

Title	練習曲を好みの曲の伴奏に編曲することによる 楽器練習の継続支援に関する研究
Author(s)	村井, 孝明
Citation	
Issue Date	2015-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/12696
Rights	
Description	Supervisor:西本一志, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

練習曲を好みの曲の伴奏に編曲することによる
楽器練習の継続支援に関する研究

指導教員 西本一志 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識科学専攻

1350039 村井 孝明

審査委員：西本 一志 教授（主査）
DAM HIEU CHI 准教授
HO BAO TU 教授
内平 直志 教授

2015年2月

A study on an arrangement system of an etude
into an accompaniment of another musical piece
to support motivation of music instrument
practice

Takaaki Murai

School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology
March 2015

Keywords: Automatic music arrangement, Motivation, Violin, MIDI, Chord, Harmony

It is generally difficult to play the violin. This study attempts to make the method which is to keep motivation of practice for violin learner. In practice of violin, Scale and Etude are necessary, although many violin learner stop to practice with these. The reason is that most of etudes are monotonic. Thus the method to be became able to practice with joy is required.

Up to now, many researchers reported to propose new practice methods for performer. However, these has some problem that apply to a few performer, didn't cover Scale and Etude. While I can find many researches that proposed automatic system for music arrangement. Nevertheless these also didn't cover factors of Scale and Etude.

This paper propose a system named Amuse étude, which arranges an etude into

an accompaniment of a musical piece such as a popular music that the learner likes to listen to it, and report system evaluation of this research. To keep harmony, this system recognizes a chord of a popular music, and make an accompaniment phrase which is tuned from this chord. Evaluation of this system divides to carry out three terms. First is an experiment to evaluate validity of the idea. In this term, 4 participants carried out comparative experiment in a circumstance of using this system and not using this system. Second, I did an evaluation experiment of developed application based on this system. This experiment lets 3 participants use the system application and I interviewed for them about the musical piece which made by this system. Finally, a violin expert evaluate this idea and system application. I illustrated this idea and application and questioned the expert about whether this system can support learner motivation or not.

The result of an experiment to evaluate validity of the idea shows that is possibility to keep the learners' motivation in practice comparing to the ordinary practice methods, although working hours which don't lead to improvement increase clearly. From an evaluation experiment of developed application based on this system, the sound made by this application is natural melody and it is good that this application allow to select many popular music dates. However, the study discover some problem, for example, an application which display music dedicated to use this application is necessary and even if one Etude is selected in this application, the generated music is similar to other. In an expert comments, although seems to be for people to do as a hobby is valid, this system has some problem that does not aim who is subject, the system means is not match with original means and listening subject is not clear that are better to listen PC sound or sound from own music instrument.

目次

第1章	はじめに	1
第2章	関連研究	2
2.1	楽器の練習における新たな練習手法の提案	2
2.2	自動編曲システム	3
2.3	自動楽曲分析	3
第3章	予備調査	4
第4章	Amuse étude	6
4.1	使用手順	6
4.2	システム詳細	8
4.2.1	MIDI データ	8
4.2.2	練習曲データベース	8
4.2.3	伴奏の生成	11
第5章	実験 1: アイデアの有効性の検討	22
5.1	はじめに	22
5.2	被験者情報	23
5.2	実験方法	24
5.3	実験結果	25
5.3.1	行動分析	25
5.3.2	アンケート	27
5.3.3	インタビュー	28

5.4 考察.....	29
5.4.1 行動分析.....	29
5.4.2 アンケート.....	31
5.4.3 インタビュー.....	31
5.4.4 総評.....	33
第6章 実験2:アプリケーションの評価.....	34
6.1 はじめに.....	34
6.2 ユーザーインタフェース.....	34
6.3 被験者情報.....	38
6.4 実験方法.....	39
6.5 実験結果.....	40
6.6 考察.....	42
第7章 専門家からの評価.....	43
7.1 専門家情報.....	43
7.2 評価.....	44
7.3 考察.....	45
第8章 まとめ.....	46
謝辞.....	47
参考文献.....	49
付録1 専門家のプロフィール.....	52
付録2 実験1での行動分析のデータ.....	53
付録3 専門用語集.....	62

目 次

図 1	予備アンケートの結果.....	5
図 2	使用手順の概要	6
図 3	練習曲のサンプルの一部.....	10
図 4	図 3 の練習曲から得られたすべての単位パターン	10
図 5	被伴奏楽曲のサンプル.....	11
図 6	被伴奏楽曲のフレーズの一例.....	16
図 7	練習曲の単位パターン群の一例	16
図 8	編曲された被伴奏楽曲の一例（悪い結果）	17
図 9	編曲された被伴奏楽曲の一例（良い結果）	17
図 10	練習重視型の規則⑥	18
図 11	生成された伴奏のサンプル.....	21
図 12	行動分析の結果	26
図 13	アンケートの結果.....	27
図 14	Amuse Etude のプロトタイプ画面	35
図 15	Amuse Etude のコンソール画面(実行前)	36
図 16	Amuse Etude のコンソール画面(実行後)	37

表 目 次

表 1	予備アンケートの質問項目	5
表 2	実験 1 の順序.....	25
表 4	システムを利用した場合での A さんの行動.....	54
表 5	システムを利用しない場合での B さんの行動.....	55
表 6	システムを利用時での B さんの行動	56
表 7	システムを利用時での C さんの行動	57
表 8	システムを利用しない場合での C さんの行動.....	59
表 9	システムを利用しない場合での被験者 D の行動	60
表 10	システムを利用時での被験者 D の行動.....	61

第1章 はじめに

楽器の演奏は楽しい。自分の好きな楽器で、好みの楽曲を演奏することは、心の豊かさや生きがいをもたらしてくれる、非常に楽しい創造的行為である。しかしながら、楽器を思い通りに弾きこなせるようになることは一般に非常に困難であり、その実現には膨大な時間と労力が必要となり、しかも多くの場合苦痛を伴う。このためか、日本人を対象とした総務省の調査によれば、楽器の演奏者人口が次第に減少していることが明らかになっている [1]。このような状況に対して、筆者は時代に合わせて練習方法や手段を改善していく必要があると感じている。

本研究では、特にバイオリン演奏の学習者を対象として練習意欲を継続させる手段の実現を目指している。バイオリンは音を鳴らすことすら難しい楽器と一般的に言われており、初歩的な楽曲を演奏できるようになるためだけでもとりわけ多くの練習が必要となる。それゆえ、道半ばで挫折してしまうケースが非常に多い。バイオリン演奏の習熟過程において、特に重要であるにもかかわらず、一般にきわめて退屈であるがために挫折の要因となってしまうことが多い基礎練習に楽しく取り組むことを可能とする手段が求められている。

そこで本稿では、バイオリン学習者が好んで聴取しているポピュラー・ミュージックなどの楽曲に対して、基礎練習のための練習曲の要素を含んだ伴奏を自動的に編曲・提示する、バイオリン練習指向伴奏自動編曲システム *Amuse étude* を提案し、システム評価の研究を行った。*Amuse étude* が提示する伴奏パートを、対応する楽曲の再生音にあわせて演奏することで、楽しく練習曲を演奏することが可能となることを期待している。初めにアイデアの有用性を検証するために実施したユーザスタディの結果を報告し、次に開発したアプリケーションの有用性を評価する。

本稿では、音楽に関する専門用語を多用している。専門用語については付録3にまとめてあるので、随時参照させられたし。

第2章 関連研究

2.1 楽器の練習における新たな練習手法の提案

新たな楽器の練習支援方法が多数提案されている。例えば、筆者の研究室の **Family Ensemble**[2]は、ピアノ演奏経験のない家族とピアノ初学者の子どもが容易に連弾演奏できるようにすることで、子どもの家庭における練習意欲を向上させるシステムである。**Digital Violin Tutor**[3]は、バイオリン演奏学習者に演奏結果をフィードバックしたり、3D モデルで作られた教師を提示したりすることにより、教師がいない普段の練習でも、効率の良い練習を行えるようにするシステムである。榊原ら[4]は、バイオリンの練習において、音を鳴らさず運指[*a]の練習を可能とするシステムを提案している。これにより、初心者が音程のあっていない音を出すことによる練習意欲の低下を抑えられる結果が得られている。

しかし、これらのシステムは、スケール[*b]やエチュード[*c]の練習を支援対象とはしていない。また、いずれのシステムも利用できる条件が満たしにくいものであり、多くの人を対象とできない。

2.2 自動編曲システム

自動編曲システムに関しても多くの研究がある。たとえば、浜中ら[5]は、音楽理論 GTTM に基づいたメロディーモーフィングを自動で行う手法を考案した。染矢ら[6]は、浜中ら[5]の手法を基に、音楽理論を深く知らない初学者でも作曲が行えるシステムを提案した。

また、オーケストラの曲を自動的にピアノアレンジしてくれるシステムの研究がある。大沼ら[7]は、オーケストラ譜からピアノ譜へ編曲する際、人間の手で演奏できるということに特化したピアノ譜への編曲を半自動的に生成できるシステムを提案した。Shin-Chuan[8]らは、元の譜面からピアノ譜へ編曲するにあたり、独自の提案による4つのフレームに分割するアルゴリズムを採用することにより、より機械と人間の手による編曲との違いを縮められる編曲システムを提案した。

しかし、スケールやエチュードの要素を採り入れた伴奏を編曲するシステムは、筆者の知る限り存在しない。

2.3 自動楽曲分析

奏者の練習支援に関することとして、テクニック以外に作曲者の難解な意図の理解を支援する研究も多く報告されている。

楽曲において、音を一つ一つとらえるようなマイクロな見方だけでなく、楽曲全体を見渡すマクロな見方をすることにより、作曲者の様々な意図を把握することは、演奏者にとっても聴き手にとっても重要なことである。らふのおと[9]では、楽曲の特徴を時系列に沿って一画面に可視化することにより、時間変化の理解を支援する結果が得られた。Colorscore[10]は、クラシック音楽における膨大なページ量のスコア譜を、重要な音楽的要素を残したまま圧縮し、更に要素を色分けすることにより、楽曲構造の理解を支援することを実現している。これにより、音楽演奏に関する初心者でも構造を理解することを可能とした。

第3章 予備調査

バイオリンの練習では、一般的にスケールやエチュードと呼ばれる基礎練習のための練習曲と、発表会等で演奏するような楽曲（ここでは課題曲と呼ぶ）の、2種類の楽曲に対する練習を行う。スポーツにたとえるならば、体力作りのための基礎的な鍛錬が練習曲に相当し、練習試合が課題曲に相当する。課題曲を弾きこなすためには、練習曲の十分な練習が不可欠である。

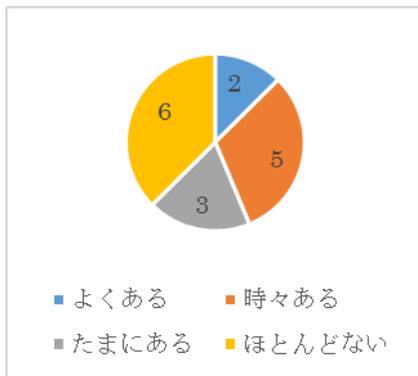
本研究が支援対象としている日常的な基礎練習に関する予備調査として、バイオリンを演奏しているアマチュア・音大生・音大卒業生ら16名にアンケートを行った。アンケートの内容を表1に、結果を図1に示す。

図1の結果から、約88%の回答者が基礎練習の重要性を認識している(Q4)にもかかわらず、約63%の回答者が「練習をつらく飽きると感じることもある」と回答し(Q1)、特に練習曲の練習はつらいとする回答が多かった(Q2)。そのように感じる理由として、Q3では「課題曲の方へ時間を使いたい」、「単調である」、「弾きすぎて飽きている」という回答が目立つ。以上の結果から、多くの場合、バイオリンの練習全体がつらいのではなく、練習曲の練習がつらいということが示唆された。

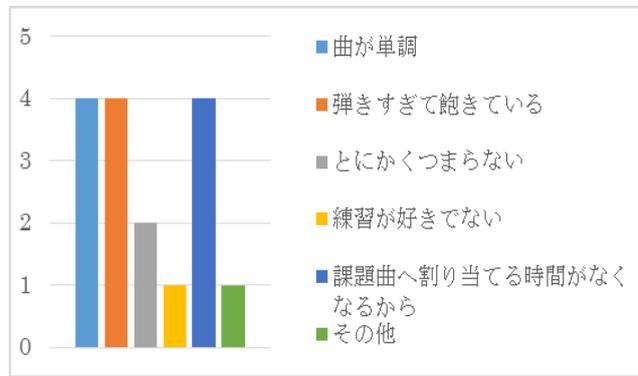
表 1 予備アンケートの質問項目

Table 1 Pre Questionnaire.

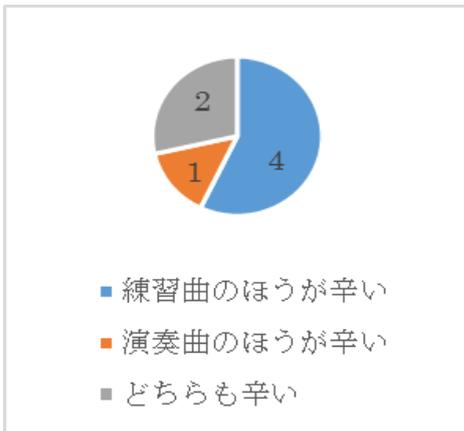
質問番号	質問内容
Q.1	練習が辛い，又は飽きると感じることはありますか
Q.2	そのうち，演奏曲と練習曲のどちらが辛いですか
Q.3	辛い原因はどのような理由ですか
Q.4	スケールやエチュードについてどのように感じていますか



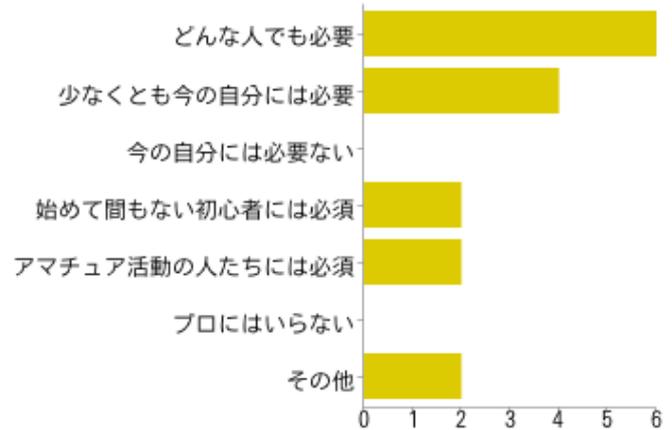
Q1 への回答



Q2 への回答



Q3 への回答



Q4 への回答

図 1 予備アンケートの結果

Figure 1 Result of the third questions.

