

## 他者との協調による音楽学習支援システム

杉本 雅則<sup>1</sup>      楠 房子<sup>2</sup>      柏原 菜実<sup>2</sup>      溝延 雄司<sup>3</sup>  
山本 直樹<sup>4</sup>      山奥 寿徳<sup>4</sup>      橋爪 宏達<sup>5</sup>

本稿では、センシングボードを用いることにより、他者と協調しながら音楽を学習するシステムについて述べる。本システムでは、学習者がセンシングボード上に物理的なコマを配置することにより、音を奏でる。センシングボードとコンピュータとは連携しており、コンピュータによって視覚化されたアニメーションがボード上に投影され、没入感の高い環境が実現される。学習者は、システムによって用意された複数の学習モードを使って、ゲーム感覚で学習を進めることができる。本システムを小学校の授業で利用し、その評価を行った。

## A Music Learning Support System through Collaboration

Masanori SUGIMOTO<sup>1</sup>      Fusako KUSUNOKI<sup>2</sup>      Nami KASHIWABARA<sup>2</sup>      Yuji MIZONOBE<sup>3</sup>  
Naoki YAMAMOTO<sup>4</sup>      Hisanori YAMAOKU<sup>4</sup>      Hiromichi HASHIZUME<sup>5</sup>

This paper describes a system for supporting group learning that allows learners to learn about music through collaboration. Learners of the system can make a sound by placing physical pieces on a sensing board. In this system, a personal computer and the sensing board are linked together, and the visualization by the computer is projected on the board, in order to enhance immersiveness. Learners can try each of different learning modes provided by the system, as they would play a game. We have been evaluating the system in school education, especially in elementary schools.

### 1. まえがき

近年の教育研究においては、学習者が主体的に学ぶこと、また他者との議論や相互作用を通して学ぶことの重要性が指摘されている。教育現場においても、生徒同士がグループになり、教師が生徒の学習を支援する facilitator や coach の役割を演じる、といった授業が試みられるようになってきている。我々はこれまでに、工学的な立場から、コンピュータを用いた協調学

習支援 (CSCL) の研究を進めてきており、教育現場で行われている新しい授業形態に対し、情報処理技術がどのように活用できるかについて、検討を進めてきた。CSCL を教育現場で機能させるためには、各学習者が他者との相互作用を活発に行えるような環境を構築することが必須である。そのためには、各学習者が学習に自ら動機付けられて参加し、議論を始めとする他者との相互作用に積極的に関わることが重要である。そこで我々は、(1) 学習者にとって使い易いとは

<sup>1</sup> 東京大学 情報基盤センター / Information Technology Center, University of Tokyo

<sup>2</sup> 多摩美術大学 情報デザイン学科 / Department of Information Design, Tama Art University

<sup>3</sup> 横浜国立大学大学院 工学研究科 / Graduate School of Engineering, Yokohama National University

<sup>4</sup> 芝浦工業大学大学院 工学研究科 / Graduate School of Engineering, Shibaura Institute of Technology

<sup>5</sup> 国立情報学研究所 情報メディア研究系 / Multimedia Research Division, National Institute of Informatics

必ずしも言えない、マウスとキーボードで実現される従来の入力系ではなく、人工物を介した直接操作が可能な利用者インターフェイス、(2) 学習者が楽しみつつ学習が行えるようなゲーム感覚を持ったシステム、の実現に向けて研究を進めてきた。その1つの例が、環境問題のグループでの学習を支援するシステムであり、複数の小学校において評価を行っている[1][2]。本稿では、上記の基本的な考え方を踏襲しつつ、新たに構築を進めているグループ音楽学習支援システム Symphoni-Q について述べる [4]。

