec<sup>2</sup>]であった。

その原因として考えられるのが聴取者の呼吸周期である。図7(c)のグラフは図7(b)からの1例であり、聴取者の呼吸周期変動と演奏された音楽の周期変動、そして二つのデータ間の相関係数の変動を示している。1人で弾いた図7(a)と比較すると色を付して示した30秒から80秒付近において音楽の小節周期変動のパターンが違うのがわかる。そこにおいて聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期の相関が高くなっている。これは演奏者が聴取者から影響を受け、演奏を変化させたことを意味する。このことは他の例でも同様に見られた。

これら2つの結果より聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期との間で相互引き込みが起こっている可能性が高いといえる。

### 3.3 演奏者が聴取者から受ける影響

前節で聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期との間で相互引き込みがあることが示唆されたが、演奏者が聴取者の呼吸を直接感じ取るのは困難であると考えられる。ここで本研究では、演奏者が直接感じ取っているのは、聴取者の顔などを含めた体の動きやそれらの表情であり、その変化が聴取者の呼吸と相関がある、という仮説を立てた。

この仮説を検証するために、演奏者と聴取者の間についてを置き両者を視覚的に遮断し、なおかつ演奏者にヘッドホンをつけることによって自分の演奏の音以外を聞こえないようにして、先と同じ計測を行なった。図6(b)にそのときの演奏時間と聴取者の平常時の呼吸周期をプロットする。図6(a)と比べて、演奏時間と聴取者の呼吸周期平均の間に正の相関がなくなり、また演奏時間の分散も小さくなったのがわかる。この計測結果より、被験者の動きと、被験者の発する音以外の何かに演奏者が影響を受けているという可能性が排除されたといえる。

## 4. 音楽を介したコミュニケーションのモデル構築と実験

ここでは、これまでの計測結果より生演奏を擬似的に実現するシステムを構築し実験を行なう。

### 4.1 モデル化とシステム構築

これまでの計測結果より音楽と呼吸の関係を近似するモデルとして、以下に示す位相振動子の相互引き込み現象を記述する微分方程式 [9] を用いる。

$$\dot{\theta}_1 = \omega_1 + \xi_1 \sin(\theta_2 - \theta_1), \quad (1)$$

$$\dot{\theta}_2 = \omega_2 + \xi_2 \sin(\theta_1 - \theta_2).$$

ここで  $\theta_1$  は音楽を操作するエージェントつまり擬似的な演奏者の位相である。 $\omega_1$  は固有振動数であり、これは演奏される音楽から割り出す。 $\xi_1$  は結合係数であり、この値を大きくすればエージェントは聴取者の呼吸に合わせようとし、小さくすれば自分のテンポで演奏しようとする。



する。  $\theta_2$  は聴取者の呼吸の位相である。これは2.2で示した方法より割り出す。  $\omega_2$  は聴取者の呼吸固有振動数、  $\xi_2$  は聴取者における結合係数であり、この二つは聴取者の内的なものである。この(1)を使い、聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期との間で相互引き込みを起こす。

#### 4.2 実験

構築したシステムが生演奏に近い音楽を再現できるかどうかについて、実験を行なう。

##### 4.2.1 実験条件

実験は2.1と同じ設定(曲A, 曲B, 被験者6人)で、次のような手順で行なった。被験者に、用意された曲A, Bのオリジナル曲と、相互引き込みモデルを使う曲、両方を聴かせる(このとき、聴かせる順番は告げない)。2曲聴いた後「どちらがよかったか」と「どちらが生演奏に近かったか」を質問し、答えは「1番目」、「2番目」、「どちらともいえない」のいずれかから選択してもらった。この実験を曲A, Bについて2回行なった。

##### 4.2.2 実験結果

実験結果の一例(曲A)を図8に示す。このグラフは聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期の変動であり、横軸に時間、縦軸に周期をプロットしている。2.2の図2では音楽の一定の小節周期に対して呼吸が一方的に近づいているのに対して、呼吸周期だけでなく小節周期が引き込みモデルによって変動することによって、生演奏のように二つの周期が同調しているのがわかる。