第4章 Amuse étude

4.1 使用手順

Amuse étude を用いる手順について、図 2をもとに説明する。

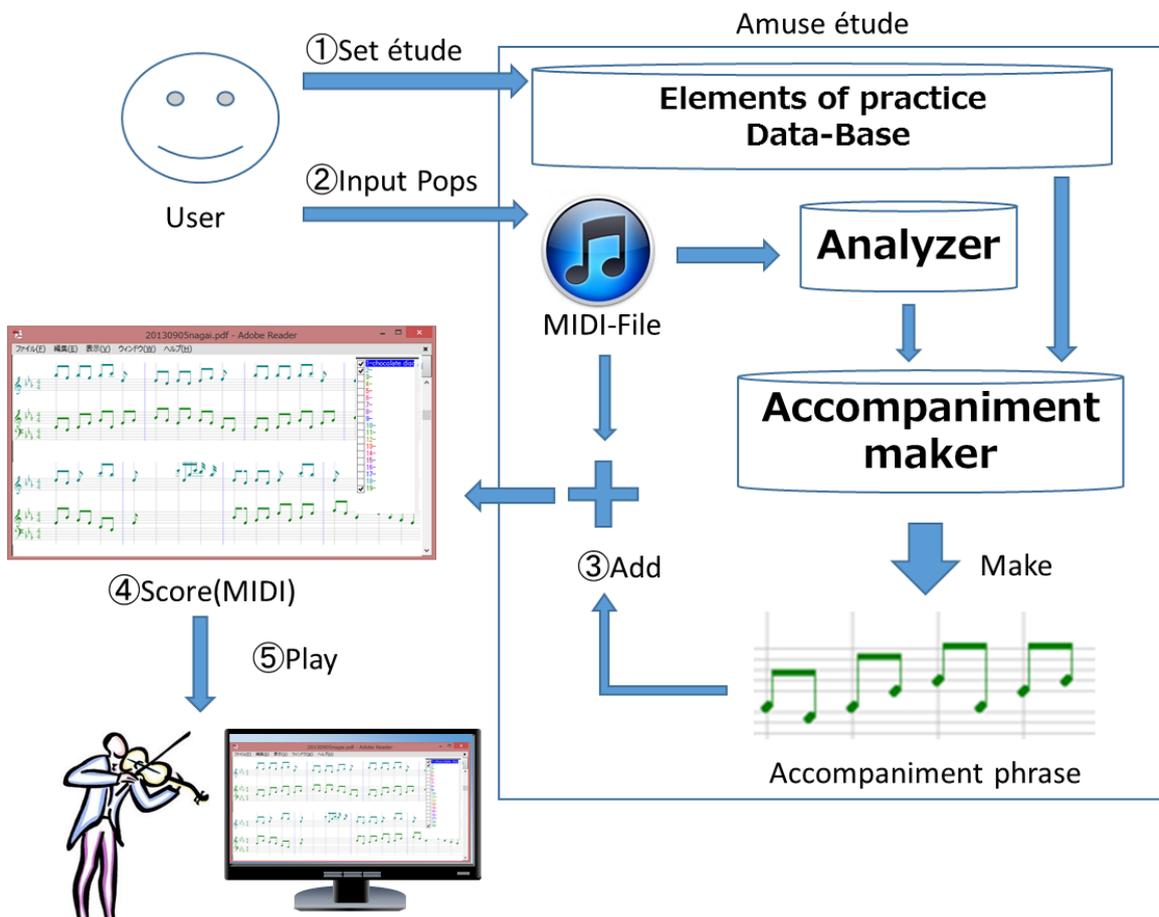


図 2 使用手順の概要

Figure 2 Flow of System Usage

① 練習曲の指定

初めに、ユーザは練習したい練習曲（たとえば、「クロイツェル[*d]の練習曲 2 番」など）を指定する。システムは、指定された練習曲のデータを練習曲データベース上で検索し、取得する。

② 被伴奏楽曲の指定

次に、ユーザは好みの楽曲（これを「被伴奏楽曲」と呼ぶ）の MIDI (Musical Instrument Digital Interface) データ[*e]をシステムに入力する。システムは入力された MIDI データを解析し、すでに取得している練習曲データを元に、伴奏パートを自動編曲する。自動編曲の具体的な手法については、後述する。

③ 楽曲データの統合

システムは、被伴奏楽曲の MIDI データと、編曲した伴奏パートを統合した MIDI データを生成し、出力する。

④ 楽譜の提示

ユーザは、システムが出力した MIDI データを、別途用意された既存の楽譜表示ソフトウェア（たとえば世界樹[11]など）に入力し、楽譜として表示する。

⑤ 演奏

手順②でユーザが入力した被伴奏楽曲の MIDI データ、または同じ楽曲の mp3 音源等を再生しながら、手順④で提示された楽譜の伴奏パートをユーザが演奏し、練習する。なお、被伴奏楽曲の再生時のキーは、指定した練習曲のキーに合わせる。これは、練習曲側のキーを変更すると運指が大きく変化し、本来なすべき練習が実施できなくなるためである。

4.2 システム詳細

4.2.1 MIDI データ

本システムでは、被伴奏楽曲は、ヤマハ株式会社が提案する XF フォーマット[12]に従う MIDI データとしてシステムに与える。これは、正確な楽譜化を行うためと、以下で述べるように、被伴奏楽曲の和声（コード）[*f]情報および調性（キー）情報を取得する必要性があるためである。なお、XF フォーマットで記述された楽曲データは、ヤマハ音楽データショップ[13]から多数入手可能である。また、本システムでは MIDI データの認識、および編集には「おーぷん MIDI ふろじょくと」[14]のサイト内で公開されているライブラリを用いた。

4.2.2 練習曲データベース

練習曲データベースは、音楽理論に精通した者が、あらかじめ個々の練習曲を一定の単位パターンに区切って細分化・抽象化したものを、練習曲ごとにまとめたものの集合である。細分化と抽象化の基本的な手段については後述する。なお、5章で述べる実験で使用した練習曲データベースには、カイザーと呼ばれるエチュード（練習曲）の第4番について、筆者が細分化・抽象化したデータを登録した。カイザーの第4番については、エチュードの中で多く見られるメロディックではない単調なフレーズの続く形式であり、練習意欲を保ちにくい楽曲であることから選択した。

【作成方法】

図 3はカイザーのエチュード第 4 番の曲の一部である。練習曲であるスケールやエチュードは、図 3に示す事例のように、類似したパターンが何度も繰り返されることが多い。このような類似パターンの繰り返しが基礎練習として重要である反面、これが練習に対する飽きを引き起こす大きな原因の 1 つであると考えられる。

図 3の練習曲の場合、16 分音符 4 つ分、つまり 1 拍分を単位パターンとして区切ることにする。単位パターンの区切り方は様々に考えられるが、単位パターン長を長くとりすぎると、次節で説明する伴奏フレーズの生成時に適用できないパターンが発生してしまう可能性が高くなる。ゆえに、単位パターンは、練習要素を損なわない範囲で、できるだけ短く区切ることが望ましい。図 4に、図 3の練習曲から得られるすべての単位パターンを示す。

次に、収集した単位パターンを抽象化し、抽象化単位パターンを生成する。ここで抽象化とは、絶対的な音高[*g]で記述されている各単位パターンを、相対的な音程で記述しなおすことをいう。たとえば、図 4の最初の単位パターン [E, G, E, G][*h]は、最初の音 E を基準 (0) とすれば、G は半音 3 つ分高い音となるので、[0, 3, 0, 3] と抽象化される。このようにして、得られたすべての単位パターンを抽象化した抽象化単位パターンを、元の単位パターンと併せて練習曲データベースに登録する。

強弱記号やスラー[*i]等のその他の記号については、各練習曲で行うべき練習を考慮して、必要に応じて情報を練習曲データベースに登録する。図 3の練習曲の場合は、スラーを 4 拍分 (16 分音符 16 個分) にかけること、アクセントは 2 拍目頭や 4 拍目頭などに置くこと、などを登録する。これらの情報は、単位パターンとセットにして登録するもの (たとえばアクセント位置) と、個々の単位パターンとは関係なく、伴奏を生成後に適用するもの (たとえばスラーをかける拍数) とに分けておく必要がある。なお、図 3の場合、テンポについては *Allegro* (快速に) と書かれてあるだけであり、明確なテンポの指定はない。そのため、ここでデータ作成者がおおよその速さを BPM[*j]で指定する。今回の例では、筆者の裁量で BPM=95 と決めた。



図 3 練習曲のサンプルの一部

Figure 3 A sample of Etude.



図 4 図 3 の練習曲から得られたすべての単位パターン

Figure 4 Unit patterns obtained from Etude shown in Fig.3

4.2.3 伴奏の生成

本節では, 被伴奏楽曲として図 5に示す楽曲の MIDI データをシステムに入力し, 図 3に示す練習曲を指定した場合を想定して説明する.

まず, 被伴奏楽曲として入力された MIDI データの再生速度情報と, 指定された練習曲のテンポ情報に基づき, 単位パターンを構成する各音符の音価[*k]を調整する. 基本的には, 被伴奏楽曲の演奏速度はそのまま維持しつつ, 練習曲の演奏速度がもともと指定されている練習曲の演奏速度にできるだけ近く, かつ過度に演奏困難にならないように音価を変える.

BPM=120

The musical score is presented in two staves per system. The top staff is the melody, and the bottom staff is the accompaniment. The key signature is one flat (F major/D minor), and the time signature is 4/4. The tempo is marked as BPM=120. The score is divided into three systems. The first system (measures 1-4) has a melody starting with a quarter note F, followed by quarter notes G, F, G, and a half note C. The accompaniment consists of chords: F, G, F, G, C, Dm/F, and G/B. The second system (measures 5-8) has a melody with eighth notes and quarter notes. The accompaniment has chords: C, Dm/F, G7, C, Dm/F, G/B, and C. The third system (measures 9-10) has a melody with a quarter note G and a half note C. The accompaniment has chords: C/E and C.

図 5 被伴奏楽曲のサンプル

Figure 5 A sample of musical piece that is accompanied with

例えば図 5の被伴奏楽曲の再生速度は bpm=120 であり，図 3の練習曲の演奏速度は bpm=95 であるので，練習曲をそのまま被伴奏楽曲の再生速度で演奏しようとする，速すぎて演奏が困難になる．そこで，この場合は練習曲の各音符の音価を，元の 16 分音符の倍の長さの 8 分音符にすることにより，演奏可能な速度になるように調整する．逆に，被伴奏楽曲の再生速度が遅すぎる場合は，練習曲の音価を元の音価よりも短くする．

次に，被伴奏楽曲のキーを，指定された練習曲のキーに移調[*I]する．この時，被伴奏楽曲に附属するすべてのコード情報も，キーの移動に合わせて根音[*m]を相対的に移動させる．

以上の前処理の後に，練習曲データベースから取得した単位パターンを被伴奏曲の各部にあてはめる処理に移る．単位パターンのあてはめ方法としては，練習重視型，伴奏重視型，中間型の 3 つの方法を用意した．練習重視型は練習曲に出てくる単位パターンをできるだけそのまま変形せずにあてはめて伴奏を作成する方法である．伴奏重視型は，被伴奏楽曲の各コードにおけるコード構成音を重視して作成するものである．中間型はその両方の要素を含んだものである．

4.2.4.1 共通処理

まず、練習曲データベースから取得した単位パターン 1 つ分の長さに相当する長さで、被伴奏楽曲を分割する。前述したように、音価を調整した結果、単位パターンは 8 分音符 4 つ分（すなわち、2 拍分）の長さを持っている。ゆえに、図 5 の被伴奏楽曲については、2 拍分ごとにあてはめ処理を施すことになる。あてはめ処理は、データベースに登録されている単位パターンに対して、その登録順にそれぞれの伴奏適用方法の規則を番号順に適用し、規則を満たしたものを順に採用していく。

また、副次的規則として以下の 3 項目を設定した：

A) 被伴奏楽曲に、3 小節以上の長さの同一のパターンやメロディが繰り返し現れ、その部分に指定されているコードも同一である場合、それらの箇所には同じ伴奏を付与する。これは、例えば被伴奏楽曲が歌唱曲である場合の 1 番と 2 番のようなケースであり、同じメロディには同じ伴奏を付与することで、楽曲全体の統一感を出すためである。

B) 項目 A) に該当しない箇所については、同じ単位パターンの使用回数は制限される。これは、なるべく多くのパターンを用いることにより、練習効率を上げることを図るためである。

C) 移弦[*n]が困難にならないよう、前のパターンと次のパターンは移弦可能な範囲の動きに収める。具体的には、あるパターンの最後の音と、次に来るパターンの最初の音との音程が 10 度[*o]以上にならないようにする。

以下、伴奏重視型、練習重視型、中間型の順番で伴奏パートの生成について述べる。

4.2.4.2 伴奏重視型

- ① 被伴奏楽曲のあてはめ対象箇所指定されているコードの構成音のみで構成される単位パターンを探し、該当する単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ② ①に該当する単位パターンが見つからない場合、抽象化単位パターンの最初の音が当該あてはめ対象箇所のコードの根音となるように具象化（つまり、相対音高を絶対音高に変換）し、具象化された単位パターンの構成音が、当該あてはめ対象箇所のコード構成音のみで構成されるものを探す。該当する具象化単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ③ 以上すべてが不可能な場合、当該あてはめ対象箇所すべては休符とする

