

物理世界とのインタラクションを通じた 音楽鑑賞能力支援システムの提案

三浦宗介 杉本雅則

東京大学大学院新領域創成科学研究科

本論文では、子供を対象とした音楽鑑賞能力の支援システムについて議論する。音楽鑑賞では、演奏の小さな表現の違いを聴き取る必要があるが、その違いを聴き取るためには、さらに一つの音からより多くのパラメータ（音高、音強、音質など）を認識しなければならない。提案システムは、学習者が物理世界の物に触れることで、これらのパラメータを容易に操作できるようにする。そして、学習者が楽しみながら色々な種類の音を鳴らせるようにすることで、音の違いを聴き分けられるようになることを目指す。また、提案システムの理論的背景やシステムの概要についても述べる。

Developing Music Appreciation by Interaction with Physical Artifacts

Sosuke Miura Masanori Sugimoto

Interaction Technology Laboratory

Department of Frontier Informatics, University of Tokyo

In this paper, a tool for developing music appreciation of children by interacting with physical artifacts is discussed. For the appreciation of music, audience is required to identify small differences between expressions. To identify those differences, they need to recognize more parameters (pitch modulation, velocity, timbre, etc) from one sound. The proposed system enables learners to control and play those parameters of sounds by interacting with real objects in the physical world. The system also aims at developing the ability for identifying those differences through playing many kinds of sounds easily. We have prepared a prototype system and conducted the preliminary study with children.

1. はじめに

我々は、音楽学習の分野において、マルチモーダルをキーワードに、コンピュータが学習者に適切な土台を与えることで学習を支援する研究を行ってきた。これらの研究では、学習プロセスを、音を知覚しその情報を処理する段階、そして知覚した情報を表現する段階、の二つに分け学習支援を行ってきた。リズム学習支援[7]では、音楽の時間的要素を聴覚および触覚から伝えることで、S-R理論により認識力を強化することでリズムを認識する能力の支援を行った。また、歌唱学習支援では、声道と表情筋が強く関連していることを利用し、声によるフィードバックに加え視覚的に表情を伝えることによって、学習者に声の変化の認識を促し、発声学習の支援を行った。しかし、これらの研究を通して、まず音楽学習では、音を知覚しその一つの音からより多くの情報を認識する能力が必要であることが分かった。そこで、我々は、この能力をもっとも必要とする音楽鑑賞に注目し、音楽鑑賞の視点からこれらの能力を、コンピュータを用いて支援する。

2. 音楽鑑賞とは

音楽鑑賞では、時代背景や楽器構成、作曲家の意図等を理解することも大切である。しかし、それと同時に音を聴き分けるための聴覚の訓練も重要となる。聴き分ける能力を訓練し、小さな表現の違いを認識できるようになることで、演奏者の意図する表現技法を理解することが出来るようになる。さらに、小さな表現の違いを聴き取るためには、一つの音からより多くのパラメータ（音高、音長、音強、音色、それらの変化など）を聴き取る必要がある。音楽経験者の場合、一つの音からこれらのパラメータを多く聴き取ることが出来る。しかし、音楽未経験者の場合、これらを同時に聴き取るのは難しい。音高や音長は比較的容易に聴き取ることが出来るが、音色や音強の聴き取りは難しくなる。また、パラメータの数が増えるほど、聴き取りは難しくなる。困難となる原因は、これらのパラメータを聴き取ること慣れていないため、脳の処理系にそのパラメータに対する Expectation が出来ていないことである。Expectation が出来ていないため、情報が脳に入ったとき脳の処理が遅れ、その認識に時間がかかる。そのため、処理できないパラメータは取りこぼしてしまい、その結果、聞き取れる音のパラメータの数が減

ってしまう[5]。同時に聴き取れるパラメータの数を増やすには、そのパラメータに慣れ、脳の中に Expectation を作る必要がある。

そこで本研究では、提案するシステムを通して、音楽未経験者でもこれらのパラメータを容易に操作できるようにし、これらのパラメータに耳を慣らすことによって、一つの音からより多くの情報を聞き取れるようになることを目指す。それによって、音楽鑑賞能力を支援する。

以下、第3章では、音楽鑑賞能力を支援するための手段および理論的背景について述べ、第4章では、それらを実現するためのシステムを開発するために行った予備調査について述べる。システムの概要については第5章で述べ、最後に第6章でまとめと今後の課題について述べる。

