

5 情報教育における音楽の利用、音楽教育における情報教育の利用

並木 美太郎 東京農工大学

初等中等教育での情報教育において音楽を題材として用いた事例を紹介する。音楽は繰り返し構造などプログラミングの基本的な考え方に近く、論理的な思考力を養い、適切なプログラミング言語で記述し、計算機上で実行することで、テストやデバッグなどを行える。本稿では、教育用プログラミング言語ワークショップ2007で紹介された各種事例について示し、音楽を用いた情報教育と音楽教育における情報教育について論じる。

プログラミング教育と教育用プログラミング言語ワークショップ

2005年に情報処理学会情報処理教育委員会から「日本の情報教育・情報処理教育に関する提言2005」が公表された¹⁾。この提言では、『課題を分析し、系統的に解決策を考え、コンピュータに実行可能な形で明示的に表現し、実行結果を検討し必要なら反復改良する』プロセス(以下『手順的な自動処理』の構築と呼ぶ)を体験的に理解してもらう必要がある」と述べている。小学校・中学校・高等学校それぞれの発達段階に応じて適切な「手順的な自動処理」の体験を持たせる。計算機上での問題解決の一連の手順として、情報科学を基礎においてソフトウェア開発、情報システム構築を支える人材を育成する観点から「手順的な自動処理」は重要な基本的能力であることは言うまでもない。

「手順的な自動処理」すなわちプログラミングを初等中等教育の生徒に教育するために教育用プログラミング言語のワークショップを2006年に開催した。2006年度

のワークショップは本特集の別稿を参照されたい。本年2007年のワークショップ²⁾では、テーマを「プログラミングの教育利用」に置いた。情報教育の中で中核をなす情報科学教育への利用、初等中等教育で学習者の興味をひきやすいロボットをはじめとする制御教育については別稿を参照されたい。このような題材以外で、プログラミングを教育に利用できる他教科を議論することになった。数学や理科については過去に多くの試みがあり、成果をあげてきた。ロボットについては、数学、理科、技術家庭など総合的に教育できる。しかし、これら以外の教科になると、検索やコミュニケーションに代表されるように計算機を道具とする事例は多いが、「プログラミングの教育利用」となると理数系科目以外は事例が少ない。情報以外の教科の中で「手順的な自動処理」を教育できれば、プログラミング教育で有用な手法を得ることができよう。

情報教育と音楽

情報処理の関係者の趣味は幅広いが、音楽を趣味とする読者は多いのではないだろうか。オーディオ機材などのハードウェアに凝る方、CDなどのソフトウェアに凝る方など幅広い楽しみ方がある。音楽を聴いて楽しむ以外に自ら演奏する方々も少なからずいるであろう。分野や楽器はさまざまであるが、曲を演奏する経験を持った方は多いと思われる。音楽については音の高さ、長さ、リズム、強さなど基本的な要素を、一定の規則によって組み合わせ1つの曲を構成する。楽譜を読まれる方は、繰り返しや1番目と2番目で異なる部分を演奏するなど

の構造を持っていることを知っていると思う。また、和声についてもいくつかの規則があるほか、楽曲にはカデンツァと呼ばれるあるパターンを持った和声進行があり、一定のデザインパターンを持っていることは周知のとおりである。

プログラミングでは処理手順の記述として、プログラミング言語を用いる。多くのプログラミング言語では、逐次、選択、繰返しなどの基本的な制御構造を持っているのは周知のとおりである。「手順的な自動処理」の「コンピュータに実行可能な形で明示的に表現し」の多くは、手順を論理的に考え、ある構造を用いながら処理を記述する。

このような、ある主題を持って、基本的な要素を構造に従いながら1つの流れを構成する題材として、音楽を例にとることを考えた。ある曲を作る、ある曲を演奏するためのプロセスとして、プログラミング的な発想と手段を用いることができないか、逆にプログラミング教育の題材として音楽を用いることができないか、と考えたのである。