伴奏重視型では、通常はコードトーン[*p]のみ、テンションノート[*q]付きのコードがある場合はテンションノートを含めたもので構成された伴奏しか扱わない。したがって、でき上がる伴奏は3つの手法のうちでもっとも被伴奏楽曲に調和したものになる。しかし、適用できるパターンに限られるため、練習効率は中間型、練習重視型に比べて下がると思われる。また、スケールやスケールを中心とした単位パターンが多い場合、コードトーンの中に収めることができないため、休符が多くなることから相性が悪いと思われる。

4.2.4.3 練習重視型

- ① 被伴奏楽曲のあてはめ対象箇所指定されているコードの構成音のみで構成される単位パターンを探し、該当する単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ② ①が適用不可能な場合、被伴奏楽曲のあてはめ対象箇所指定されているコードの「アヴェイラブル・ノート・スケール[*r]」に含まれる音で構成される単位パターンを探し、該当する単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ③ ②が適用不可能な場合、直前に適用した単位パターンの適用を取り消し、新たに別の未使用単位パターンを検索しなおす(①を繰り返す)。
- ④ ③が不可能の場合、更に前の単位パターンの採用を取り消し、新たに別の未使用単位パターンを検索しなおす。なお、③と④の手順の適用は無限に繰り返される可能性があることから、連続での適用限度を5回とする。
- ⑤ 手順③と④を実施しても、手順②であてはめようとしていた箇所に適切なあてはめが実現できなかった場合、手順③と④を実施する前の状態に戻した上で、手順②であてはめようとしていた対象箇所は休符とする。
- ⑥ 被伴奏楽曲の最後の小節まで適用が終了し、かつ、もし未使用の単位パターンが存在する場合、最初のあてはめ対象箇所に当てはめた単位パターンを別のものに変更し、新たに楽譜を作成する。新しく得られた楽譜が前回作成した楽譜よりも多くのパターンを利用できたならばその楽譜を第一候補とする。もし単位パターンの種類の採用数が同じものが複数出た場合、最も休符の数が少ないものを採用する。この規則をすべての単位パターンが採用される楽譜が現れるか、最初のあてはめ対象箇所に適用する単位パターンをすべて試し終わるまで続ける。

手順③と④の処理について、具体例を用いて詳細に解説をする。図6に示す被伴奏楽曲に対して、図7の単位パターン群を当てはめるとする。この時、もし当てはめられる単位パターンを単位パターン群から先頭から順に当てはめていくと、図8のような結果が得られる。しかし、この場合、4小節目においては休符しか入れることができない。なぜなら、4小節目の段階で残された単位パターン群は図7のCのパターンしか残されておらず、かつ4小節目のG7におけるアヴェイラブル・ノート・スケールであるGミクソリディアン[*s]において、Cの音はアヴォイドノート[*t]であり、和声的に好ましくない響きになるため使うことができない。そのため、このままでは休符を挿入することしかできない。

そこで、4小節目だけを考えるのではなく、直前の3小節目を再度パターンの選択をし直し、3小節目の単位パターンを新たに別のものに置き換える③と④の規則を適用する。この結果、図9に示す結果を得られる。このような手順を踏むことにより、より多くのフレーズを用いることができると考えられる。



図6 被伴奏楽曲のフレーズの一例

Figure 6 Example of a Musical Phrase to be Accompanied



図7 練習曲の単位パターン群の一例

Figure 7 Example of each pattern

図 8 編曲された被伴奏楽曲の一例（悪い結果）

Figure 8 Example of arrangement of accompaniment (Bad result)

図 9 編曲された被伴奏楽曲の一例（良い結果）

Figure 9 Example of arrangement of accompaniment (Good result)

手順⑥について、そのイメージを図 10 に示す。この規則は、言い換えれば、すべての単位パターンが使用される楽曲が作成されるまで適用パターンを変更した楽譜を作り続けることをする規則である。ただし、組み合わせ爆発、またはコンピューターの計算量が多いことによる編曲時間が長くなることを避けるために、最初のアてはめ箇所にあてはめる単位パターンのみを、順に強制的に変更する。そのため、最大でも単位パターンの数だけに楽譜の作成個数が抑えられる。

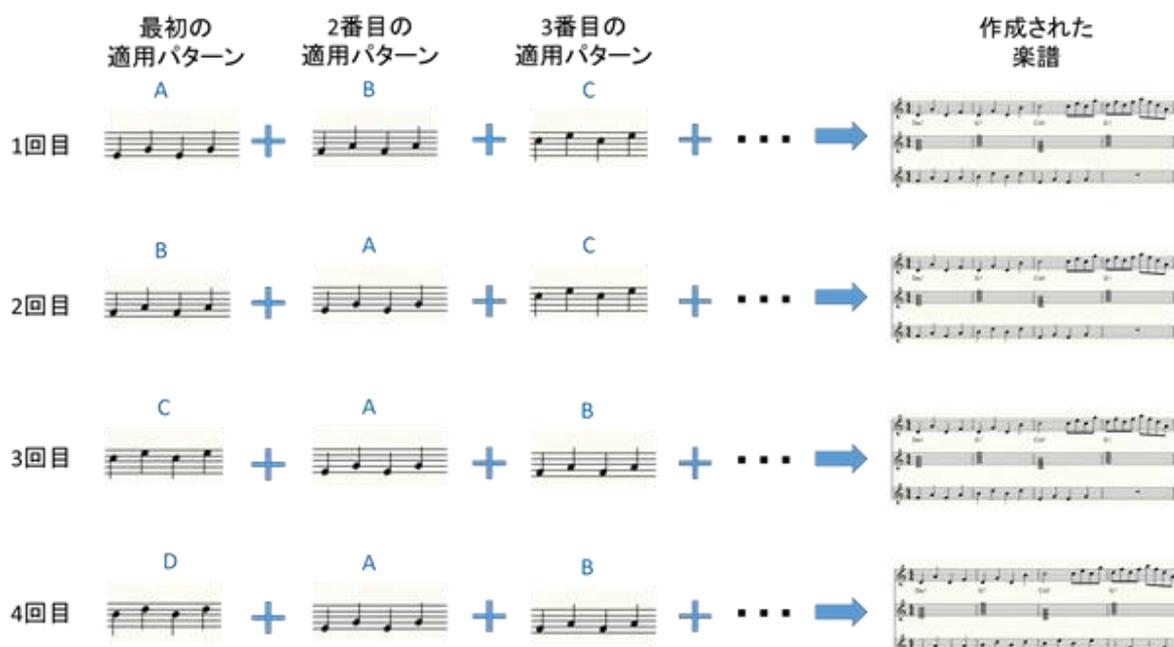


図 10 練習重視型の規則⑥

Figure10 rule⑥ in type of Practice mode

練習重視型では、なるべく原曲のパターンを多く取り入れるように設計した。具体的には、コードトーンを考慮しすぎないこと、原曲パターンをより多く取り入れられる最適化を行うこと、および抽象化単位パターンを使用しないことである。共通処理での副次的規則 (C) により、前後のパターンの関係により挿入できない単位パターンが生じる可能性がある。抽象化単位パターンを使用せずに休符を一旦入れることで、副次的規則 (C) の制約がなくなるため、それまであてはめることができなかった単位パターンをあてはめることのできる可能性が広がる。

4.2.4.4 中間型

- ① 被伴奏楽曲のあてはめ対象箇所指定されているコードの構成音のみで構成される単位パターンを探し、該当する単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ② ①に該当する単位パターンが見つからない場合、強拍部[*u]とコード指定がある拍の音はコードの構成音で構成され、弱拍部[*u]の音はアヴェイラブル・ノート・スケールに含まれる音で構成される単位パターンを探し、該当する単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ③ ②に該当する単位パターンも見つからない場合、抽象化単位パターンの最初の音が当該あてはめ対象箇所のコードの根音となるように具象化（つまり、相対音高を絶対音高に変換）し、具象化された単位パターンの構成音が、当該あてはめ対象箇所のコード構成音で構成されるものを探す。該当する具象化単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ④ ③に該当する単位パターンも見つからない場合、抽象化単位パターンの最初の音が当該あてはめ対象箇所のコードの根音となるように具象化し、具象化された単位パターンの構成音のうち、強拍部とコード指定がある拍の音はコードの構成音で構成され、弱拍部の音はアヴェイラブル・ノート・スケールに含まれる音で構成される単位パターンを探し、該当する具象化単位パターンが見つければ、それを当該あてはめ対象箇所の伴奏として採用する。
- ⑤ 以上すべてが不可能な場合、当該あてはめ対象箇所すべては休符とする。

例えば，図 5の被伴奏楽曲の最初の 2 拍のコードは F なので，まず [F, A, C] の音で構成されている単位パターンを図 4のデータから順に探してくる．今回の場合，2 つめの単位パターン [F, A, F, A] がすべてコード構成音で構成されているので，この単位パターンを被伴奏楽曲の最初の 2 拍分の伴奏として採用する．次に，被伴奏楽曲の 3 拍目と 4 拍目の部分のコードは G なので，[G, B, D] の音で構成されている単位パターンを探す．図 4の 4 つめの単位パターン [B, D, B, D] がすべてコード構成音で構成されているので，この単位パターンを被伴奏楽曲の当該箇所 2 拍分の伴奏として採用する．中間型での処理の結果生成される伴奏楽譜を，図 11 に示す．

The image displays a musical score for a sample of automatically arranged accompaniment. It consists of four systems of music, each with three staves. The first system shows a vocal line with notes F and G, and two accompaniment staves. The second system starts at measure 3 and includes notes C, Dm/F, G/B, and C. The third system starts at measure 6 and includes notes Dm/F, G7, C, Dm/F, and G/B. The fourth system starts at measure 9 and includes notes C, C/E, and C, with an 8-measure rest at the end of the system.

図 11 生成された伴奏のサンプル

Figure 11 A sample of automatically arranged accompaniment

第5章 実験1: アイデアの有効性の検討

第5章では、アプリケーションを開発する前に第4章で述べたアルゴリズムを筆者の手動での作業によって変換した楽譜を用いた実験について詳細に説明を行う。

5.1 はじめに

本章の実験では筆者の手動での作業で行ったことから、4.2 で述べられた手順通りに完全に従っていない可能性がある。そのため、システムの自動生成に関する実現性については一部の機能について第6章の実験にて報告する。

実験1では、提案手法により、練習曲に対する練習態度がどのように変化するかに関する基礎的な検証を行うため、4名のバイオリン演奏者A, B, C, Dを被験者として比較実験を行った。

楽譜をPC画面に表示するためのソフトウェアには「世界樹」を、紙の楽譜を生成する際はFinale[15]を用いた。

5.2 被験者情報

【被験者 A】

- 大学3年生であり，バイオリンは中学校から始めている
- 大学のオーケストラの部活にて現役で活動している
- エチュードはカイザー，クロイツェルを一通り終えている
- 女性

【被験者 B】

- 大学4年生であり，バイオリンは中学校から始めている
- ピアノは小学校から習っていたが，高校に在籍中に止める
- 大学のオーケストラの部活に所属していたが，現在は活動していない
- エチュードはカイザーを一通り終えている
- 女性

【被験者 C】

- 大学3年生であり，バイオリンは中学校から始めている
- 大学のオーケストラの部活にて現役で活動している
- エチュードを用いた練習経験はない
- 男性

【被験者 D】

- 社会人であり，バイオリンは5歳から始めている
- 東京音楽大学を卒業後，講師として活動
- オーケストラへはエキストラとして参加することが多い
- エチュードは上級者向け（ローデ，パガニーニ等）まで終えている
- 男性

5.2 実験方法

1つの練習曲について、提案手法を用いた場合と用いない場合（従来手法）の2つの条件の比較実験を行った。

提案手法の実験では、実験に先立ち、各被験者に好みの楽曲を選定してもらい、これを被伴奏楽曲とした。被験者には、指定された練習曲の原曲楽譜（紙に印刷されたもの）と、提案手法で生成された伴奏の楽譜（紙に印刷したものと、PC画面上に表示したもの）、ならびに被伴奏楽曲を再生するためのプレーヤーを与えた。生成した伴奏は、被験者AとDでは2曲（いずれも中間型と練習重視型のみ）、BとCでは3曲であった。被験者には、基本的には練習曲の原曲を通常通り練習することを勧め、それに飽きたら提案手法の楽譜を使用するよう教示した。ただし、この使い方を強制するわけではなく、自分の好きなように使って構わないと指示した。実験中、携帯電話等の利用や、トイレまたは気分転換のための外出は許可し、日常的な練習のような気分で練習していただいた。ただし、他者との会話は不許可とした。また、アルゴリズム、伴奏生成の種類については実験前には説明していないものの、原曲にでない音の単位パターンが存在することは伝えてある。

従来手法の実験では、指定された練習曲の原曲だけを決められた時間練習していただいた。それ以外は、提案手法での実験条件と同じである。

実験の手順と使用した練習曲を表2に示す。実験は、それぞれ1時間10分から1時間30分、合計2時間20分から3時間行われた。被験者A, B, Cについては同じ日のうちに2つの実験を行った。AとBには、先に従来手法で練習してもらい、休憩を10分はさんだ後に提案手法で練習してもらった。一方Cには、先に提案手法で、後半に従来手法で練習を行ってもらった。被験者Dについては、先に従来手法で練習し、その翌々日に提案手法で練習してもらった。練習中の様子はすべて録画し、実験終了後にはアンケートとインタビューに答えてもらった。また、被験者Cに関しては、実験中の提案手法での練習時間が極端に短かったため、実験終了後に再度提案手法での練習を求め、アンケートとインタビューに答えてもらった。

表 2 実験 1 の順序

Table2 Procedure of experiments 1

被験者	A	B	C	D
前半 (D は初日)	従来手法	従来手法	提案手法	従来手法
後半 (D は後日)	提案手法	提案手法	従来手法	提案手法
練習曲	クロイツェル 2 番(エチュード)	カイザー 4 番(エチュード)	クロイツェル 10 番(エチュード)	カールフレッシュ(スケール)
作成した 伴奏数	2	3	3	2