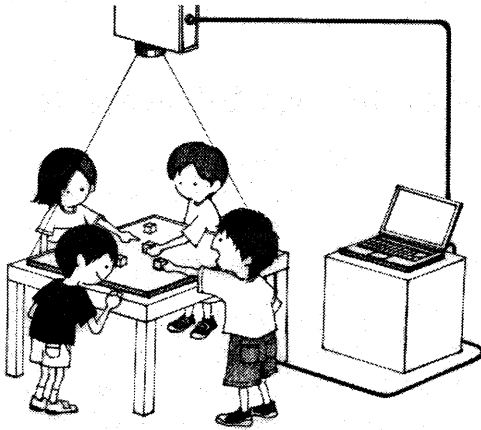


図1: 物理世界との相互作用を通して他者との協調を支援するシステム

音楽における協調作業として代表的なものに、合奏が挙げられる。合奏では、自分の奏でる音、他人の奏でる音を同時に認識し、相互に調整し合い、そしてそれらの音の重なり合いがどのような和音を形成し、それが演奏されている音楽に適切であるかどうかを認識できる能力が、各人に要求される。しかし、このような高度な能力を要求する以前に、

1. そもそも和音とは何かあまり良く理解されていない
  2. 音を奏でるということに対し、抵抗を感じる人が多い
- など、いくつかの問題があると考えられる。現

在、小学校においては、楽譜に関する基本的な知識や楽器の演奏についての授業が行われている。そこで、このような授業を補完する形で、学習者同士が楽しみながら学習できる要素を付加することにより、学習者がより音楽や合奏に興味を持ちつつ学習を進めていくことができる と考える。

本研究で構築される学習支援システムは、センシングボードを用いて実現されている。学習者が、物理的なコマをボード上に配置することで、そのコマが置かれた位置に応じて、異なる音を出力することができる。センシングボードにはパーソナルコンピュータが接続されており、置かれたコマの位置に応じてさまざまなアニメーションを表示することができる。このアニメーションは、センシングボード上に液晶プロジェクタを通して投影される。したがって、(1) 楽器に慣れていない学習者にとっても直観的な操作によって音を奏でることができ、(2) 音とアニメーションと物理世界とを融合することにより、没入感の高い環境を実現することができる(図1)。また、他者と協調しながら音を奏でる機能が実現されているため、互いに競争したり、あるいは協力したりして、音楽を学ぶことも可能となる。

本稿の構成は以下の通りである。2 節では、システムの概要について説明する。3 節では、システムの実現方法とアーキテクチャについて示す。4 節では、小学校で実施したシステムの実験と評価について述べる。5 節は本稿の結論である。

## 2. システムの概要

### 2.1 システム設計の背景

コンピュータを教育現場に持ち込む場合、マウスやキーボードなどを使って行われる入力操作が必ずしも容易ではないため、小学生にとって、しばしば学習への障害となっていると言われる。そこで、音楽学習を支援するシステ

ムにおいても、学習者にとってできるだけ操作し易いインターフェイスを実現し、認知的な負荷を小さくする必要がある。一方、楽器を演奏するという行為は身体的な動作を伴う。したがって、物理空間での人工物との相互作用を通して入力を行うことは、演奏における楽器の操作ともアナログがあり、また通常の楽器にはない新たな要素や文脈を付加することで、学習者が音楽に親しむのを促進できると考える。

学習者の音楽や楽器演奏への興味、知識、技術には個人差がある。したがって、学習者の習熟度に応じて学ぶべき教材のレベルや提示する情報の難易度を調整することも重要となる。そこで本システムでは、機能の異なる複数のモードを用意した。各モードは学習者の音楽に対する習熟度、要求される他者との協調の度合いにおいてそれぞれ異なっており、各学習者は自分にあったモードを選んで学習を行うことができる。一方、学習者の学習に対する動機付けを高めるために、そして学習効果がどの程度得られたかということを示すために、学習者が行った操作を評価し、表示できるようにした。この評価機能については、得点を表示することで、ゲーム的な要素を強くすることも可能であるが、得点のみに関心が集まり、肝心の学習教材への理解が低くなるという弊害も考えられるため、いくつかの実現方法を比較検討する必要があると考える。

### 2.3 学習モード

本システムでは、基本的な操作に慣れるという段階から、要求される知識や操作の難易度を変化させた4つの学習モードを用意した。学習者が各モードを順番に習熟していくことで、音についての理解を深めていくことができる。

#### 2.3.1 モード0：コマを用いた入力練習

コマによる入力、およびそれに応じて変化するアニメーションやメッセージなど、システムの基本操作や機能に学習者が慣れるためのモードである。システムは、各学習者に対し、鍵盤に似た入力画面をボード上に投影している。また、