3. 手段

本研究の狙いは、子供を対象に、音に含まれる各パラメータを学習者が容易に操作できるようにすることで、パラメータに耳を慣らさせ、音楽を聴いた時に、より多くのパラメータを聴き取れるようにすることである。

これらの能力は通常、楽器や歌の演奏を通して養われる。演奏を行いながら、各パラメータを調整し、いろいろな表現を演奏することで、違いを認識する能力を、時間をかけて身に付けていく。しかし、このような方法は、楽器を演奏できない子供が多く含まれる通常の音楽の授業では最適ではない。楽器の演奏を通して学習を行う場合、まず演奏技術を獲得する必要がある、また多くの時間を必要とするため、授業時間数が限られる授業では困難となるためであるということが、音楽教師を対象としたアンケートから分かっている。さらに、楽器の演奏技術が未熟な児童の場合、他のパラメータを固定し、一つのパラメータだけを操作しながら演奏することは容易ではなく、また、一つのパラメータについても、意図的にそれを操作することは困難となる。しかし、聴き分け能力の初期の学習段階では、多くのパラメータを同時に聞分け認識することは難しいため、少数のパラメータを用いて学習を始め、徐々にパラメータの数を増やしていくことが望ましく、また、それらを学習者が容易に操作できる必要がある[5]。

そこで我々は、コンピュータを用いることで演奏技術を持ち合わせていない児童でも、これらのパラメータを容易に操作できるようにし学習を支援する。我々が対象とする学習者は、幼稚園児から小学校低学年児であり、彼等は心理学的発達プロセスにおいて、前操作期に位置づけられる[2]。前操作期の子供の場合、Desk Top

Music (DTM) の様な既存のアプリケーションを用いた学習は適さない。前操作期では、実際に触れることが出来る物体を操作することで、意味や概念を学習していく[1]。そのため、ディスプレイの中だけに限られる DTM を用いた学習は効果的ではなく、物理世界とのインタラクションによる、体験を通した学習が有効である。しかし、音楽的な音は実体が存在しないため、物体を操作することで音の意味や概念を獲得するのは難しい。通常、音楽的な音は楽器を用いて発音され、楽器が音楽的な音に対応した物体となる。しかし、楽器を用いた場合、演奏技術が必要となるため、音楽未経験者は容易に操作するのは困難となる。

そこで音楽と言語の共通点に注目する。音楽と言語には、階層構造や再帰性、リズム、疾患の症状など多くの共通点がある[4]。また、「柔らかい音」や「堅い音」、「軽い音」や「重たい音」と言った、音を表現するために用いられる形容詞は、そのまま物理世界の物体を形容するための形容詞と概念を共有している。

そこでコンピュータを用いて、物体の持つ概念と音楽的な音を持つ共通する概念をつなぎ、物の属性と音のパラメータを対応付けることで、物を操作しながら音のパラメータを操作できるようにし、体験を通した学習を実現する。システムは、センサを装着した手袋およびコンピュータから構成される。曲げセンサ、感圧センサ、加速度センサを装着したような物体（重さ、堅さ、大きさ）を掴んでいるかを認識する。そして、その物体の特徴に合わせた音（重たい物であれば重い音、柔らかい物であれば柔らかい音）を鳴らす。学習者は、大きさや形、堅さの異なる物を掴みかえることで、様々な音を鳴らすことが出来るため、物体の一つの属性に注目し、その属性だけが異なるものを掴みかえれば、そのパラメータだけを調節することが可能となる。そのため、音楽未経験者でも容易にパラメータを操作することが可能となる。

4. 予備調査

本システムでは、物を掴む動作が入力情報となる。そこで、それらの入力情報を効率よく収集するために、インターフェイスをどのように設計すべきかを調べることを目的に、予備調査を実施した(表1)。