5.3 実験結果

5.3.1 行動分析

撮影したビデオデータをもとに、被験者の行動を演奏行為、練習内作業、練習外作業、システムの調整または不明時間へと秒単位で振り分け、その合計時間を計測した。図 12 に、被験者毎の従来手法と提案手法それぞれにおける、各作業が占めた割合を示す。ここで演奏行為とは、チューニングを除く、弓を用いてバイオリンで音を出している状態であり、提案手法の実験では生成した伴奏譜を用いている場合と、指定された練習曲の原曲楽譜を用いている場合とに分けて示している。練習内作業とは練習のために必要と思われる行為であり、楽譜を眺める、チューニング、指の体操、水分補給等の動作を含める。練習外作業とは、練習に必要なと思われる行為であり、携帯の操作、気分転換等に相当する。調整とは、被験者が誤った操作を行ったことによ

る修正作業である。なお、A に関しては提案手法での実験において、カメラの不具合による一部詳細が不明な時間がある。行動の詳細は付録に掲載している。

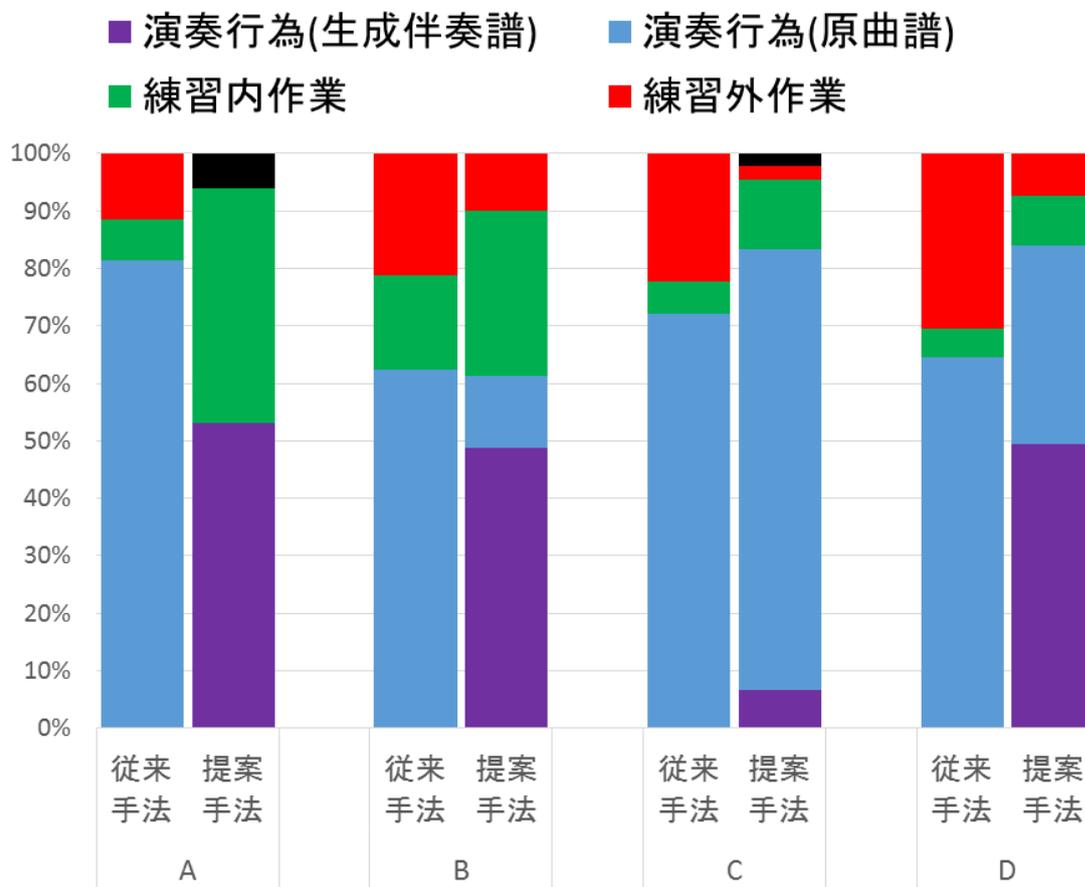


図 12 行動分析の結果

Figure 12 Results of behavior analyses

5.3.2 アンケート

図 13 にアンケートの結果を示す。縦軸は質問項目であり、横軸は各質問項目に対して「そう思う」「ややそう思う」と回答した被験者の人数である。なお、最後の質問項目である「その他」は自由記述項目であり、「エチュードの利用で効果的である」、「自分の音をよく聴かないといけない（弾けない）」ということについて書かれていた。

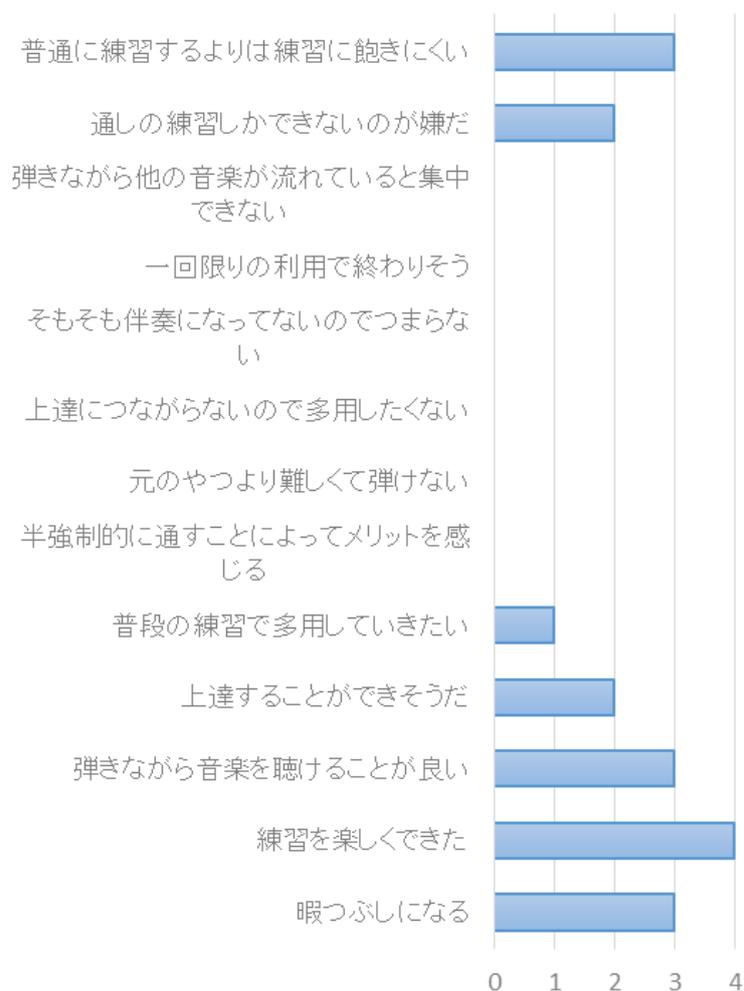


図 13 アンケートの結果

Figure 13 Results of inquiry

5.3.3 インタビュー

実験終了後のインタビューでは、被験者に提案手法の感想を述べてもらった。Aは終わりの時間を気にせずにできたと述べ、Bは伴奏パートの一部に違和感があったものの、楽しく練習できたと述べた。Cは提案手法での実験時も、練習曲の原曲の練習に対する集中力を維持できたので、生成伴奏譜はほとんど使用されなかった。そこで実験終了後に生成伴奏譜を利用してもらったところ、楽しめて弾ける、テンポの練習にもなり、メトロノームよりも良いと答えた。Dは、従来手法よりも提案手法の方が練習時間を長くできたということと、スケールの使い道を感じる事ができたと述べたものの、目的意識を失うと練習効率が悪くなりそうだと述べた。

5.4 考察

5.4.1 行動分析

行動分析の結果、提案手法を用いた場合に練習外作業がすべての被験者について減少したこと、被験者 C と D では演奏行為が増加し、被験者 B でも演奏行為の割合は従来手法と比べてほぼ同じだったことから（被験者 A の提案手法のビデオデータはトラブルで不完全だったため、検証対象にできない）、提案手法を用いることで練習行為により集中・注力することができるようになったといえる。一方、提案手法を用いた場合、練習内作業もすべての被験者で増えている。これは、再生プレーヤーの操作時間が必要になることなどによると思われる。練習外作業はすべての被験者で共通してスマートフォンの操作を行っていた。練習に飽きてしまうとスマートフォンで友達にメールを送るようなやり取りが始まり、これにより相手からの返信が来ることから練習のリズムが崩れてしまっていると筆者は感じた。以下に被験者ごとの考察を述べる。

[被験者 A]

本実験で指定した練習曲を被験者 A は最初からあまりつかえることなく弾けたことから、被験者 A にとって指定された練習曲は簡単なものであったと推定される。このことからか、生成伴奏楽譜を利用しないときにおける行動では、スラーを付けない場合、スラーを部分的につける場合など、様々な方法を試すことにより上達への課題を探りながら練習を行っていた。

しかし、生成伴奏楽譜利用時においては、被験者 A にとって難易度があがったことからか、つかえる場面が多くなった。そして、生成伴奏楽譜を利用する場合はスラーを付けない方法でしか練習を行わなかった。これは、つかえずに弾くことを課題としたことにより、様々な方法を試さなかったと思われる。また、生成伴奏楽譜の利用が許されている際には、一度も原曲での練習を行わなかった。この行動だけで判断すると、被験者 A は練習の課題を原曲から見つけることができなく、課題が明確に見えている生成伴奏楽譜を利用することで練習曲の課題を見出したと思われる。このことはインタビュー時に直接聞いてもいる。その内容は後述する。

【被験者 B】

被験者 B にとって、指定されたエチュードは可もなく不可もなくといった難易度の印象を受けた。生成伴奏楽譜を利用しないときにおいて、つかえる部分や音程をうまく取れない部分は少しあったものの、同じところで弾けないことがずっとあったことから、途中から飽きてしまっている印象であった。時折、指を見る動作をしていたが、これについてはインタビューにて直接聞いたので、後述する。

生成伴奏楽譜の利用が許されている後半の実験では、生成伴奏楽譜を多用していた。その際、練習に使った楽譜は伴奏重視型のものを中心に使っていた。

【被験者 C】

被験者 C は、前半に生成伴奏楽譜の利用が許されている実験を行ったが、生成伴奏楽譜を利用することは他の被験者に比べてかなり少なかった。これは、エチュードを一度も経験したことがない人物であったため、原曲での練習が新鮮であったことと、難易度も本人にとって丁度よく、つかえる部分がほどほどにあり、練習課題を探しやすかったことが考えられる。そのため、被験者 C には実験終了後、生成伴奏楽譜の評価を得るために更に 30 分ほど生成伴奏楽譜を利用してもらって実験を行った。この時間は図 12 のグラフには含めていない。

生成伴奏楽譜を利用しない後半の練習では、エチュードに慣れてきたことと、長時間練習同じ練習を続けていることから、スマートフォンの操作に費やす時間がかなり増加した。

【被験者 D】

被験者 D は他の被験者に比べ、音楽大学を卒業したこともあることから、弾き直す箇所などが違ったり、通し練習をしすぎなかったりなど、考えながら弾いていた印象を受けた。しかし、集中力に関しては他の被験者とそれほど差はなかった印象であり、生成伴奏楽譜を利用しない実験では携帯電話の操作も多く見られた。

生成伴奏楽譜を利用する際は、その使い方を考えていたのか、生成伴奏楽譜を利用する練習と利用しない練習を交互に行っていた。これは、部分練習には生成伴奏楽譜を利用しない練習を行い、通しの練習では生成伴奏楽譜を利用するように、明確に利用方法を分けていたのではないかと考えられる。

5.4.2 アンケート

アンケートからは、練習の退屈さが提案手法によって和らいでいる（「暇つぶしになる」：3人、「練習を楽しくできた」：4人、「弾きながら音楽を聴けることが良い」：3人、「普通に練習するよりは練習に飽きにくい」：3人）ことが示された。ただし、普段の練習で多用していきたいという項目は該当者が少なかった。これは本システムの練習効率が原曲であるエチュードやスケールに比べて大きく劣ると被験者らが感じたのではないかと思われる。

不満の項目に関しては、ほとんどの項目が該当する者がいなかったが、「通しの練習しかできない」ことについては2名が不満を感じた結果となった。これは、一度音楽を再生すると、最後まで音が鳴り続けてしまうため、間違えた箇所をもう一度練習したい時には音楽を止める操作が必要になってくる。その作業が手間であるため、再生ボタンを押したら曲の最後まで通す練習にしか適さないということであると思われる。

5.4.3 インタビュー

インタビューからは筆者が予想していなかったコメントもあり、テンポに関することやスケールの使い道など、提案手法の新たな可能性が見えた。具体的には、テンポの正確性を保つために、通常はメトロノームを用いた練習を行うが、提案手法では、実際の音からテンポをつかむ必要が生じるため、アンサンブルの練習になる。また、スケールに関しては、スケールの使い道を感じられたことや、弦を抑える場所(ポジション)の移動の仕方について意識が向いたといったことであった。

しかし、伴奏パートに対して違和感があったことや、練習効率の悪化可能性に関するコメント、音量に関するコメントもあるため、改善すべき課題も多く出た。例えば、和声に慣れている熟練者であればアヴェイラブル・ノート・スケールで構成された伴奏に対して違和感を覚えないものの、初心者は違和感を覚える場合がある。また、楽しみながら弾くあまり、何のためにその練習をしているのかということ意識して行う必要があること、といったことが挙げられた。音量に関しては、再生プレー

ヤーの音が大きすぎでは自分の音が聞こえず，再生プレーヤーの音量が小さければ自分の音しか聞こえないとなり，細かい調整が必要なことがわかった。

全体的にどの分析からも練習意欲が向上したことが示され，提案手法の有用性が明らかになった。

以下，それぞれの人についてのインタビューで，特徴的なコメントを掲載する。

[被験者 A]

