

伴奏システムでのブレス情報利用に関する検討

堀内 靖雄 飯塚 涼子 西田 昌史 市川 薫

千葉大学

hory@faculty.chiba-u.jp

あらまし 従来の伴奏システムでは人間の独奏者の音響情報のみを用いて伴奏制御を行なっているが、実際の人間の合奏ではブレスが非常に重要な役割を演じている。本研究では伴奏システムでのブレス情報利用を目的として、演奏におけるブレスのタイミングの分析、ならびに、ブレスの自動検出手法についての検討を行なった。そこで (1) 合図としてのブレスを伴う演奏データの収録、(2) ブレスの分析結果からブレスの立ち上がり時刻と楽曲の冒頭のテンポとの高い相関を確認、(3) ブレスの音響的な特徴に基づくブレスの自動検出手法の提案を行なった。評価実験の結果、本手法でのブレスの立ち上がり時刻の検出誤差は平均10ミリ秒程度の推定精度を達成した。

Investigation of Breath as Musical Cue for Accompaniment System

Yasuo Horiuchi Ryoko Iizuka Masafumi Nishida Akira Ichikawa

Chiba University

hory@faculty.chiba-u.jp

Abstract Although accompaniment systems use only acoustic information for musical synchronization, human accompanists use breath of the soloist as musical cues in the actual performance. In this study, we investigate breath as musical cues and introduce the method of auto detection of breath. First, performance data including breath as musical cues were recorded. Second, we analyzed these data and the high correlation between the onset time of breath and sound was observed. Third, we introduced the method detecting breath based on the acoustic features of breath. The result of the evaluating experiment shows that the estimation error of the onset time of breath is about 10 milliseconds and it was suggested that this method is useful for the accompaniment system.

1. はじめに

伴奏システム[1,2]とは人間の独奏者の伴奏をコンピュータが行なうもので、人間とコンピュータとのリアルタイム・インタラクティブ・システムの一つとして、音楽情報科学研究のみならず、人間とのリアルタイム・インタラクションを考える上で重要な研究テーマとなっている。伴奏システムでは楽譜情報はあらかじめ独奏パートと伴奏パートの両方がシステムに与えられており、独奏者の演奏と協調するように伴奏システムの演奏タイミングをリアルタイムで制御する。

従来の伴奏システムでは独奏者の音響情報（電子楽器の場合は MIDI 情報）を用いて伴奏制御を行っていたが、曲の冒頭で独奏者と伴奏システムが同時に音を演奏するような楽曲に対しては対応が困難であり、独奏者がペダルスイッチを踏んで伴奏の演奏をスタートさせたり、独奏の音が演奏されてから即座に伴奏システムの演奏が開始される、などの方法がとられてきた。一方、人間同士の合奏の場合には、独奏者は体の動きやブレス（息継ぎ）を用いて伴奏者に合図を送り、両者の演奏を合わせている。

そこで本研究では伴奏システムが独奏者のブレスの合図を理解できるようにするための予備的検討を行なうことを目的とする。具体的には、ブレスが合図として、どのような情報を持っているのかについて、実際にブレスによる合図を収録し、ブレスと演奏テンポとの関係を分析する。その後、ブレスを自動検出する手法について検討を行

ない、収録されたデータに対して、検出精度の評価を行なう。

2. 演奏におけるブレスの分析

2.1. 分析データの収録

本研究では演奏開始時のブレスを分析するためのデータ収録を行なった。今回の実験対象とする楽器はフルートとし、フルート用の集音マイクを用いて収録を行なった。マイクはクリップでフルートに固定し、集音部は口の前方斜め上、約5cmのところに配置した。マイクの配置においては、息が直接マイクにあたるのを防ぎつつ、フルートの音、ならびに、鼻、口からのブレス音を安定して収録できるように配慮された。

本実験で収録に参加した演奏者は音楽大学フルート専攻の卒業生一名（女性。以下、演奏者 A）と趣味でオーケストラ活動を行っているアマチュアのフルート演奏家（男性。フルート経験25年。以下、演奏者 B）の二人である。

データ収録には単純なフレーズ（練習曲）と実際の曲の一部を用いた。収録に用いた楽譜を譜例 1～譜例 4 に示す。演奏者には「伴奏者に出だしの合図を示すように明確にブレスするよう」教示した。