ボード中央部には、階名を表すキャラクタによって、学習者に対する問題が表示される。モード0で学習者に与えられる課題は、ボード中央部に表示される階名と同じ階名を、鍵盤上にコマを置いて入力することである。モード0ではこれと同様の問題が複数個用意されているが、操作に慣れることが目的であるため、3人の学習者が全員正解するまで、次の問題には進まない。

このモードでは、特に音楽（特に和音）の知識や関心が低い学習者に対して、音そのものに慣れてもらうことも目的の1つである。事実、4節で述べる実験を通して、モード0を行ったグループと行わなかったグループでは、モード1以降の成績（正答率）に差が認められた。

#### 2.3.2 モード1：和音の入力

学習者が、3人で和音を入力することに慣れるための練習用のモードである。ボード中央部には階名を表すキャラクタが3体表示される。各キャラクタはそれぞれ異なる階名の入力を学習者に促す。各学習者は3つの階名の中から任意の1つの階名を、コマを使って自分の鍵盤上に配置すれば、正解となる。ただし、和音を成立させるため、3人全員が異なる階名を入力しなければならない。もし2人以上の学習者が同じ階名を入力した場合は、最初に入力した者が正解となり、それ以外の学習者は、残りの階名を入力しなければならないというルールになっている。モード0同様、3人の学習者が全員正解するまで、次の問題には進まない。

このモードでは、和音を入力するというゲームの基本的なルールに慣れてもらうとともに、3人の学習者の入力が互いに重複しないよう、暗黙的あるいは明示的に協調する（例えば、誰が一番低い階音を入力するか、など）といった戦略を取ることもできる。

#### 2.3.3 モード2：楽曲中の和音の入力

実際の楽曲に合わせて和音を演奏するための練習を行うモードである。システムによって演奏される楽曲の途中で、学習者に問題が与えられ

る。システムが問題として提示するのは、モード1と同様、同時に演奏される楽曲の一部分と同一の和音を構成する3つの階名である。システムが問題を提示すると、演奏はポーズ状態になり、学習者の入力を待つ時間が設けられる。この待ち時間以内に学習者全員が正答できなかった場合は、不正解となる。

このモードでの学習を通して、学習者が実際の楽曲と和音の関係を把握することを目標とする。また、このモードでは、待ち時間オーバーにより、不正解となった場合、現在の正解率に応じて、異なったアニメーションがボード上に表示される。学習者は、学習中に表示される正解率を把握しつつ、正解率を上げるために、互いに協調しながら操作を行うことが要求される。

### 2.3.4 モード3：合奏

実際の楽曲に合わせて、リアルタイムで和音を入力するモードである。モード2と同様、システムが楽曲を演奏し、その途中で階名がボード上に表示される。それぞれの学習者が対応する階名を入力すれば正解であるが、全員が正答したか否かに関わらず、楽曲は流れ続け、続く楽曲の一部分に適合した和音を構成する階音が、次の問題として提示される。このモードでは「楽曲に合わせて演奏する」ということが主たる目標であるため、モード2と同様の正答率に加え、学習者が鍵盤から階音を入力する時のタイミングについても、合奏の技術として評価する。

### 2.4 システムによる処理の流れ

本システムで実現されている処理の流れを図2に示す。既に述べたように、ボード上には3人の学習者が入力できる鍵盤が投影されている。また、調号の入力も可能であり、それにより12音階すべての入力が可能となっている。

モード1以上では、和音の入力を受け付ける。3人がそれぞれ別々のキーを入力することにより、1つの和音の入力が完了する。出題された和音のどの音をどの学習者が入力するかは自由であり、正しい和音であるか(モー