生成伴奏楽譜の利用が許されている後半の実験の際，なぜ原曲の方の練習を行わなかったのか尋ねてみたところ，原曲の練習にかなり飽きていたと答えた。システム利用時は時間を忘れるほどに楽しんで練習したと語った

[被験者 B]

生成された楽曲の種類について，伴奏重視型が一番メロディにあっていることから多用したとのことであった。しかし，練習になる楽曲は中間型で生成されたものと認識していた。

[被験者 C]

行動分析にて，集中力が被験者らの中で一番あると思われたため，集中力について自信があるかと聞くと，ある方だと自覚していた。練習になると答えた楽譜は，伴奏重視型で生成された楽譜であった。

[被験者 D]

弾いている時間が生成伴奏楽譜利用時の方が長いと自覚できたとコメントした。普段の練習とは違う別の視点での練習になることから，普段の練習では見つけにくい課題を見つけることができたと言った。また，練習する際は効率の良い練習を考えているとのことであった。他の被験者と違い，練習重視型の楽譜を多用していたのは，この方が面白い和声であるためと答えた。

5.4.4 総評

全体的にどの被験者についても練習意欲が向上したことが示され、提案手法の有用性が明らかになった。ただし、残された課題も多くあった。例えば、現段階では曲の部分的な練習のサポートに向いていないことや、練習内作業時間を減らすことが必要なことなどである。これらの課題は、開発するアプリケーションのインターフェースによって改善されるものだと考えられる。例を示すと、一般的にクラシックの楽譜には練習番号または練習記号というものがあり、展開が変わる部分等で小節をまとめている。これを参考とした機能を再生プレーヤーに付加し、全体を再生するのではなく、部分的な個所のみを再生する機能を付加することによって解決できると考えている。

第6章 実験2:アプリケーションの評価

第6章では、アイデアを元にしたアプリケーションを開発し、その評価について解説する。

6.1 はじめに

製作したアプリケーションは試験的なものであり、伴奏生成のアルゴリズムは伴奏重視型のアルゴリズムのみを実装し、楽譜の表示は第5章で用いたものと同様のソフトを用いての実験を行った。

6.2 ユーザーインターフェース

今回作成したユーザーインターフェースを解説する。今回は3種類のエチュード（カイザー1番、カイザー4番、クロイツェル14番）に分けて、実行ファイルを収納したフォルダを用意した。それぞれのエチュードフォルダには `AmuseEtude_GUI.exe` という実行ファイルがあり、起動すると図14と図15の画面が表示される。図14の画面の生成ボタンをクリックすると、ファイル選択ダイアログが表示され、そこから変換したい被伴奏楽曲のMIDIファイルを選択する。その後、コンソール画面の方で変換の状況が表示され、最後に「MIDIファイルの保存に成功した」(図16)と表示されれば変換を終えている状態である。次に、実行ファイルと同じエチュードのフォルダ内に `testMIDI` というMIDIファイルが生成されるので、これを再生プレーヤーで楽譜を表示させる。この時に利用したのは実験1と同様の「世界樹」を用いた。ただし、印刷の手順は手間がかかるため、今回の実験では行わないことと設定した。また、同じ単位パターンの利用の制限は5回まで許可するように設定した。これは、各単位パターンを1度しか利用できない設定とすると、生成伴奏楽譜の後半であてはめ可能な単位パターンが枯渇し、休符だらけになってしまうためである。

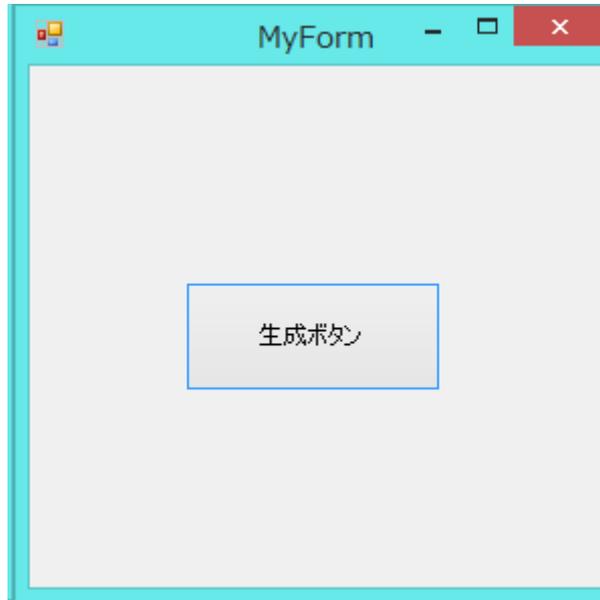


図 14 Amuse Etude のプロトタイプ画面
Figure 14 GUI Window of Amuse Etude Prototype

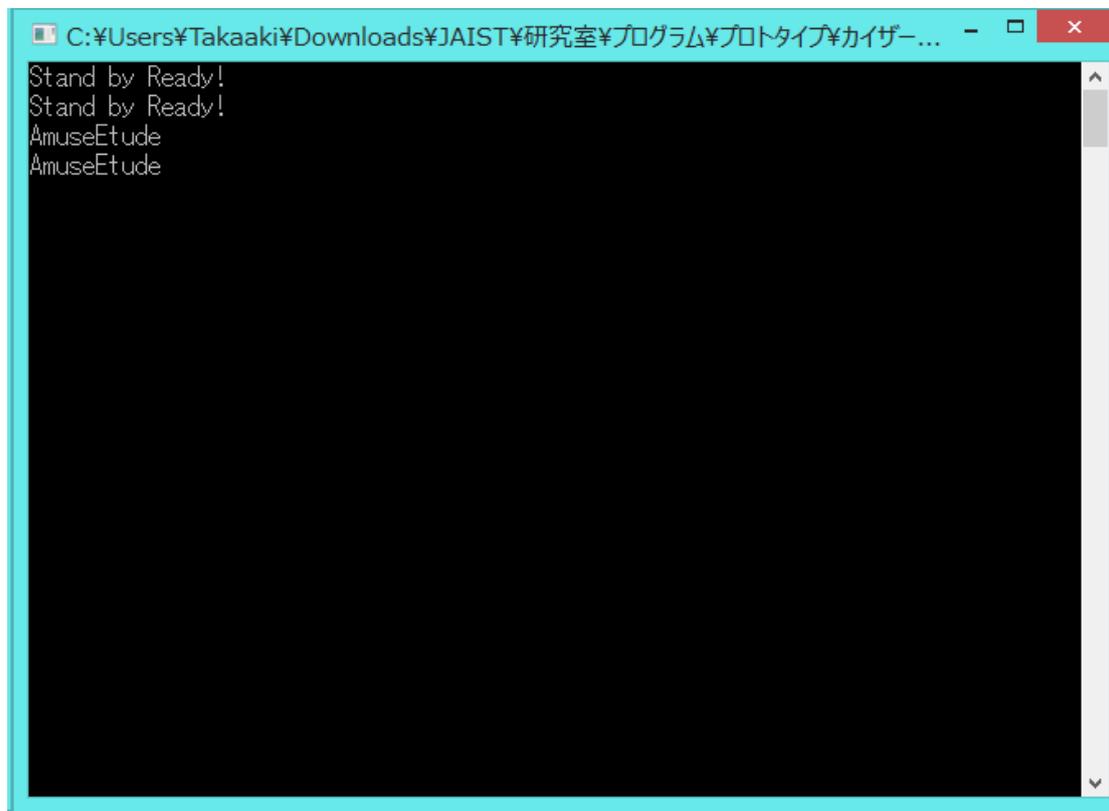


図 15 Amuse Etude のコンソール画面(実行前)

Figure 15 Console Window of Amuse Etude prototype (before executing)

```
C:\Users\Takaaki\Downloads\JAIST\研究室\プログラム\プロトタイプ\カイザー...  
Stand by Ready!  
Stand by Ready!  
AmuseEtude  
AmuseEtude  
C:¥  
[MIDIデータ]  
フォーマット=0  
トラック数=3  
タイムモード=0  
タイムレゾリューション=480  
フォーマット1へ変換成功  
endMeasure=228  
BPM変更成功  
BPMセット完了  
移調完了  
抽象フレーズ生成完了  
ポップスからコードリスト生成  
分割終了  
関連付け終了  
空のやつに挿入した数=28 頭に挿入した数=9  
フレーズ頭にコード付け終了  
休符は全部で46個あります！  
休符フラッグ挿入完了  
繰り返し使用調整完了  
MIDIデータの保存におそらく成功！
```

図 16 Amuse Etude のコンソール画面(実行後)

Figure 15 Console Window of Amuse Etude prototype (after executing)

6.3 被験者情報

[被験者 B]

- 実験 1 にも参加した被験者 B である。詳細は実験 1 を参照。
- 実験 1 の終了後、アルゴリズムについて説明をしたことから、システムの仕組みを把握している。

[被験者 E]

- 社会人で、現在現役で市民オーケストラでの活動を行っている。
- 50 代，女性
- バイオリン経験はかなりであるが，上級者までとはいかず
- 現在エチュードは練習していない

[被験者 F]

- 社会人で、現役で市民オーケストラでの活動を行っている。
- 仕事で、バイオリンの講師も務める。
- 市民オーケストラではコンサートミストレス[*v]も受け持つ。
- 30 代の女性で、かなりの上級者
- 現在エチュードは練習していない

6.4 実験方法

実験 1 の時とは異なり，今回はシステムを利用した練習のみを行ってもらった．システムを利用した実験を約 40 分行い，その後感想などを聴くインタビューを行った．

被験者たちは防音室にてシステムをインストールした PC を与えられただけであり，操作は一人で行ってもらった．操作方法については事前に説明を行った．実験 1 と同様に，アルゴリズム，伴奏生成の種類については実験前には説明していないものの，原曲にでない音の単位パターンが存在することは伝えてある．使用できる被伴奏楽曲は 12 曲あり，事前の調査で被験者の好みの曲を登録し，その他，他の被験者が使用した曲も使えるように登録してある．また，エチュードに関しても特に制限は設けておらず，3 曲すべて練習しても構わないし，どれか 1 つだけ練習しても構わないと伝えた．

その他，トイレ，飲食等の制限は基本的には実験 1 と同様の条件である．

6.5 実験結果

今回はインタビューのみを行った。被験者ごとの結果を以下に述べる。

[被験者 B]

- 実験 1 と比べると，実験 1 の練習の方が楽しかった。曲のレパートリーが増え，その場ですぐ編曲できることは良いものの，単調な楽譜が生成されていると感じた。特に，一部のフレーズが多く頻度で現れた。
- 楽曲によっては被伴奏楽曲のキーの移動により，シャープの数が 7 個の楽曲が生成されることがあり，演奏が困難になる場合があったと感じた。
- PC によって作成された原曲にない伴奏について，一部の運指がかなり難しい伴奏が時々生成されて弾けなかった。
- 音としてはメロディとの違和感は覚えなかった。
- 再生プレーヤーから流れる音で，生成されたバイオリンパートの音をトランペットなど聞き取りやすい音で再生してくれたらわかりやすい。
- 40 分じゃ物足りなさを感じた。

[被験者 E]

- 音としてはメロディとの違和感は覚えなかった。
- 最初は弾けなかったが，弾いていくうちに慣れてきたことにより，弾けるようになってきた。
- シャープの数が多曲は弾くことができなかった。
- 楽譜が慣れない譜面で演奏しづらさを感じた。
- 楽しんで弾くことができた。
- いろいろな練習方法を提示する仕組みがあるともっと面白く，練習になるかもしれないと感じた。例えば，弓の元から演奏するのではなく，弓の先から演奏を始めることなど。
- 楽曲によっては休符が多くなるものがあった。

【被験者 F】

- 音としてはメロディとの違和感は覚えなかった。
- 単位パターンと単位パターンの中の音の高さも考慮できたらより良いシステムになる
- 一部の単位パターンで、移弦が困難なものが存在した。
- 途中で飽きてしまった。理由は難しすぎる伴奏が生成されたことによって弾けなかったからである。
- 練習を中心にやっていると思っていたため、メロディを弾きたくなることはあまりなかった。
- 弾けないところはアドリブで弾いた。
- 譜面がとにかく見づらかった。特に、再生プレイヤーの音符が緑色なのが見づらかった。また、再生プレイヤーと普段見ている紙の楽譜との差が大きく、慣れなかった。
- BPM の設定を自由に変えられるようにしてほしい。また、できれば楽譜を読み取る能力もつけたいので、たとえ音価が変わらなくとも、エチュードの元の音符の種類を維持してあると、元の楽譜で練習したときにやりやすい。(例えば、エチュードの原曲の音が 16 分音符で書かれているならば、それを 8 分音符の表記に変えるのではなく、16 分音符で表記してほしい。)
- (譜面の)先読みをするため、使用した再生プレイヤーの機能である、鳴らしている音符の場所を表示する機能はなくしてほしい。
- 原曲のエチュードにない要素を付けるのはいいことだと思う。例えば、カイザーやクロイツェルは偶数番号の運指が少ないため、あえて偶数を多めに設定するなど、自分で設定をできる機能などを付加すると便利だと感じる。
- 今までのエチュードと違い、新鮮であったため、楽しく弾くことができた。
- 普段のエチュードでは自分の好きな速さで練習ができてしまうため、難しいところは気づかずに遅くなったりしてしまうが、このシステムだとそれを強制的に同じ速さでさせるので、練習になる。
- 何か 1 つできるようになったことをより実感できると、更にモチベーションが上がる感じたため、将来的にそういった何らかの機能も増やしてほしい。
- 楽曲によっては休符が多くなってしまうものがあり、残念であった。

6.6 考察

すべての被験者で共通して音に違和感はないと答えたことから、本システムによって作成された楽譜でも違和感のない伴奏を生成することができたと言える。また、練習自体も楽しんで演奏することができたとする評価を得ることができ、練習意欲の維持、向上に貢献できたと言える。