ちなみに、計算機と音楽の関係は古い。1960年代からさまざまな研究が行われている。本会でも「音楽情報科学研究会」において音楽と情報処理の関係を活発に研究しているが、本ワークショップでは、音楽教育の情報化と同時に、情報教育への音楽の適用可能性を初等中等教育の観点から議論した。「教育の情報化」つまり、すべての教科で計算機を用いて効果的な教育を行うと同時に、情報教育を行うための題材としての音楽をとりあげることにより、

- 興味の喚起
- 手順の構築としての具体的事例
- 手順の表現、抽象化

を示すことができないかと考えた。たとえば、楽譜が持っている選択構造や繰返し構造などは、算譜であるプログラムの基本構造を教えることができるはずである。メロディの表記を基本演算と考えて、各種制御構造を用いて組み合わせることにより曲を構成することを教えることができるかもしれない。逆に、音楽教育において、プログラミング的な考え方をもち込むことにより、より効果的な作曲、編曲の教育を行えるかもしれない。

「ストン表記」

音楽を計算機で記述する方法としては、従来の楽譜をGUIにより入力する方法、MIDIの表記を入力する方法

などが考えられる。しかし、前者は楽譜の知識がないと記述できない、MIDIは計算機に例えればアセンブラに近く音楽やプログラミング初心者には記述困難である。

そこで、本ワークショップでは増井による「ストン表記」に着目した³⁾。「ストン表記」は、カタカナ音符で音楽を表記する。たとえば、

「ド」「レ」「ミ」「ファ」「ソ」「ラ」「シ」「ド」:

音符の表現

「ッ」: 休符の表現

「-」: 音を伸ばす

「#」: 前の音を半音上げる

「b」: 前の音を半音下げる

「^」: 1オクターブ上げる

「_」: 1オクターブ下げる

のように書く。たとえば、童謡「チューリップ」の最初の4小節は「ドレミドレミソミレドレミレー」と表す。子供に音楽を教えるときに、このような表記を用いることがある。音符を記号化しているので処理も容易であり、最終的にはソフトウェアでMIDI形式に変換し、計算機で演奏する。楽譜の知識がなくてもメロディを表現できる。本ワークショップでは、音楽や計算機の初心者でも音楽を表記しプログラミングできることを目標としているので「ストン表記」を基盤とするようなプログラミングを主な題材とした。

「サクラ」と「ドリトル」における音楽の表記

「サクラ」⁴⁾「ドリトル」⁵⁾ともに「ストン表記」を取り入れたプログラミング言語である。「サクラ」はDTM (DeskTop Music) ソフト、「ドリトル」はオブジェクト指向によるプログラミング教育用の言語である。いずれもテキストベースで音楽を表現する。表現力を重視するよりも、楽譜や情報の知識がなくても手軽に作曲や演奏を行えることが重要である。「サクラ」では、音の高さとしては、ドレミファソラシがそのまま対応し、音階は1〜7で指定、オクターブの上下は↑↓を用いる。リズムについては、八分音符なら音符8と書き、休符は「ッ」または「ン」を書く。たとえば「さくらさくら」の最初の6小節は、

音符 4

ララシーララシー

ラシ↑ド↓シラシ8ラ8ファー

ミドミファミミ8ド8↓シー↑

と表記する。これだけでも、プログラムの逐次実行の概念を教えることができる。さらに、「サクラ」も「ドリトル

ル」も通常のプログラミング言語の制御構造を用意している。たとえば、「サクラ」では繰返し、マクロ、スクリプトの機能を持っている。「サクラ」では、繰返しを【】で表し、

【4 ドレミファミレドー】

で「ドレミファミレドー」を4回繰り返す。言語C流に書けば、

```
for(i=1; i <= 4 ; ++i) {
    「ドレミファミレドー」
}
```

となる。繰返しは入れ子にできることは言うまでもない。さらに音楽では繰返しの最後で異なるフレーズを入れることが多いが、

【4【2 ドレミファ：ソラソー】ソラシー】

と「:」の記号を入れることにより、次の制御構造と等価な記述ができる。

```
for(i=1; i <= 4 ; ++i) {
    for(j=1; j <= 2; ++j) {
        「ドレミファ」
        if(j == 2) break ;
        「ソラソー」
    }
    「ソラシー」
}
```