さらに、譜例 1 と譜例 2 に関しては三種類のテンポ（80,100,120 [拍/分]）による演奏を収録した。演奏者に三種類のテンポを呈示するため、演奏直前にメトロノームで指定のテンポを二小節間呈示し、メトロノームを停止してから演奏を開始してもらった。譜例 3 と譜例 4 については演奏者

の好みのテンポで演奏してもらった。これら各演奏は5回ずつ収録され、各演奏者ごとに40データが収録された（譜例1, 2がそれぞれ15データ、譜例3, 4がそれぞれ5データ）。

2.2. ブレスのアノテーション

得られた演奏データに対し、ブレス、ならびに、冒頭二拍の音の立ち上がり時刻をアノテートした。アノテーションにはWaveSurferを利用した。WaveSurferで表示した収録データの例を図1, 2に示す。冒頭にブレスが収録されている。

立ち上がり時刻は人間の手作業によりアノテートされた。その際、人間の聴覚の限界、スペクトログラム読み取りの分解能を考慮し、有効数字10ミリ秒でアノテートした。



譜例1 P. Taffanel & Ph. Gaubert
「17のメカニスム日課大練習」より



譜例. 2 P. Taffanel & Ph. Gaubert
「17のメカニスム日課大練習」より



譜例. 3 F. J. Gossec
「ガヴェット」より



譜例. 4 J. S. Bach
「管弦楽組曲第2番よりバディネリ」より

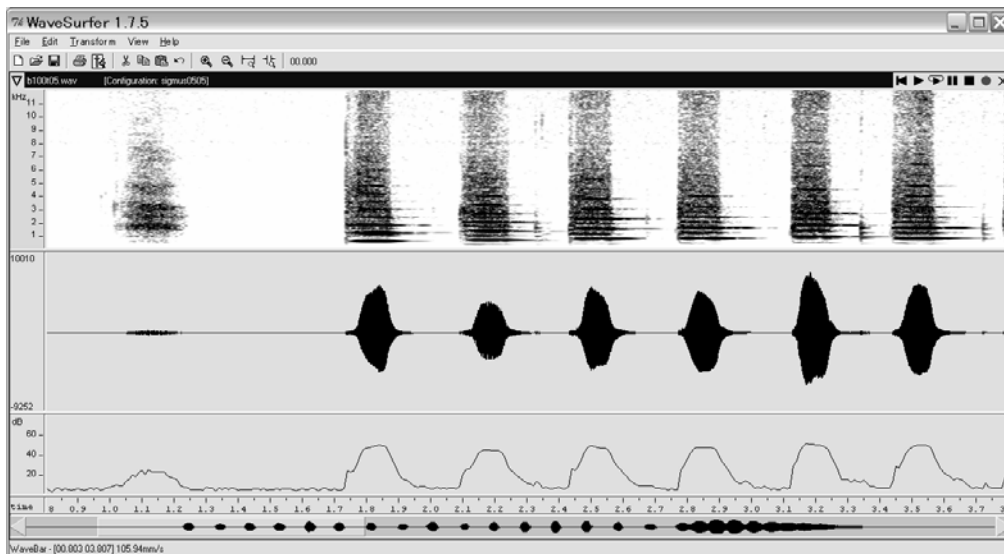


図1. WaveSurferの表示例（譜例1, 演奏者Bの演奏）

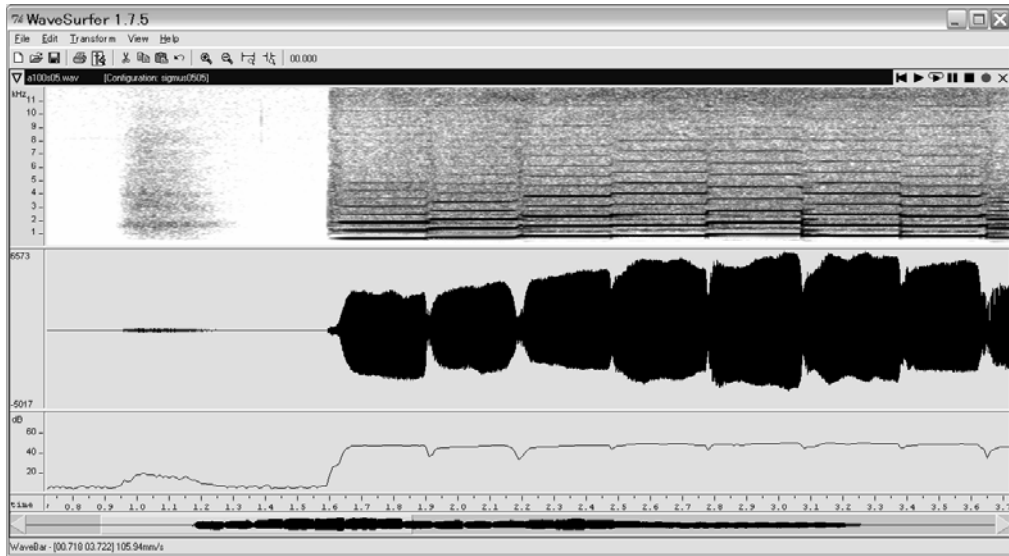


図 2. WaveSurferの表示例（譜例 2，演奏者 A の演奏）

図 1 および図 2 からわかるように、楽音はきれいな調波構造となっているが、ブレス部分は非調波のノイズとなっていることがわかる。また演奏者により、ブレスの音響的特徴が微妙に異なることがわかる。

2.3. ブレスとテンポの関係