予備調査では、A) センサの位置、B) 感度、C) どの情報が使用出来るか、を調べるため、4歳児を対象に物を掴む行動について観察した(図1)。

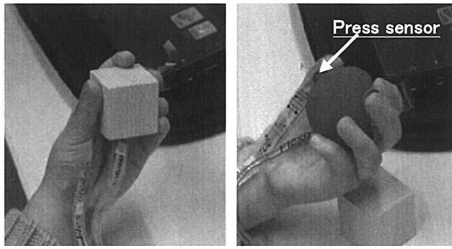


図1 予備調査

A) センサの位置

まず、感圧センサの位置を決めるため、子供の手より小さい物、同じくらいの物、大きい物を用意し、子供がそれぞれの物を掴むとき、指のどの位置が物に接するかを調べた。また、形状による違いも知るため、丸い物および四角い物を用意し、同様のことについて調べた。子供は筋力の不足や指の自由度の無さから、指を効率的よく使い物を掴むのではなく、手全体を用いて鷲掴みにする傾向がある。そのため、親指および中指に注目した。物の形状や大きさに関わらず、親指では第一関節の内側が接点になり、残りの指では、物が小さくなるにつれ、接点が第一関節から指の先端に移動していた。しかし、感圧センサのセンサ部にパッドを付けることで、接点をパッドに集中させることが出来ることがわかった。

B) センサの感度

次に感圧センサの感度を定めるため、異なる重さの物を用意し、重さと抵抗値の関係について調べた。また、感圧センサを用いて物体の硬さを判定することが出来るか、出来る場合センサのサンプリング数をどの程度にする必要があるのかを決定するため、スポンジ、ゴムボール、木の積み木を用意し、感圧センサの値の変化について調べた。物の硬さによって、センサの値が安定するまでの時間に違いが出る事が分かった。やわらかい物の場合、値が安定せず、常に揺れることも分かった(図2、ピンク線がスポンジ、青線が積み木を示す)。

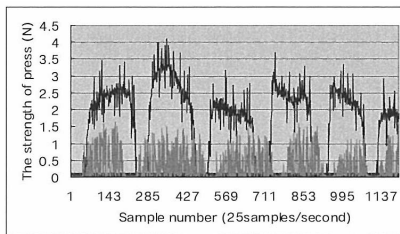


図2 圧力値の変化

センサの値が安定するまでに、木の積み木では、約0.1秒、スポンジでは約0.3秒かかるため、

0.05秒以下でサンプリングする必要があることが分かった。また、片手で持てる最大の重さ300gを持った時のセンサの値が4N以下であることも分かった。

C) その他の情報

最後に、曲げセンサの値を調べるため、子供の手より小さいもの、同じくらいの物、大きい物、また、丸い物、四角い物を用意し、子供がそれぞれの物を掴むとき、指はどのくらい曲がるのかを調べた。一本の指の曲がり具合で、物の大きさを、またそれぞれの指の曲がり具合の組み合わせで簡単な形の判定ができることがわかった。

表1 予備調査結果

A. 位置	第一関節内側(親指)、第一関節から指先端の中間(その他の指)。
B. 感度	4.4Nのセンサを256段階に離散化。周波数は20Hz以上。
C. その他	感圧センサの値・時間変化量により重さ・硬さを判定。また、曲げセンサの各指の変化量の組み合わせにより物体の形状・大きさを判定。

5. システム

我々は、実在する物体を触ることで、音のパラメータを自由に操作することを可能とするシステムのプロトタイプを試作した。

システムは、インターフェイス、PC、ヘッドフォンから構成される(図3)。

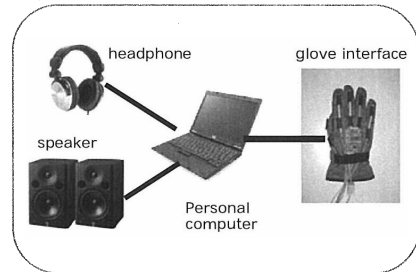


図3 システム概要

5-1. ハードウェア

インターフェイスは手袋の形状をし、内側に圧力センサ(FlexiForce, Nitta Inc.)、外側に曲げセンサ(AS-BEND, Asakusa Technology Inc.)、3軸加速度センサ(CT-298, Sunhayato)が装着されている(図4)。

圧力センサは最大4.4Nまで測定でき、加速度センサは3軸で最大10N、この値を255段階に分ける。また、曲げセンサは30KΩから10KΩの間を10段階に分ける。サンプリングレートは50Hzである。センサから得られたデータはA/D変換され、PICマイクロコンピュータ(PIC16F886)を通してPCに送られる。通信速度は38400bpsで