しかし、課題も多く指摘された。例えば、生成される楽譜が、現状ではエチュードごとにもあまり差異が無いものになってしまうことである。また、生成される楽譜によっては、シャープやフラットの記号の数が多くなるキーになってしまう。このため、過剰に難度が高くなり、弾くことのできない楽曲が生成されることから練習意欲が下がってしまった。休符が多く生成されたというコメントに関しては、正確にはどのような状況で起こったか原因は突き止めきれていないが、今回利用した伴奏重視型のアルゴリズムでは、許容される音がコードトーンのみであり、少ない。これにより、被伴奏楽曲との相性が生まれてくるのではないかと考えられる。これらについては伴奏の生成方法で、残りの中間型と練習重視型の機能を搭載すればある程度軽減できると思われる。また、生成される楽譜が単調になってしまうのは、練習意欲を下げる要素となるため、好ましくなかった。特に、同じフレーズが多用されてしまうのは、単位パターン群の先頭にあるパターンほど選ばれる確率が高いため、どの被伴奏楽曲で編曲してもほとんど表れてしまうという、現状のアルゴリズムの特性によるものと思われる。そのため、様々なパターンをランダム、またはコントロールして選べるように改良する必要がある。

本システムについてではないが、楽譜に関して、本実験で用いた再生プレーヤーでは普段用いるバイオリンの楽譜と表示の方法が大きく異なるため、実際の使用を考えると、新たに本システム専用の楽譜を作るべきであると思われた。

最後に、被験者らから今後、搭載してほしいという要望も多くいただいた。例えば、原曲のエチュードではカバーできないような、即席での編曲を活かしたシステムを期待するコメントなどをいただいた。いただいた意見を参考にシステム開発を進め、今後より練習意欲の上がるシステムの開発に役立てたい。

第7章 専門家からの評価

第6章で紹介したアプリケーションをバイオリンの専門家に見せ、評価をいただいた。研究の概要、目的を説明し、その後システムを用いながらアルゴリズム等の説明を行った。そして、システムに対して、専門家、あるいは講師側の意見として生徒に練習意欲を促せられると感じるかということについて感想をいただいた。

7.1 専門家情報

- 東京藝術大学音楽学部器楽科卒業(バイオリン専攻)
- 現在、音楽を専門とする高校にて音楽の講師を務める
- バイオリンの個別指導も現在受け持つ

7.2 評価

- イ) ある程度技術を身に付けた人が休日に気軽にエチュードに触れて練習したという満足感を得るには非常に適していると言える。ただし、本来のエチュードが「技術の習得と定着の為」と言われていることに対して考えると、役割や目的とは少しずれている印象を受けた。
- ロ) 初心者向けなのか、熟練者向けなのかかわからず、対象がぼやけてしまっている
- 初心者の、初めてエチュードに触れる人にとっては難度が高すぎる。このシステムを用いて弾けるようになるために、最初に伴奏楽曲を再生せずにシステムで作られた楽譜のみを練習するのでは、結局あまり練習意欲の貢献になりにくいと感じた。
 - 熟練者にとって、伴奏を行うという行為はメロディを弾くという行為よりもやりたいという行為には思えない。そのため、熟練者ならこの楽譜を見るとむしろメロディの方を弾きたがるのではないかと思われる。また、熟練者のモチベーションは、多くの場合、上達できる喜びを得られることである。適切な難易度の楽譜を用意することにより、多くの熟練者はモチベーションを維持しやすい。しかし、本システムでは上達の保証を得られないことから、熟練者をターゲットにするには魅力が低いものである。
- ハ) このシステムでは、聞くべき音が明確になっていない。練習という観点からは自分の音を聴かなければならないが、他の楽器のメロディが聞こえてきってしまうと、自分の音を聴く意識が薄れてしまう。特に、スケールは音程とシンプルに向き合う練習であり、少なくとも我々（プロ）は他のメロディを聴きながらやるモノではないと感じている。しかし、趣味で弾く人には何種類もの音階を弾いておくと安心する人もいると思われることから、そういった人には良いアイデアなのかもしれない。
- ニ) 改良して実用化されるのを楽しみにしている。

7.3 考察

専門家からは良い評価も悪い評価もいただいた。

(イ)のコメントに関して：本システムはプロを目指す音楽家のためではなく、音楽を趣味で行っている人を対象としているため、それらの人には適したシステムだと言える。しかし、エチュードの本来の意味、役割からずれているということは利用者も認識しておくべき重大事項である。

(ロ)に関して：筆者が意図的に利用できる対象を広げようとしたことが、逆に対象をぼやけさせてしまった印象である。そのため、今後はより明確に対象を考えることが課題である。また、演奏の難度が高くなることは、筆者の想定外のことであったため、演奏の難易度を適切に調整するための方法を新たに考える必要がある。熟練者に関しては、第6章の被験者Fのコメントにもあるように、何か上達を実感できるような手法や、上達の度合いを具体的な数字で表してくれる手法を新たに考える必要があることがわかった。また、メロディを弾きたくなるのではないかという指摘については、第6章の実験で被験者Fが「そうはならなかった」と回答したことから、必ずしもメロディを弾きたくなるとは限らない。この点に関しては、今後更なる調査を行いたい。

(ハ)のスケールに関するコメントに関して：プロを目指す人にとってはこのシステムを用いてスケールの練習をすることは明確によくないといえるが、趣味で行う人にとっては安心を得られるのではないかという評価を得た。このことから、本システムでのスケールの練習は、必ずしも悪い側面だけをもっているわけでないといえる。しかし、筆者としては想定した設計の意図にそぐわない結果となったことから、新たにスケール用にシステムを考案する必要があることを感じた。

(ニ)のコメントに関して：このシステムに対して全面的に否定しているわけではないが、今以上により良いシステムを作成し、バイオリンの上達に役立てるようなシステムを作ってほしいという前向きなコメントを最後にいただいた。

第8章 まとめ

本研究では、楽器の練習において、既存の手法では練習意欲を維持することのできない、趣味で音楽活動を行っている人たちに対して、練習意欲を維持、向上させるための新たな練習方法と、それを実装したシステム **Amuse etude** を提案した。システムのアルゴリズムはエチュードやスケールの重要な要素を維持したまま、被伴奏楽曲の音楽の伴奏となるものを独自に考案した。

実験1では3種類の伴奏タイプに基づき、筆者の手動作業によって伴奏楽譜を生成し、生成伴奏楽譜を用いた場合と用いない場合を比較する被験者実験を行った。実験の結果、提案手法によってすべての被験者で練習意欲が向上する結果を得ることができた。しかし、被伴奏楽曲の再生操作などの、練習には必要ながらも上達につながらない行為も同時に増えてしまうことが課題となった。

実験2では本研究で考案した一部のアルゴリズムを搭載した、自動で楽譜を作成するアプリケーションを開発し、評価を行った。実験の結果、すべての被験者から、違和感のない伴奏を生成することはできたものの、実際に演奏できない伴奏が生成される事例や、楽曲とエチュードの相性があることなどの問題が明らかになった。伴奏重視型に関しては、今後、更に改良をする必要があることが確認できた。また、実際の使用を検討するならば、本システム専用の楽譜表示・印刷機能を新たに作成する必要もあることが被験者のコメントからわかった。

最後に、専門家からの評価として、プロを目指す人にとって、本システムは練習意欲にあまり貢献できる結果は得られないことが指摘されたが、趣味で活動する人には適しているシステムだと評価された。ただし、現状では利用対象がぼやけてしまっていることや、スケールに関して、筆者の意図した結果を得られなかったことが問題として残った。

今後は、まず残りの伴奏生成のタイプを実装と、本システム専用の楽譜の表示・印刷機能の作成を実施したい。その後、伴奏重視型の設計を更に応用し、被験者らや専門家のコメントを参考にして、新たな練習意欲を上げる機能を提案し、本システムに組み込みたいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたって、私個人の力だけでは成し遂げることができませんでした。ここまで成果を出せたのは、多くの方々から多大なご支援があってこそのものでした。この場を借りて感謝の意を表したいと思います。

西本一志教授には入学をする以前からお世話になり、本研究ではアイデア、手段、プレゼンテーションでの指示、論文の添削、加筆、修正の嵐、そして何より私自身の不手際、不祥事が多い中、暖かい慈悲をくださり、心より感謝いたします。

宮里咲江先生には私が北陸先端科学技術大学院大学に入る前にソルフェージュのご指導をしていただいたこと、本研究においては専門家として有益なコメントをいただいたことを、深くお礼申し上げます。

明治大学交響楽団の山内理生君、大森真由さんには突然の実験をお願いして大変申し訳ありませんでした。とても感謝いたしております。お二方のご協力なしに本研究の成果は出すことができませんでした。

金沢工業大学の山本梓津さんには私の友達伝いの人でありながら、2回も本研究の実験に参加していただき、そして何よりフレンドリーに接してくれたことを心より感謝を申し上げます。石川フィルハーモニーの方々には多大なるご迷惑をおかけしながらも、暖かい目で見守ってくれたこと、誠に感謝いたします。2nd バイオリンのトップを務めるにあたって全力を尽くしたものの、力不足であった気がします。しかし、これで終わるのではなく、石川フィルハーモニーの団員に認められるよう、これからも精進してまいりたいと思いますので、今後ともよろしくお願いいたします。また、研究のアンケートにご協力いただいた方には大変お世話になりました。お忙しい中、時間を割いていただき誠にありがとうございました。国定さんがお声をかけてくれませんでしたら研究を終えることができませんでした。二村さんには夜遅くまでご協力していただき、誠に申し訳ありませんでした。三宅さんにも心配をかけましたこと、誠にお詫び申し上げます。

明治大学の小林博明教授には夏休み等にアンサンブルのお誘いをしていただき、ありがとうございました。知能機械研究室の修士課程に進まなかったにもかかわらず、いろいろとお世話してくれましたこと、感謝いたします。また、千葉 和博君には東京に帰る都度お世話になりました。これからも仲良く良き友達としてあれることを願

います。細井 啓史君には研究室に訪問するや否や、私の思い付きの飲み会や雑談等に付き合ってください、ありがとうございました。特に、電子部品の提供は私の生きるモチベーションが上がるものでした。心より感謝いたします。

家族の方には大変ご迷惑をおかけしました。特に、金銭的な面での援助や、私が東京にいない間、イモリとカメの世話をしてくれたことを感謝いたします。特に、父には毎月の仕送りをいただいたこと、就職活動に関するサポートを、母には帰省のための往復運賃、様々な相談を、兄には本研究でのアイデアのアドバイスを、祖父母には就職活動、金銭的支援、そして家族全員がやさしさをくれたことを心より感謝いたします。我が家の一員であるイモリたち、カメことカメオ、愛犬のベルには沈んだ気分の時に癒しを与えてくれました。特にベルちゃんには沈んでいる心を察知してたのでしょうか、慰めてもらう行為をしていただき、心より感謝しております。目が見えなくなってしまうのは本当にいたたまれない気持ちになりますが、余生を楽しく過ごせられるよう、こちらも全力を尽くします。誠にありがとうございました。

最後に、JAISTの友人らには、私生活、授業、研究と修士課程での生活、IVRCなどここではとても書ききれないほどお世話になりました。皆さんはとても優しく、優しさに感銘いたしました。人としての優しさを信じれること、皆さんの存在があっからこそそれを信じることができます。特にIVRCのメンバーの方々、とても貴重な体験をさせていただき、誠にありがとうございました。そして、先輩方もとてもお世話になりました。宮田先生からは研究のアドバイスを、沼野先輩、永井先輩、山田先輩からは人生においても研究においても貴重なご意見を、横山先輩には音楽とサブカルチャー、車に関する様々な知識を、于先輩はやさしいコミュニケーションを、そして本多先輩には貴重な体験をさせていただき、心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 総務省統計局: 平成 23 年社会生活基本調査
<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/index.htm#kekka> (2011).
- [2] Chika Oshima, Kazushi Nishimoto and Norihiro Hagita:
A Piano Duo Support System for Parents to Lead Children to Practice
Musical Performances, *ACM Transactions on Multimedia Computing,
Communications and Applications (ACM TOMCCAP)*, Vol.3, Issue 2, Article 9,
2007.
- [3] Jun Yin, Ye Wang and David Hsu: Digital violin tutor: an integrated system
for beginning violin learners, *Proc. of the ACM Multimedia 2005*, pp. 976-985,
2005.
- [4] 榊原絵里, 宮下芳明: ヴァイオリン初心者のための無音運指練習支援システム,
エンタテインメントコンピューティング 2011 予稿集, pp.235-237, 2011.
- [5] Keiji Hirata, Satoshi Tojo, and Masatoshi Hamanaka: Melodic Morphing
Algorithm in Formalism, *Mathematics and Computation in Music: Lecture
Notes in Computer Science Vol. 6726*, pp 338-341, 2011.
- [6] 染矢さらら, 安藤大地, 笠原信一: メロディーモーフィング手法を用いた初学者
向けの作曲支援システム, *インタラクシオン 2014 論文集*, pp.285-288, 2014.
- [7] 大沼翔, 浜中雅俊: 編曲作業の時系列分析・オーケストラ譜からピアノ譜への変
換, *情報処理学会全国大会 2009-IPSJ-71-2*, pp.2.227-2.228, 2009.
- [8] SC Chiu, MK Shan and JL Huang: Automatic System for Arrangement of
Piano Reduction, *Multimedia, ISM.2009.105*, pp.459-464, 2009.
- [9] 長津静香, 伊藤貴之: らふのおと : クラシック楽曲の時間変化を単音楽譜風に表
現する可視化ツール, *可視化情報学会誌 31(Suppl.1)*, 283-286, 2011.
- [10] Aki Hayashi, Takayuki Itoh, Masaki Matsubara: Colorscore-Visualization
and Condensation of Structure of Classical Music, *Knowledge Visualization
Currents 2013 Part III*, pp. 113-128, 2013.