次に主観的評価の結果を表1に示す。表より相互引き込みモデルを用いた曲の方がより生演奏に近いと感じるこ

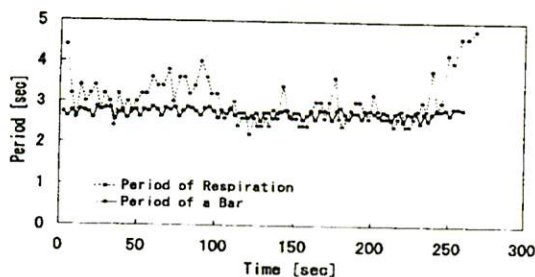


図8 聴取者の呼吸周期と音楽の小節周期

Fig. 8 Respiration Period of a Listener and a Bar Period of Music

表1 主観的評価の結果

Table 1 Result of Subjective Evaluation

	曲A				曲B			
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
被験者A	○	○	×	△	△	○	×	○
被験者B	○	○	△	○	○	○	○	○
被験者C	○	○	○	○	×	△	○	○
被験者D	×	△	○	○	×	△	○	○
被験者E	○	○	△	○	○	○	△	○
被験者F	×	○	×	△	×	○	△	○

○=相互引き込み ×=オリジナル △=どちらともいえない  
質問A:どちらがよかったか 質問B:どちらが生演奏に近かったか

とがわかる。他方、主観的によいと答えた人はオリジナルと比べてあまり大差を得られなかった。その原因は、このモデルが楽譜情報と関係なしにテンポを変えてしまうためである。今後楽譜情報を考慮するモデルが必要であると考えられる。

#### 5. むすび

本論文では、まず一定のテンポで流れる音楽の小節周期に対して、聴取者の呼吸周期が強制引き込みされることを見出した。第二に生演奏の場合両者間に相互作用が存在し、結果として、音楽の小節周期と聴取者の呼吸周期の相互引き込み現象として現れるということを見出した。最後にこれらの結果を基にコミュニケーションのモデルを構築し実験を行ない、一方向的に音楽を聴くよりも、モデルを使った音楽を聴くときの方がより生演奏に近いという主観的評価を得た。

今後の展開として、今回のモデルで実現した引き込み現象の安定的な側面を基に、引き込み現象の不安定的な側面(聴取者の呼吸と音楽が合っている状態を判断し、テンポや音の強弱によってその状態を意識的にはずして、音楽によりリアリティを持たせる)も考慮するモデルを構築したいと考えている。この二面性を考慮することにより、生演奏に近い音楽を再現できるのではないかと考えている。

#### 参考文献

- [1] Y.Miyake, T. Miyagawa, and Y.Tamura, "Internal observation and mutual adaptation in human-robot cooperation," Proc. of 1998 IEEE International Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp.3685-3690, San Diego, U.S.A., 1998.
- [2] T. Yamamoto, and Y.Miyake, "Generation of sympathetic space in embodied music communication," Proc. of 1999 IEEE International Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp. V-1045-V-1048, Tokyo, Japan, 1999.
- [3] W.S. Condon and L.W. Sander, "Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech," Science, Vol.183, pp.99-101, 1974.
- [4] 渡辺富夫, 大久保雅史, 稲留将生, "対話コミュニケーションにおける呼吸の引き込み," Proc. of 13th ヒューマンインターフェイスシンポジウム, pp.271-276, 1997.
- [5] 萬田広幸, 加藤博一, 木村朝子, 片寄晴弘, 金森務, 井口征二, "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解析," 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 2, No. 2, pp. 9-16, 1997.
- [6] 中村敏枝, "'間'の感性" 感性情報処理, 電子情報通信学会編, pp. 151-169, オーム社, 1994.
- [7] 古浦一郎, 心理学的考察「いきが合う」, 北大路書房, 1990.
- [8] 池口徹, 合原一幸, "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再構成," 応用数理, Vol. 7, No. 4, pp. 6-16, 1997.
- [9] 蔵本由紀, 川崎恭治, 山田道夫, 甲斐昌一, 篠本滋, パターン形成, 朝倉書房, 1991