本研究ではブレスがテンポを指示する合図として、どのように用いられているのかを分析するため、上述のように、ブレス、冒頭の楽音、一拍後の楽音の立ち上がり時刻をアノテートした。通常、ブレスは演奏開始の一拍前を明示するために用いられるため、ブレスの立ち上がり時刻から冒頭の音の立ち上がり時刻までの時間長と冒頭の一拍の時間長はほぼ等しいと予想される。そこで、これらの時間長の中の相関関係を分析した。図 3 と図 4 に演奏者ごとの相関図を示す。

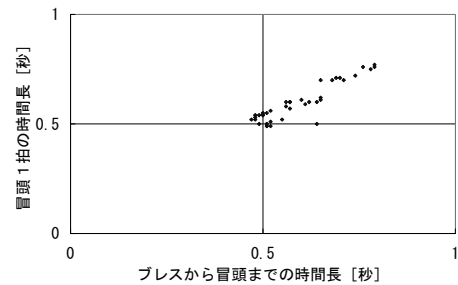


図 3 演奏者 A のブレスから冒頭までの時間長と冒頭一拍の時間長との相関

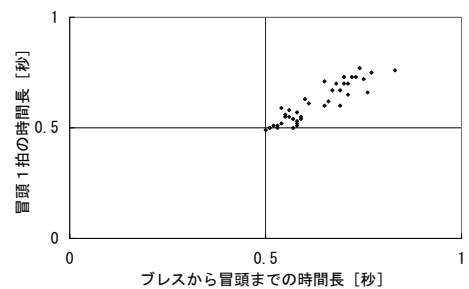


図 4 演奏者 B のブレスから冒頭までの時間長と冒頭一拍の時間長との相関

図 3 と図 4 からわかるように、ブレスから冒頭までの時間長と冒頭一拍の時間長の間には高い相関（相関係数は図 3 が 0.92，

図4が0.91)が見られる。また、原点を通る回帰直線をひいたところ、その傾きは1.00(演奏者A), 0.97(演奏者B)となり、ブレスを用いて独奏者の演奏テンポを推定できる可能性が示唆された。

一方、両演奏者とも、いくつかの外れ値が見受けられる。その多くは傾き1の直線よりも下に表われている。このような演奏を聴取により確認したところ、ブレスの後、冒頭の音へ入る直前にちょっとした間の存在が感じられる。このような現象は両演奏者に見られたが、なぜそのような間が生じるのかについては、今後、もっと多くの演奏者のデータを分析して検討してみたいと考えている。

3. ブレスの自動検出

3.1. ブレスの音響的特徴

ブレスの音響的な特徴としては、以下があげられる。

- ・パワーがある程度の時間長持続する
- ・調波構造をほとんど持たない

これらの特徴を利用して、ブレスの自動検出を行なう。

3.2. ブレス検出手法

本研究ではブレスの音響的特徴を利用し、ブレスの自動検出手法を提案する。まずはじめにパワーの変化から無音区間と楽音/ブレス区間を分離する。次に分離された楽音/ブレス区間の調波構造を調べることで、楽音とブレスを分離する。