ド1およびモード2)、和音を構成するタイミングが適切であるか(モード3)、をシステムが判定する。

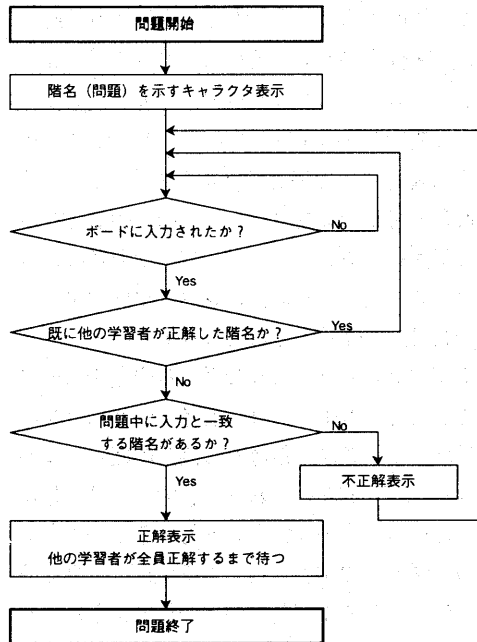


図2 システムによる処理の流れ

## 3. システムの構成とアーキテクチャ

### 3.1 概要

本システムは、物理的なコマの位置を自動的に認識するセンシングボード、ボードからの入力情報を用いて音声出力およびアニメーションを行うパーソナルコンピュータ、アニメーションをボード上に投影する液晶プロジェクタ、音響出力を行う音響装置から構成される。

### 3.2 センシングボード

本システムでは、学習者が物理世界との相互作用を通して、しかも複数の学習者が同時に入力できるインタフェースとして、RFID (Radio Frequency IDentification) 技術を応用したセンシングボードを用いた。RFID技術の詳細については別稿[Sugimoto01]に譲るが、電磁場内での reader とタグ間の非接触によるデータ通信を可能にする技術である。このセンシングボードでは、480 個の

reader が基盤の目状に配置され、複数の CPU によって各 reader の制御が行われる。学習者が使うコマにはタグが埋め込まれており、ボード上に同時に複数個配置されるコマの高速認識を可能にしている。

### 3.3 音響装置

システムの音響出力を実現するために、通常の PC のサウンドデバイス、および MIDI インターフェイスにより制御されるシンセサイザの 2 種類が用いられている。前者は既に録音された音声を再生するためのもので、主に定形の効果音の再生に使用される。後者は学習者によるボード上の鍵盤への入力に応じた音声出力や、モード 2, 3 の楽曲部分等、学習者による操作に応じて適宜変化が求められる音響を出力するために使用される。

### 3.3 ソフトウェア

本システムのソフトウェアには以下のような機能が要求される。

1. センシングボードからの学習者による複数の入力の処理
2. 楽曲の出力に同期して変化する高速なアニメーション
3. 各学習者の操作に応じて、視覚的かつ聴覚的な出力を個別に行うための並行処理

これらの機能を実現するため、音声やアニメーションなどの入出力に複数のスレッドを用いることにより、1 つのスレッドで行われる入出力の待ち時間を効率的に利用できるようにした。

また、本システムは Windows98 上で開発されたため、高速なアニメーションが可能な DirectX を利用した。そして並行処理を行うため、各モジュールをスレッド単位で動作させることにした。システム開発言語は C++ 言語とし、システム開発環境としては Microsoft Visual Studio 6.0 を利用した。

#### 3.3.1 ソフトウェアの開発指針

我々はセンシングボードを活用したいいくつかのシステムを、これまでに構築してきており、今

後も異なる分野、コンテンツを対象とした開発を行う計画を立てている。そこで、本システムの開発においては、ソフトウェアの再利用を念頭においた設計と開発を進めた。

#### 3.3.2 モジュールとライブラリ

本システムのソフトウェアには、センシングボードによる入出力、音響出力、アニメーションによる視覚的表示の機能が必要となる。このため、センシングボード上にコマが配置されているかどうかのスキャンを行う入力モジュール、MIDI およびサウンドカードにより楽曲と効果音を出力する音響モジュール、画像を管理しそれらを連続的に表示するアニメーションモジュール、プログラム全体を制御するメインモジュールという 4 つのモジュールからシステムを構成した。そしてそれらのモジュールの構築を容易にするため、汎用的なライブラリを作成した。