- [11] MIDI シーケンサーソフト「世界樹」,
<http://openmidiproject.sourceforge.jp/Sekaiju.html>
- [12] ヤマハ株式会社：XF フォーマット仕様書,
http://download.yamaha.com/api/asset/file/?language=ja&site=jp.yamaha.com&asset_id=45941
- [13] 音楽データショップ, <https://www.music-eclub.com/musicdata/>
- [14] おーぷん MIDI ふろじえくと, <http://openmidiproject.sourceforge.jp/>
- [15] 株式会社エムアイセブンジャパン & MAKEMUSIC:
楽譜作成ソフトウェア「Finale」, <http://www.finalemusic.jp/>

発表論文

- [1] 村井孝明, 西本一志: *Amuse étude* : 楽器の練習意欲維持のために練習曲を他楽曲の伴奏に編曲するシステム, インタラクション 2015, 日本科学未来館, 2015(プレミアム発表採録決定).
- [2] 村井孝明, 西本一志: 楽器の継続的練習を支援するために練習曲を他楽曲の伴奏に編曲するシステム, 情報処理学会, 第 162 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2015(発表予定).

付録 1 専門家のプロフィール

宮里 咲枝 氏

東京藝術大学音楽学部器楽科卒業.

神奈川フィルハーモニー管弦楽団バイオリン奏者を経て、室内楽奏者として演奏活動の傍ら後進の指導をしている。恵泉女学園で室内楽アンサンブルのクラス指導の後、三室戸学園東邦音楽大学附属高校で音楽史・演奏法 etc.の講師を務める。

付録 2 実験 1 での行動分析のデータ

システムを利用しない場合での A さんの行動

システムなしの練習(前半) Aさん					
Time		内容	備考	作業時間	
Minute	Second			Minute	Second
1	53	Start		0	57
2	50	通し終わり、スタート		2	10
5	0	通し終わり、位置修正		0	16
5	16	再び最初、ゆっくり目		2	2
7	18	通し終わり、弾きにくかった箇所を重点的に、 若干の補足説明(携帯いじってOK)		1	2
8	20	再び最初、ゆっさり目		2	40
11	0	通し終了	毛の張り具合確認	0	11
11	11	部分練習		2	0
13	11	部分練習終了、弾き方(スラー)変えて最初から通し練習		0	33
13	44	改めて弾き方変更、最初から通し練	弾き方変えても簡単だったから？	4	56
18	40	通し練終了、携帯取り出し、メールチェック	時間がかかったのはいろいろな 弾き方を試したため	0	13
18	53	通し練(全弓スラー)		2	31
21	24	通し練終了、再び最初から通し練開始		2	0
23	24	通し練終了、再び最初から通し練(全部スラーなし)	毛量確認	2	1
25	25	通し練終了、若干姿勢を崩す感じ(ため息、 若干上を向いて思考?)、通し練(スラーなし)		2	18
27	43	通し練終了、楽譜を見てやることを探している		0	37
28	20	通し練開始(全弓スラー)		2	28
30	48	通し練終了、バイオリンをわきに抱えて携帯操作		2	9
32	57	楽譜に再び注目	携帯電話を楽譜と一緒に譜面台に おく(メールチェックしやすい)	0	13
33	10	通し練開始(全弓スラーなし)		4	4
37	14	通し練終了、調弦		1	7
38	21	通し練開始(全弓スラー)		2	16
40	37	通し練終了、携帯操作、		0	41
41	18	通し練開始(部分スラー)		2	24
43	42	通し練終了、楽譜を眺める		0	28
44	10	通し練開始(スラーなし)		1	32
45	42	通し練終了、そのまま最初から同じ通し練		1	45
47	27	通し練終了、楽譜を眺める		0	20
47	47	部分練習→そこから通す	爪の様子が気になる	2	53
50	40	通し終了、少し指を見てまた最初から通す		1	45
52	25	通し練終了、楽譜を眺め、部分練習開始		0	59
53	24	部分練終了、携帯操作、		1	45
55	9	携帯を譜面におき、再び最初から通し練開始(全スラー)		1	20
56	29	途中のところで一旦調弦を開始する		0	56
57	25	調弦終了、練習再開		1	57
59	22	通し練終了、調弦		0	16
59	38	携帯操作		1	5
60	43	携帯を置き、カバンからなにか取り出す		0	57
61	40	携帯操作終了、調弦開始		1	1
62	41	調弦終了、最初から通し練(全スラー)		2	30
65	11	通し練終了、再び最初から(スラーなし)		2	5
67	16	通し練終了、弓の具合確認して再び通し練(全スラー)		2	0
69	16	通し練終了、携帯操作	バイオリンを首に構えたまま	0	25
69	41	バイオリンを抱えて携帯操作		1	12
70	53	最初から通し練開始(全スラー)		1	0
71	53	終了		0	0
			音楽再生なしでの練習	56	8
			練習のための作業	5	25
			練習外作業	8	27

システムを利用した場合での A さんの行動

Aさん(後半)					
Time		内容	備考	作業時間	
Minute	Second			Minute	Second
1	0	Start、MIDIを操作	携帯電話を近くにおく	1	0
0	0	ビデオトラブル		5	48
0	0	【システムに関して微調整】		0	17
0	17	再開、MIDI楽譜を見て演奏(スラーなし)	栄光の架橋	3	30
3	47	間奏、紙楽譜を探す		1	27
5	14	間奏、紙楽譜を譜面台に用意		0	56
6	10	再開、別の曲で試す、【その後システム誤動作のため修正】	にじいろ	2	9
8	19	再開、MIDI楽譜を見て演奏(スラーなし)	おそらく指がわからず、紙楽譜と併用している	3	46
12	5	通し終了、曲を変え、MIDIを再生せず、紙楽譜だけで練習	栄光の架橋	2	0
14	5	チューナーを取り出し、その後と演奏しながら指番号記入作業を行う	指の確認のため?	6	48
20	53	MIDIを最初から再生、合わせて演奏(スラーなし)	栄光の架橋	5	41
26	34	終了、指の確認のためか、演奏なしで紙楽譜見ながらMIDIを再生	バイオリンは膝の上に	3	19
29	53	パソコンのバッテリーが切れるため、一時中断		1	22
31	15	再開		6	51
38	6	終了、別の曲を演奏しながら(スラーなし)最初から再生	にじいろ	3	48
41	54	終了、MIDIを最初から再生しながら指番号記入作業へ		4	9
46	3	作業終了、最初からMIDIと通し練		2	21
48	24	PC操作(MIDIの再生する場所をもう一度気になる部分へ)		1	1
49	25	再開		0	35
50	0	終了、また最初から再生し演奏(スラーなし)		3	33
53	33	一旦MIDIを止め、弾きにくかったところを重点的に部分練習		0	55
54	28	MIDIを最初から再生、合わせて演奏(スラーなし)		3	44
58	12	通し終了、一旦MIDIを止め、部分練習		2	7
60	19	部分練習終了、MIDIを最初から再生、一緒に演奏(スラーなし)		0	21
60	40	PCを操作		0	38
61	18	操作終了、演奏再開		1	54
63	12	終了		0	0
		作業時間合計	音楽再生なしでの練習	0	0
			練習のための作業	19	18
			練習外作業	0	0
			音楽を再生しながらの練習	43	15
			システム修復作業	7	27

システムを利用しない場合での B さんの行動

システムなしの練習(前半) Bさん					
Time		内容(details)	備考(note)	processing time	
Minute	Second			Minute	Second
1	24	開始(Start)、最初から通し練(全スラー)	詰まったらそこを重点的に練習	5	59
7	23	通し練終了、一度バイオリンを置き、左手の指を伸ばす	指が痛くなる練習のため…	0	22
7	45	最初から通し練(全スラー)	指が痛く、たまに休める時あり	5	6
12	51	ギター弾する	弾き方に悩むしぐさ	0	50
13	41	再開		3	52
17	33	バイオリンをわきに置き、指の体操	画像参照	0	33
18	6	再開		4	14
22	20	バイオリンをわきに置き、楽譜を眺める		0	25
22	45	再開		1	30
24	15	通し練終了、バイオリンを置き、楽譜を見る		0	17
24	32	最初から通し練(全スラー)		1	13
25	45	携帯電話操作		3	7
28	52	携帯を置き、構えようとするも肩当が外れ、つける	その間に携帯の音が鳴る	0	20
29	12	再び携帯操作		0	15
29	27	携帯を置き、最初から通し練(全スラー)		2	22
31	49	バイオリンをわきに抱え、ギター弾で練習		0	20
32	9	再開		1	43
33	52	バイオリンをわきに抱え、指の体操、ついでに楽譜見る		0	58
34	50	再開		3	48
38	38	通し練終了、指の体操		0	11
38	49	携帯操作開始		0	32
39	21	弓を膝におく	画像参照	5	26
44	47	携帯操作終了、最初から通し練(全スラー)		3	1
47	48	バイオリンをわきに抱え、ギター弾で練習		0	26
48	14	再開		2	40
50	54	バイオリンをわきに抱え、楽譜眺める		0	8
51	2	再開		0	51
51	53	バイオリンを膝に立て、楽譜眺める		2	31
54	24	通し練終了、バイオリンを膝に立て、楽譜眺める、すぐ部分練習		0	34
54	58	ギター弾で練習	画像参照	0	18
55	16	再開		0	36
55	52	ギター弾で練習		0	51
56	43	構えようとするも、携帯確認をする	携帯を譜面台に置く	0	5
56	48	最初から通し練(全スラー)		2	22
59	10	携帯操作開始	何かいい知らせ? 指の体操もやる	1	6
60	16	携帯を後ろの机に置く、楽譜を眺める		0	17
60	33	再開		2	30
63	3	バイオリンをわきに抱え、指の体操		0	34
63	37	再開		1	21
64	58	楽譜を眺める		0	16
65	14	再開		1	16
66	30	バイオリンをわきに抱え、ギター弾で練習		0	35
67	5	再開		0	18
67	23	楽譜を眺める		0	12
67	35	再開		1	29
69	4	楽譜眺めるのと指の体操	あくび	1	55
70	59	携帯操作開始		2	49
73	48	携帯操作終了、楽譜を眺める	手の体操	0	20
74	8	最初から通し練(全スラー)	※後で比較に使います	3	33
77	41	通し練終了、ギター弾		0	15
77	56	携帯操作	バイオリンと弓をいざの上に置く 携帯操作中にあくび	3	12
81	8	終了		0	0
			音楽再生なしでの練習	50	18
		作業合計時間	練習のための作業	12	54
			練習外作業	16	32

システムを利用時での B さんの行動

システム利用時の練習(後半)Bさん					
Time		内容	備考	作業時間	
Minute	Second			Minute	Second
0	0	Start、システムを操作		0	18
0	18	MIDI再生、MIDI楽譜見ながら演奏(全スラー)	チェリー	1	5
1	23	一旦止め、最初から再生、紙楽譜で演奏(全スラー)	指がわからなくなったため、紙楽譜を利用、間奏中は楽器を膝に立てる(オケスタイル)	4	32
5	55	終了、別の楽譜を試す作業		0	24
6	19	再生開始、紙楽譜見ながら演奏(全スラー)	なだそうそう	4	12
10	31	終了、別の楽譜を試す作業		0	39
11	10	再生開始、紙楽譜見ながら演奏(全スラー)	さくら	4	11
15	21	終了、もう一度同じ曲で最初から再生、ただし演奏なしで譜読み	たまにギター弾で指抑える	3	53
19	14	終了、別の曲で譜読み	チェリー、ギター弾で指を抑える	3	4
22	18	終了、別の曲で譜読み	なだそうそう、ギター弾	3	30
25	48	途中で終了、楽譜探す		0	16
26	4	別の曲で再生、紙楽譜見ながら演奏(全スラー)	さくら、くしゃみで出遅れる	3	54
29	58	一時停止、音楽なしでシステムの紙楽譜で通し練習(全スラー)		2	6
32	4	指を休める		0	7
32	11	再開		2	7
34	18	エアコン操作		0	21
34	39	再開		1	58
36	37	通し練終了、MIDI再生、通し練習(全スラー)		0	45
37	22	PC操作	スピード調整(遅い再生)	0	43
38	5	最初からMIDI再生、通し練習(全スラー)	スピードは結局変えず	1	37
39	42	PC操作、最初からMIDI、通し練習(全スラー)		1	3
40	45	音楽を止め、部分練習(全スラー)		2	57
43	42	PC操作、最初からMIDI、通し練習(全スラー)		4	26
48	8	終了、エアコン操作		0	28
48	36	音楽なしでシステムの紙楽譜を部分練習		0	54
49	30	携帯操作	指の体操	6	20
55	50	携帯操作終了、MIDIを最初から再生、通し練習(全スラー)		4	3
59	53	終了、別の曲でMIDIを最初から再生、通し練習(全スラー)	チェリー	4	30
64	23	終了、システムの紙楽譜を机に置き、原曲を通し練習(全スラー)	原曲のカイザー2、※比較	4	10
68	33	通し練習終了、楽譜を眺めたり、指の体操をしたり		1	4
69	37	原曲を最初から通し練習(全スラー)		3	11
72	48	通し練終了、携帯操作開始		1	55
74	43	携帯操作終了、楽譜を眺める		0	33
75	16	原曲を最初から通し練習(全スラー)		2	48
78	4	通し練終了、少し楽譜を見て考える	あくび	0	33
78	37	再びシステムの紙楽譜を譜面台に載せ、譜面台の位置調性	この時、PCはスリープ状態 紙楽譜を少し眺める動作	1	20
79	57	原曲で最初から通し練習(全スラー)		0	19
80	16	終了		0	0
			音楽再生なしでの練習	10	28
			練習のための作業	22	42
		作業時間合計	練習外作業	8	15
			音楽を再生しながらの練習	38	51
			システム修復作業	0	0