本手法では調波構造の検出にケプストラ

ム[3]を用いる。ケプストラムとは周波数領域におけるパワースペクトルの対数を逆フーリエ変換し、時間領域に変換しなおしたものであり、もとの音が強い調波性を持っている場合、ケプストラム中にピークとして表われる。このピーク時刻が基本周波数の波長に等しくなる。そこで、パワー変化により抽出された楽音/ブレス区間に対し、ケプストラムを計算し、そのピークの強さにより楽音とブレスを分離することとした。

具体的なアルゴリズムとして、まずはじめにパワーが閾値 Th_{power} を越えている区間を検出し、その区間長が閾値 $Th_{duration}$ 以上の場合、その区間を楽音/ブレス区間とする。次にその楽音/ブレス区間のケプストラムを算出する。得られたケプストラムにおいて、フルートの最低音と最高音の区間内(音域)における最大値を $Peak_{cepstrum}$ とする。また、同音域内のケプストラムの平均値を $Average_{cepstrum}$ とする。このとき、 $Peak_{cepstrum} - Average_{cepstrum}$ が閾値 $Th_{cepstrum}$ 以下である場合には、その区間をブレス区間とし、それ以外の場合を楽音区間として検出する。また、ブレス、楽音それぞれの立ち上がり時刻はパワーが閾値 Th_{power} を越えた時刻とする。

3.3. ブレス検出実験

前述の収録データに対し、本手法でのブレス抽出実験の結果について述べる。なお、今回の実験では閾値は経験的に求めた。ただし、 Th_{power} に関しては、演奏者の違い、

マイクとの距離の違いなどを考慮し、演奏者ごとに異なる値を用いた。

実験の結果、上記の手法により100%の精度でブレスと楽音の分離に成功した。また、ブレス、および、冒頭の楽音の立ち上がり時刻の検出誤差を表1に示す。表中の数字は上記アルゴリズムによるブレス、あるいは、楽音の立ち上がり時刻の推定値と実測値（手作業でアノテートされた時刻）との誤差の絶対値の平均をとったものである。

表1 ブレスと楽音の立ち上がり時刻の検出誤差。値は誤差の絶対値の平均。

| | 演奏者 A | 演奏者 B |
|-----|--------|-------|
| ブレス | 11[ms] | 9[ms] |
| 楽音 | 9[ms] | 8[ms] |

3.4. 考察

本手法は非常に簡便な手法であるにも関わらず、高い推定精度を有している。また、2.3節で示したようにブレスの時刻は独奏者の演奏テンポと高い相関がある。そこで、伴奏システムがブレスを検出できれば、その時刻に一拍の平均的な時間長（楽譜などから推定）を加えることにより、人間の独奏者の冒頭の音の立ち上がり時刻の推定が可能となる。その場合、独奏者のブレスを合図として、冒頭の音を合わせる事が可能となる。また、もし、推定テンポに誤差があり、冒頭の音が若干ずれてしまった場合にも、ブレスと独奏者の冒頭の演奏から独奏者のテンポが推定でき、次の拍以降で

は通常通りの伴奏制御が可能となる。このように伴奏システムに本手法を導入することは有効であると予想される。

4. おわりに

本研究では伴奏システムにおいて、ブレス情報を用いるため、ブレスの分析、および、自動検出手法とその精度について検証を行なった。結果として、ブレスは演奏者の演奏テンポの推定に利用可能であること、また、簡便な手法で検出可能であり、ブレスの自動検出誤差は平均10ミリ秒程度の精度を達成した。

今後の検討課題として、ブレスの分析、推定については、演奏者の数を増やし、一般性を検証すること、ならびに、フルート以外の楽器での検証があげられる。また、伴奏システムに実装し、実環境でのブレス利用の有効性に関する評価を行ないたいと考えている。さらに体の動きなどのジェスチャー検出との統合により、人間の演奏合図をより忠実に理解できる伴奏システムを構築していきたい。

文 献

- [1] 堀内靖雄, 橋本周司: 「伴奏システム」 情報処理 Vol.35, No.9, pp.815-821 (1994)
- [2] 堀内靖雄: 「自動伴奏」, 共立出版「コンピュータと音楽の世界」長嶋洋一, 橋本周司, 平賀譲, 平田圭二(編), pp.252-269 (1998)
- [3] Curtis Roads: 「コンピュータ音楽—歴史・テクノロジー・アト—」青柳龍也・小坂直敏・平田圭二・堀内靖雄(訳・監修), 東京電機大学出版(2001)