##### 3.3.2.1 音響モジュール

音響モジュールには、学習者がコマを用いて配置した鍵盤上の音に対応する音を再生する機能、解答時に時間の経過を示す BGM を再生する機能、および正解判定時に用いられる効果音の再生を行う機能が含まれる。

音の出力においては、リアルタイムで再生内容が変化する場合（例えば、学習者の入力に対応して出力される音）には MIDI を用い、常に再生内容が不変の効果音の場合には録音済みの音声を用いた。

##### 3.3.2.2 アニメーションモジュール

アニメーションモジュールは、学習者に提示される問題や学習者の入力結果を、視覚的に表示するモジュールであり、また視覚表示のために使われる画像データの管理も行う。

このモジュールはマルチスレッドで動作するプログラムとなっている。例えば、階音を示すキャラクターについては、アニメーションを行う複数のスレッドと、メインモジュールの指示を受けてこれらのスレッドを制御する 1 つのスレッドから構成されている。

##### 3.3.2.3 メインモジュールと入出力モジュ

## ール

メインモジュールは、センシングボードの入力を受けて、各モジュールの制御を行う。ボード上のコマを読み取る機能と統括制御を行う機能はそれぞれ1つの実行スレッドとして実現されている。ボード入力スレッドは統括制御スレッドの指示を受け、ボード上のコマの位置情報を統括制御スレッドに渡す。統括制御スレッドは、スレッドとして実装されている各モジュールによる処理の流れを管理し、現在のステータスに応じて適宜他のモジュールへの指示を行う。

### 3.3.2.4 ライブラリ

本システムで構築したライブラリによって実現される機能としては、

1. スレッドとメッセージング機能
2. アプリケーション管理機能
3. 入出力管理機能

がある。

1. によって、スレッド単位の開発が容易になり、またメッセージのやりとりを単純にすることができる。スレッドについてはWindows 98のAPIをC++のクラスの形で隠蔽して実装した。メッセージング機能は、マルチスレッド動作時に変数の読み書きの衝突が起らないにするための機能を実装したクラスとして実現した。

2. によって、アプリケーションを抽象化し、取り扱いを容易にすることができる。アプリケーションはクラスとして実現されている。具体的にはDirectX依存のアプリケーションクラスとして実装した。

3. については、センシングボードからの入力、音声の出力、画像の出力の管理を行うライブラリを構築した。これらのライブラリは、汎用的でありAPIが定義されているため、センシングボードを活用し、音声、画像を出力する他のアプリケーションを構築する際にも、利用することができる。

## 4 実験と評価

我々は、横浜市立の公立小学校の協力の下で、小学校5年生を対象に、本システムを用いた実験を行った(図3)。実験は、1グループ当たり5~6人とし、各グループにつき5分程度システムを利用してもらった。学習者として5年生を対象にしたのは、和音の基礎の学習が5年次に行われることに合わせたためである。今回の実験では、各グループの希望に応じて、モード0, 1, 2の順に行った。小学生には実験前に、タグの置き方を説明した。また、異なるモードで学習を行う前に、随時ルールの説明を行った。



図1 小学校での実験の様子

実験中には、以下のような学習者の行動が観察された。

1. ボード上に表示される階音を読まずに置いてみようとする
2. 早く慣れた生徒が、慣れない生徒にシステムの使い方などを教える
3. 他の生徒がコマを置く様子を観察する

初めからボード上のキャラクタとともに表示される階音を見て、正解となる場所にコマを置く生徒と、階音を見るのではなく、まずは適当な場所に置き、音とアニメーションを手がかりに正解となる階音を探ろうとする生徒とに分かれた。また、モード1以降では、複数の生徒が同じ階名を入力した場合、最初の生徒の入力しか受け付けない。このため、1つのグループ内で、最初にコマを置く生徒と後からコマを置く生徒

に分かれた。この場合、後からコマを置く生徒は、完全に受動的という訳ではなく、問題となっている和音と先にコマを置いた生徒の振る舞いから、自分が何を置けばグループとしての問題解決につながるのかを判断している様子が観察された。

実験終了後に、担任の先生とともに、音楽担当の先生らにも加わってもらい、議論を行った。彼らによって指摘を受けた事項は以下のようにまとめられる。

1. ボードが碁盤の目になっていることが操作上の問題になっていないか
2. 画像を表示しない方が操作しやすい場合があるのではないか
3. 生徒は楽しみながら音について学んでいる