また、よく使われるフレーズをマクロとして定義する機能、複数パートの表現としてトラックを用いることができる。さらに、

```
Function 名前(引数){
    <実体>
}
```

という形式で各種処理を関数として記述できる。「サクラ」はWeb上で表記、ソフトウェア、豊富な例題が数多く公開されている。

「ドリトル」は初等中等教育におけるプログラミング教育向けに設計されており、ネットワークのほかに、音楽のためにメロディオブジェクトが用意されている。音符の表記そのものは「サクラ」と同様に「ストン表記」を元にしており、たとえば、

楽譜 = メロディ!作る。
楽譜!『ドレミドレミー』追加。

で、メロディオブジェクトのインスタンスに童謡「チューリップ」の最初の2小節をメッセージとして送信し、

楽譜を作成する。演奏については、楽器オブジェクトのインスタンスを生成し、楽譜の内容を送信してから、演奏する。繰返しや条件判定は「ドリトル」が持っている制御構造を利用することができる。たとえば、チューリップは、

```
x = 1.
「
    楽譜!『ドレミドレミーソミドレミ』追加。
    「x == 1」! なら「楽譜!『レー』追加」
    そうでなければ「楽譜!『ドー』追加」実行。
x = 2.
」! 2 繰り返す。
```

と書ける⁶⁾。

「サクラ」「ドリトル」ともに、逐次実行(接続)、条件分岐(選択)、繰返しを表現できる。さらに「サクラ」では、関数(サブルーチン)を表現でき、通常の手続き型プログラミング言語とほぼ同等の表現能力がある。音楽の立場からは計算機に近すぎる表現かもしれないが、情報教育の立場からは

- 処理手順を論理的にとらえ
- 一定の規則に従って表記し
- 計算機上で実際に実行できる

利点がある。さらに、

- 実行(演奏)することで間違い(バグ)をすぐに確認できる
- 音楽という比較的誰でも知っている題材をもとに
- 学習者が楽しみながら音楽とプログラミングを学ぶことができる

と考えた。

実践例

2007年度のワークショップでは、音楽教育と情報教育の接点を目指して、次の発表が行われた。括弧内は所属である。

- 酒徳峰章(ウノウ)「サクラで楽しく音楽プログラミング」
- 梅本竜(蘇州倶楽部)「音楽理論を学ぶためのサクラ入門環境」
- 辰己丈夫(東京農工大学)「音楽を利用した情報教育の提案」
- 山澤昭彦(荘銀総合研究所)「なでしこ／ドリトルによる作曲プログラム」
- 荒木恵(慶應義塾大学)「小学校におけるオルゴール

と「ことだま on Squeak」を用いたプログラミング教育の試み」

いずれも、事例を重要視し、教育に用いた実践が紹介された。

酒徳は先の「サクラ」を紹介した。フリーの作曲ソフトとしてはユーザが多く、掲示板に「サクラ」で書かれたソースコードが約1万曲存在する。ユーザの年齢層は幅広く、小中学生から社会人まで及ぶ。初心者の方は段階的に音楽を楽しみながらプログラミングを学ぶことができる。2006年度には教科「情報」の情報Aのある教科書に「サクラ」が掲載された。自分が演奏したい曲をプログラミングするだけでなく、乱数を用いた作曲例、さらには一定規則に従い作曲を支援するアルゴリズム作曲の例があるという。初心者だけでなく、「サクラ」に慣れたユーザは、芸術的な曲を作曲しており、初心者からプロまで利用している事例が紹介された。教育用プログラミング言語の視点からは、

- 通常の手続き型プログラミング言語の機能で初心者からプロまで音楽とプログラミングを学び、親しむことができた
- スクリプト機能により機能拡張が容易であり、音楽のプロのユーザも利用できたこと、各種演奏支援の機能を実装でき、音楽教育の情報化を支援できた