ある。PC は送られてきた情報から物の堅さ、重さ、大きさを判断し、それに対応する音を、ヘッドフォンを通して学習者に伝える。

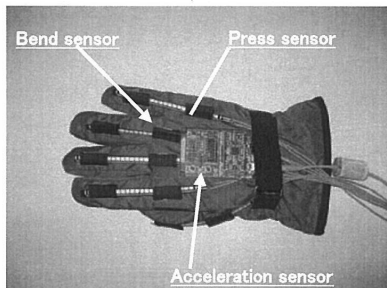


図4 インターフェイス

5-2. ソフトウェア

ソフトウェアは入力情報を処理するモジュール、VST HOST [9]、HyperSonic2 [8] から構成される(図5)。

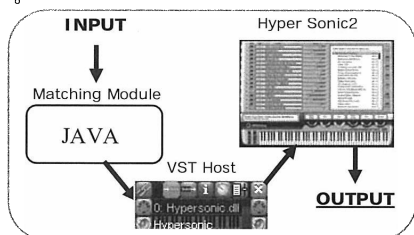


図5 ソフトウェア概要

ソフトウェアでは、DP マッチングを用い、PIC から送られてくるセンサ情報から、学習者が挿んでいる物体の種類を判定し、鳴らす音色(楽器)を決定する。さらに判定されたカテゴリ(重くて堅い物、軽くて大きいものなど)の中で、それぞれの属性の程度(どの程度重いか、どの程度柔らかいかなど)の変化に応じて対応するパラメータを変化させる。これらの情報は、VST Host を経由して Hyper Sonic2 に送られ、学習者は Hyper Sonic2 で作られた音を聴くことになる。また、VST Host を経由してイコライザやコンプレッサ、その他のエフェクタを組み合わせて、学習者のレベルに応じて、パラメータの変化を強調させることも可能である。

システムについて小学校の音楽の先生に意見を求めたところ、初期の段階ではパラメータは一つに絞り、そのパラメータを自由に操作できるようにした方が良いという意見を得ることが出来た。そのため、システムでは、楽器音を固定し、一つのパラメータだけ変化させて使用することも可能である。感圧センサ、曲げセンサのどれを使うか、そのセンサに対し、音のどのパラメータを割り当てるか、またどのような音

色を使うかや、その音色の中のどのパラメータを使用するかについても、初期設定の段階でグラフィカルに設定することが可能である。これにより、学習者のレベルや得意不得意に応じ、物の属性と対応させる音のパラメータを、自由に変更・調整することが可能であり、学習者に必要な土台を与えていくことが可能である [6]。

6. まとめと今後の予定

本論文では、音楽鑑賞能力を支援するためのシステムについて、その理論的背景や、行った予備調査、システムの概要について述べた。今後は、システムの有用性を確かめるために、小学校低学年の児童を対象とした評価実験を行う予定である。知覚的な音の聴き分けに関する能力の評価のため、システム使用前および使用後にシーショア評価テストを実施する [3]。シーショアテストでは、音質に関しては、倍音構造の異なる2つの音を50組用意し、音強に関しては、4.0dbから0.5dbの範囲で強さの異なる二つの音を50組用意する。学習者に組になった音を聴かせ、それらの音が同じか異なるかを尋ねる。また、音楽鑑賞能力に関する評価のため、システムの使用前および使用後に観賞用音楽に関する発話からプロトコル解析を行い、システムを使用することによって、小さな表現に注意が向いているのかも確認する予定である。

参考文献

- [1] ジャン・ピアジェ, 心理学と認識論, 誠信書房, 1977.
- [2] スーザン・ベルサム, 授業を支える心理学, 新曜者, 2006.
- [3] ルードルフ・E・ラドシー, J・デーヴィッド・ポイル, 音楽行動の心理学, 音楽之友社, 1985
- [4] レイ・ジャッケンドフ, 心のパターン: 言語の認知科学入門, 岩波書店, 2004.
- [5] ロザムンド・シューター, 音楽才能の心理学, 音楽之友社, 1977.
- [6] Donald A. Norman, James C. Sphrer: Learner Centered education, Communications of the ACM, 1996, Volume 39, Issue 4.
- [7] Miura, S., Sugimoto, M.: Supporting Children's Rhythm Learning Using Vibration Devices, In Proceedings of ACM CHI2006 Extended Abstract, Montreal, Canada, pp.1127-1132 (2006).
- [8] Stainberg, Hyper Sonic 2, http://www.steinberg.net/727_0.html
- [9] VST Host, <http://www.hermannseib.com/english/vsthost.htm>