1について：ボードは碁盤の目状になっており、コマを置く際には各格子の内側に置かなければならない。一旦置かれたコマを、ボード上で滑らせて別の場所に移動することはできない。したがって、学習者は置きたい場所に正確にコマを配置しなければならない。本システムでは、RFID技術を用いているため、コマが正しく認識されるためには、readerが作り出す電磁場コマが完全に含まれなければならない。コマを滑らせたり、あるいは連続的な場所にコマを配置したりできるようにする手法として、例えば画像処理に基づく方法を挙げることができる。しかし、画像処理による手法では、特定の画像を全体から切り出す必要があり、コマの認識に要する時間が長くなる。また、生徒の手や頭によってボードの一部の画像がキャプチャ出来ないことにより、認識に失敗する可能性がある。

2について：音楽の先生からは、楽曲に合わせて入力する際、音感の優れている生徒は音のみで判断できるため、このような生徒にとってアニメーションによる視覚的な表示は、却って混乱を招いているのではないかと、との意見があった。このことは、視覚と聴覚が融合されることによって、必ずしも認知能力を高めるわけでは

ないことを示しており、拡張現実感や仮想現実感の手法を用いた学習支援システムの設計において、十分に考慮されるべき問題であると考えられる。

今回のシステムでは、学習者がコマを用いて入力を行う部分を鍵盤の画像を使って実現したが、生徒から使いにくい、あるいは使いたくない、といった反応は出なかった。ただし、主に大学生や社会人を対象に、同じシステムのデモンストレーションを行った際には、鍵盤に対する拒否反応も見られた。今後の実験などを通して、どのような楽器のメタファーがどのような利用者にとって有効であるかについても検討していきたい。

本研究では、ゲーム性を導入することで、学習への意欲を高めることを目的とした。しかし、ゲーム性を高めることで表面的には意欲的に見える学習者の興味が学習に向けられているとは必ずしも言えない。むしろ、システムのゲームとしての側面にのみ興味を示し、肝心の学習コンテンツを表層的に捉え、理解を深めていない可能性がある。近年、ゲーム性やエンターテインメント性を導入したedutainmentのコンセプトの下で、学習支援システムの開発が進められているが、学習者の興味がゲーム的な要素のみに陥らないようなシステム設計について、今後の実験を通して明らかにしていきたいと考えている。

## 5. むすび

本稿では、他者との協調による音楽学習支援システムを提案した。学習者が物理世界と相互作用を行いつつ、システムを容易に操作できるようにすること、および楽しみながら音楽を学習できることを目標とし、センシングボードを活用したシステムを構築した。学習者の習熟度に応じた複数のモードを実装し、最初はシステムに慣れながら、しかし少しずつ高度な知識と技術を他者と協調しつつ学習できる環境を実現し

た。小学校の協力の下、本システムの実験を行い、その評価を試みた。今後は評価実験を通して、システムの改良を進めていきたいと考えている。

謝辞 本研究を行うに当たり、システムの評価実験に協力して頂いた横浜市立笹野台小学校の平野成昭先生に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 楠, 杉本, 橋爪: "思考の外化を支援することによるグループ学習支援システム", 電子情報通信学会論文誌 Vol. J83-DI, No. 6, pp. 580-587 (2000).
- [2] Kusunoki, F., Sugimoto, M., Hashizume, H.: "A System for Supporting Group Learning that Enhances Interactions", In *Proc. of Computer Support for Collaborative Learning (CSCL'99)*, Stanford, CA, pp.323-327 (1999).
- [3] Sugimoto, M., Kusunoki, F., Hashizume, H.: "E<sup>2</sup>board: An Electronically Enhanced Board for Games and Group Activity Support", In *Proc. of the International Conference on Affective Human Factors Design*, Singapore (2001, to appear)
- [4] 楠, 溝延, 山本, 山奥, 杉本, 橋爪: "センサリングボードを用いた協調学習支援システム ~音楽への応用~", インタラクション2001 (2001)