などの特徴が明らかになった。

梅本は作曲を教える立場から「サクラ」を利用した事例を紹介した。梅本は作曲を教育する立場にあり、その中でも音楽理論にスポットを当てた。そもそも音楽の学習過程は、従来、楽器の使い方、楽譜の読み書き、楽譜に忠実に演奏し、作品の事例を学んだ上で作曲を学ぶという。この過程が長い上に、作曲を教える人は少なく、作曲の学習は興味があっても簡単に始めるのが困難な現状にある。特に、音楽理論を学ぶ学習者の理解が困難な要因の1つとして、 \sharp 、 \flat にあることを示し、「サクラ」のマクロ機能、スクリプト機能により、元来は相対的な音階である \sharp 、 \flat を隠蔽しながら適切なコードやスケールを理解することが容易になった事例が紹介された。音楽教育の情報化の一例である。

辰己は「ドリトル」の音楽機能を用いた情報教育の事例を紹介した。実際に、初等中等教育の生徒に「ドリトル」を用いて演奏、作曲を行う授業を実施し、音楽機器の利用、楽譜の構造の理解、MIDI ネットの理解、著作権などを教えることができたこと、音楽を用いることで、バグは聞くと分かること、計算機で良い作曲ができ音楽を

利用する楽しさを伝えることができたことなどが示された。全体的に生徒の動機付け、興味を持たせる効果も高い。現在、実践で評価中である。生徒の傾向としては、楽曲の構造と繰返しを教え、理解させないと同一のメロディを切り貼りにより何度も書く傾向があることが紹介された。プログラミング教育でも、適切なプログラムの書き方を教える必要があり、プログラミングの初心者が繰返しや条件分岐を用いずに同一コードのコピーを行うのと同様に、音楽を用いたプログラミング教育でも、繰返しなどの構造をきちんと理解させることが重要である。なお、音楽を利用したプログラミング教育では、ロボットやお絵書きに興味を持たなかった女子児童・生徒・学生が、音楽になると熱中しはじめた、と性差があるという。

山澤は「なでしこ」と「ドリトル」を用いて実際に大量に作曲を行った事例を紹介した。「なでしこ」は酒徳が設計・実現した日本語プログラミング言語であり、教育用プログラミング言語として利用者は多い。「なでしこ」でも「サクラ」の機能を用いることができる。本発表の特徴は、「なでしこ(サクラ)」および「ドリトル」を実際に用いて演奏および作曲を行った実践の例を示し、それぞれの特徴を紹介した点にある。なお、山澤は音楽については初心者である。音楽を用いた情報教育の利点として、

- 音楽は要素が単純で分かりやすい：楽譜は手順を書いたプログラム
- 音楽をアルゴリズムで作れる：乱数、セルオートマトン、フラクタルなどを用いて作曲
- プログラムで楽器という装置を制御できたこと
- 音を楽しみながら情報処理を学べたこと

を特徴として述べた。また、「なでしこ」と「ドリトル」の共通の性質として、日本語でプログラミングできたこと、スクリプト言語であり、教育用プログラミング言語としても十分有効であったことを挙げた。異なる点として、「なでしこ」はMML (Music Macro Language)、「ドリトル」はオブジェクト指向となっており、最初は「なでしこ」の方が理解しやすかったとのことである。ただし、山澤は手続き型プログラミングの経験があり、まったくプログラミングの経験がない場合にどちらが理解しやすいかは今後の詳細な評価を待ちたい。

荒木の発表は「ストン表記」による音楽プログラミングではなく、小学生に対し、現実世界に存在する仕組みを理解し、その仕組みをプログラムにより計算機上に実現する過程を通じ、実世界の計算機シミュレーションを行える能力を養った事例である⁷⁾。小学生にとって身

近な題材であり, 仕組みとシミュレーションしやすいオルゴールを選んだ。重要な点は, 実世界の機構の理解と計算機シミュレーションであり, そのためにオルゴールという楽器と音楽を題材に選んだことにある。小学生が利用するプログラミング環境として, Squeak eToysを日本語化した「ことだま on Squeak」を用いた。実在するシリンダ型オルゴールの構造を説明した上で, Squeakにより仮想的なオルゴールを作成し, 実際に演奏させる授業を行った。小学6年生36名に対し授業を行った結果, ほぼ全員の生徒がオルゴールの機構を理解した上でSqueakでオルゴールを作れたことが紹介された。この過程で, シリンダを平面に展開した模型教材を用意し, その模型教材との連携がうまくいったこと, 課題に対する意欲・取り組み方に性差が見られたことが紹介された。Alan Kayは「構成主義に基づく, 発見的学習を支援する, 科学と数学のための環境」としてSqueakを生み出した。本発表は, その理念を音楽と融合して実践した興味深い事例の1つである。

今後の展望

ワークショップでの発表とその後の議論として, 音楽は題材としては有効であることが確認された。特に, 興味の喚起, 手順の記述, プログラムの顔をしないプログラミング, 音楽教育への支援などが有効である, は大方の意見であった。しかし, 実践事例では, 音楽プログラミングの際のモデル化, たとえば, 音楽オブジェクト定義をどうするか, しかもその定義が教育に対して果たして適切であるかどうかは, 今後も検討が必要であろう。実際, 「ドリトル」でも音楽の機能についてはいくつかの版があるほか, 「サクラ」も目的に応じたスクリプトやマクロが数種類用意されている。また, 初等中等教育の

現場で実施する場合, 教員の音楽的素養, カリキュラム, 評価方法をどうするかをさらに具体的に検討する必要がある。たとえば, 「良い作曲ができた」「良い楽譜」をどう評価すべきかは問題である。プログラムの場合は, 実行時性能などで客観的評価を行うことができたが, 音楽プログラミングは何を尺度にすべきか, そもそも何を分かったから良しとすべきか, などが議論が上がった。音楽を用いた情報教育, 情報を用いた音楽教育の有効性の検討とともにさらなる実践事例の積重ねと評価の進展を期待したい。

参考文献

- 1) 情報処理学会情報処理教育委員会: 日本の情報教育・情報処理教育に関する提言 2005, <http://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/proposal-20051029.pdf>
- 2) 教育用プログラミング言語ワークショップ 2007-ワープロ 07, <http://sigps.tt.tuat.ac.jp/index.php?%B6%B5%B0%E9%CD%D1%A5%D7%A5%ED%A5%B0%A5%E9%A5%DF%A5%F3%A5%B0%B8%C0%B8%EC%A5%EF%A1%BC%A5%AF%A5%B7%A5%E7%A5%CE3%A5%D7207%20%A1%DD%A5%EF%A1%BC%A5%D7%A5%ED07%A1%DD>
- 3) 増井俊之: ストロン表記による楽音生成, <http://pitecan.com/Sutoton/>
- 4) テキスト音楽「サクラ」, <http://oto.chu.jp/>
- 5) 兼宗 進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井眞吾, 久野 靖: 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.SIG11, pp.78-90 (2001).
- 6) 辰己丈夫, 兼宗 進, 久野 靖: ドリトルと「情報教育の音楽化」, 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育研究会」2005-CE-82, pp.77-84 (Dec. 2005).
- 7) 荒木 恵, 岡田 健, 大岩 元: 小学校におけるオルゴールと「ことだま on Squeak」を用いたプログラミング教育の試み, 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育研究会」2007-CE-88, pp.69-75 (Feb. 2007). (平成19年4月18日受付)

並木美太郎 (正会員)

namiki@cc.tuat.ac.jp

1986年東京農工大学修士課程修了。同年日立製作所基礎研究所, 1988年東京農工大学助手, 1994年同大助教授, 2007年同教授。OSやコンパイラなどのシステムソフトウェア, 組み込みシステム, 並列・分散処理などの研究開発, 情報教育に従事。博士(工学)。