システムを利用時での C さんの行動

システムありの練習(前半)Cさん					
Time		内容(details)	備考(note)	processing time	
Minute	Second			Minute	Second
0	8	Start、原譜でスラーなしで通し練習		0	29
	37	一旦楽譜を見直す		0	10
	47	再開		2	34
3	21	一旦楽譜を見直す		0	3
3	24	再開		2	25
5	49	一旦楽譜を見直す		0	4
5	53	再開		0	53
6	46	一旦楽譜を見直す		0	5
6	51	椅子を調整		0	17
7	8	一旦楽譜を見直す		0	9
7	17	再開		0	13
7	30	一旦楽譜を見直す		0	17
7	47	再開		0	19
8	6	一旦楽譜を見直す		0	17
8	23	再開		2	56
11	19	通し終了、楽譜を眺めるのと肩当を調整		0	18
11	37	原譜でスラーなしで通し練習		1	36
13	13	一旦楽譜を見直す		0	3
13	16	再開		1	51
15	7	一旦楽譜を見直す		0	10
15	17	再開		2	24
17	41	ちょっとだけ楽譜を下ろし、すぐ再開		1	11
18	52	一旦楽譜を見直す		0	5
18	57	再開		1	26
20	23	一旦楽譜を見直す		0	2
20	25	再開		0	56
21	21	一旦楽譜を見直す		0	9
21	30	再開		2	5
23	35	一旦楽譜を見直す		0	3
23	38	再開		1	29
25	7	一呼吸		0	4
25	11	再開		1	56
27	7	一旦楽譜を見直す		0	5
27	12	再開		2	6
29	18	通し終了、楽譜を眺めるのと肩当を調整		0	26
29	44	原譜でスラーなしで通し練習		0	6
29	50	調弦		1	8
30	58	再開		1	28
32	26	一旦楽譜を見直す		0	6
32	32	再開		6	18
38	50	一旦楽譜を見直す		0	5
38	55	再開		1	23
40	18	一旦楽譜を見直す		0	3
40	21	再開		1	9
41	30	一旦楽譜を見直す		0	6
41	36	再開		3	17
44	53	終了、楽譜を見る	あくびする	0	15
45	8	部分練習		7	7

52	15	終了、携帯電話を取り出し、バイオリン片手に操作		0	57
53	12	携帯操作終了、部分練習		3	3
56	15	一旦頭を掻く		0	5
56	20	再開		0	7
56	27	一旦楽譜を見直す		0	8
56	35	再開		0	42
57	17	一旦楽譜を見直す		0	4
57	21	再開		5	12
62	33	一旦楽譜を見直す		0	10
62	43	再開		1	15
63	58	一旦顔を手でふく動作		0	13
64	11	再開		0	10
64	21	一旦楽譜を見直す		0	8
64	29	再開		2	41
67	10	一旦楽譜を見直す		0	7
67	17	再開		3	33
70	50	首の体操		0	8
70	58	再開		0	19
71	17	実験について補足		0	36
71	53	再開		2	12
74	5	通し終了	あくびする	0	9
74	14	通し練開始		0	10
74	24	携帯操作開始		0	22
74	46	システム利用開始、システム操作		1	29
76	15	修正	その間に携帯操作開始	1	32
77	47	修正終了、携帯操作		1	22
79	9	携帯操作終了、部分練習システム操作	まずはシステムのすべての音源聴く	3	25
82	34	紙譜を譜面台に置き、譜読み		0	11
82	45	音なしでシステムの譜面を練習		0	50
83	35	システム操作		0	10
83	45	システム利用開始、音ありで練習	紙譜とMIDI譜を交互に見る	1	35
85	20	システム操作		0	49
86	9	一番最初から始める	休符部で譜読み	3	59
90	8	終了		0	0
			音楽再生なしでの練習	69	18
			練習のための作業	11	2
		作業時間合計	練習外作業	1	44
			音楽を再生しながらの練習	6	24
			システム修復作業	1	32

システムを利用しない場合での C さんの行動

システム利用時の練習(後半)Cさん					
Time		内容	備考	作業時間	
Minute	Second			Minute	Second
0	0	Start 通し練開始		5	30
5	30	通し練終了、椅子の調整		0	15
5	45	通し練開始		2	56
8	41	一旦楽譜を見直す		0	21
9	2	再開		3	8
12	10	首の体操		0	10
12	20	再開		2	26
14	46	頭を掻く、一旦楽譜を見直す		0	12
14	58	再開		2	3
17	1	通し終了、頭を掻く		0	3
17	4	携帯操作開始		0	33
17	37	通し練開始		1	43
19	20	姿勢を変える		0	5
19	25	再開		4	45
24	10	一旦楽譜を見直す	あくびあり	0	30
24	40	再開		4	45
29	25	通し練終了、首の体操		0	10
29	35	部分練開始		0	22
29	57	一旦楽譜を見直す		0	10
30	7	通し練開始		5	31
35	38	通し練終了、一旦楽譜を見直す		0	15
35	53	通し練開始		2	58
38	51	肩当の調整		0	7
38	58	再開		1	16
40	14	通し練終了、首の体操、一旦楽譜を見直す	あくびあり	0	20
40	34	通し練開始		4	36
45	10	肩当の調整		0	11
45	21	携帯操作開始		3	3
48	24	再開		1	47
50	11	一旦楽譜を見直す、椅子の調整		0	21
50	32	再開		4	51
55	23	通し練終了、首の体操、一旦楽譜を見直す		0	25
55	48	通し練開始		2	49
58	37	首の体操、肩当の調整		0	14
58	51	再開		1	28
60	19	通し練終了、肩当の調整		0	11
60	30	部分練開始		1	41
62	11	携帯操作開始		8	27
70	38	再開、通し練開始		0	56
71	34	肩当の調整		0	7
71	41	再開		3	48
75	29	通し練終了、そのまま最初から		0	21
75	50	一旦楽譜を見直す	あくびあり	0	12
76	2	再開		3	3
79	5	肩当の調整、首の体操、ギター弾しながら楽譜見る		0	25
79	30	携帯操作開始	途中で弓を膝の上に置く	7	39
87	9	携帯操作終了、肩当調整		0	5
87	14	部分練開始→そのまま通しへ		2	46
90	0	終了		0	0
			音楽再生なしでの練習	65	29
		作業合計時間	練習のための作業	4	49
			練習外作業	19	42

システムを利用しない場合での被験者 D の行動

システムなしの練習(前半)Dさん					
Time		内容(details)	備考(note)	processing time	
Minute	Second			Minute	Second
0	0	Start、単旋律から通し練習		9	36
9	36	肩当調整		0	3
9	39	再開		1	57
11	36	バイオリンを構えなおす	何か手順を踏んでいた模様	0	22
11	58	再開		1	9
13	7	一旦一息		0	10
13	17	チューニング		0	12
13	29	再開		1	58
15	27	一旦一息		0	6
15	33	再開		3	23
18	56	一旦楽譜を眺める		0	19
19	15	飲み物を取りに行く		0	36
19	51	携帯電話操作		6	40
26	31	バイオリンを持つが、まだ携帯操作		0	45
27	16	バイオリンの準備、楽譜を見る		0	10
27	26	再開		5	55
33	21	少し一息し、頭を掻く		0	6
33	27	再開		5	23
38	50	チューニング		0	8
38	58	構えなおす	足を組む	0	3
39	1	再開		2	20
41	21	チューニング		0	6
41	27	バイオリンを置き、飲み物を取りながら楽譜を眺める		0	56
42	23	再開		3	9
45	32	頭を掻きながら一旦楽譜を眺める		0	8
45	40	再開		1	49
47	29	楽器を置き、携帯電話を操作する		12	59
60	28	再開	目をつぶりながら	4	50
65	18	一旦一息		0	12
65	30	再開		6	8
71	38	一旦一息		0	8
71	46	再開		0	32
72	18	一旦一息し、肩当の調整と楽譜を眺める		0	19
72	37	再開		3	3
75	40	一旦一息し、肩当の調整をしたのち、楽器を置く		0	23
76	3	携帯操作開始		3	57
80	0	終了		0	0
		作業合計時間	音楽再生なしでの練習	51	12
			練習のための作業	4	27
			練習外作業	24	21

システムを利用時での被験者 D の行動

システム利用時の練習(後半)					
Time		内容	備考	作業時間	
Minute	Second			Minute	Second
0	0	Start、システムの紙譜を音なしで通し練習		1	55
1	55	紙譜に書き込み		0	17
2	12	再開		0	56
3	8	紙譜に書き込み		0	13
3	21	再開		0	25
3	46	紙譜に書き込み		0	14
4	0	再開		1	40
5	40	一旦楽譜を見つめる		0	17
5	57	再開		3	43
9	40	通し練終了、別の楽譜を用意		0	18
9	58	システムの紙譜を音なしで通し練習		3	32
13	30	通し練終了、原譜を用意		0	53
14	23	原譜で通し練開始(単旋律⇒3度⇒6度)		10	19
24	42	飲み物を握りにいったん中断		0	53
25	35	再開(オクターブ)		3	58
29	33	肩当の調整		0	4
29	37	再開		1	0
30	37	通し練終了、システムの紙譜を音なしで通し練習		1	18
31	55	システム操作		0	29
32	24	システム練開始		0	25
32	49	システム操作		0	11
33	0	システム修正		0	12
33	12	システム練開始		2	14
35	26	システム操作		0	15
35	41	紙譜を音なしで部分練習		4	6
39	47	くしゃみ		0	17
40	4	原譜を練習(8度)		3	26
43	30	鼻をかむ		0	15
43	45	再開		1	58
45	43	別の紙譜を用意し、システムを操作		0	32
46	15	システム練開始	MIDI譜を途中から見る、 戻しながら練習	7	49
54	4	システムを一旦止め、紙譜を音なしで部分練習		3	16
57	20	一旦原譜を確認する		0	25
57	45	再開		1	48
59	33	通し練終了、調弦、飲み物を飲む		0	37
60	10	携帯操作開始		5	56
66	6	調弦		0	4
66	10	原譜で練習(単旋律から全部)		7	18
73	28	システム操作		0	15
73	43	システム練開始		6	58
80	41	終了		0	0
		作業時間合計	音楽再生なしでの練習	27	59
			練習のための作業	6	41
			練習外作業	5	56
			音楽を再生しながらの練習	40	5
			システム修復作業	0	0

付録 3 専門用語集

[*a] 運指

運指とは、楽譜に記述されている音符を楽器で順次鳴らすために、楽器上で音高を決定する楽器の操作子（例えばバイオリンの弦やピアノの鍵など）を、どの指でどういう順番に操作するかという、操作手順のことである。バイオリンの楽譜においては、弦を押さえる指を、通常は数字で示す。

[*b] スケール

スケールとは、一般には音階のことを指す。バイオリンの教則課程におけるスケールとは、音階の音程を精確にとる練習のための教本、あるいは練習手段を示す言葉である。バイオリンにおいて、主に音程をとる左手の動きの練習になる。

[*c] エチュード

バイオリンにおけるエチュードとは、スケールとは違い、左手の動きの練習ではなく、右手の動きの練習、楽譜に慣れるための練習に使う、実際の演奏に必要な技術の要素を凝縮した教本である。エチュードの楽曲は楽曲ごとに違うテクニックを養えるようになっている。

[*d] クロイツェル

エチュードのうちの一つ。中級者向けのエチュードである。

[*e] MIDI データ

音を PC で認識するのに用いるデータ (mp3, wave などの音楽ファイル種). mp3 や wav などは「音響データ」をデジタル化したものであるのに対し, MIDI データは, 「楽譜データ」をデジタル化したものであるといえる. すなわち MIDI データは, 音の高さ, 音の長さなどといったものを指定したものであり, 周波数などを含まないより抽象的に書かれたデータである.

[*f] コード(コードネーム)

ポピュラー・ミュージックやジャズ・ミュージックにおいては, 和音の形ごとに名前が付けられている. 例えば, C_{M7} というコードネームはド, ミ, ソ, シの和音を表す.

[*g] 音高

絶対的な音の高さのことである. また, 音程は相対的な音の高さを示す言葉である.

[*h] アメリカ・イギリス式表記の音名(C, D, E, F, G, A, B)

日本における義務教育の音楽の授業で習う音階の音名はイタリア式表記 (ド, レ, ミ, ファ, ソ, ラ, シ) である. アメリカ, イギリス式表記では音階の音名を C, D, E, F, G, A, B で表す. ポピュラー・ミュージックにおいては音名をアメリカ・イギリス式表記で表記することが一般的である.

[*i] スラー

複数の音を滑らかに演奏することを指示する記号. この記号の中に含まれる音は滑らかにつなげなければならない. バイオリンにおいては右手の動作が影響することである.

[*j] BPM(Beats Per Minute)

BPM とは, 1 分間に 4 分音符が何個入るかという速さの単位. この値により, 楽曲の演奏のスピードが変化する. いわゆるテンポである.

[*k] 音価

楽譜上に表記される音の長さのことである。例えば、2分音符は4分音符2拍分の音価、付点2分音符ならば4分音符3拍分の音価となる。ただし、音価は実際に流れる音の長さを表すものでないことに注意が必要であり、4分音符にスタッカートがついたものと通常の4分音符は実際に音が流れている時間は異なるものの、音価は変わらない。

[*l] 移調

楽曲の調を変えることである。ポピュラー・ミュージックにおいては、俗にキー変更とも呼ばれたりする。

[*m] 根音

和音における基礎となる音。コードネームの最初の文字の音である。例えば、 C_{M7} (ド、ミ、ソ、シ)の根音はC(ド)である。

[*n] 移弦

バイオリンなどの擦弦楽器において、音を鳴らす弦を別の弦に変える行為。隣接していない弦に音を出しながら移動すると、間の弦からの音が鳴り響いてしまうため、良くないとされる。具体的例を出すと、バイオリンの弦はG線、D線、A線、E線の順に並んでおり、G線で音を鳴らしながらA線の音へ移弦しようとする場合、間にある鳴らすべきでないD線の音が鳴り響いてしまう。

[*o] 度

音の高さの相対的な距離を示す単位。例えば、ピアノの鍵盤において、白鍵を一つ隣に動かした距離を2度とする(1度でないことに注意、0の概念がない時代に作られた概念故である)。ドの音から上に10度の音はオクターブ上のミの音を示す。

[*p] コードトーン

コードを決定づける音。C_{M7}のコードならド、ミ、ソ、シの音がコードトーンである。

[*q] テンションノート

コード進行を阻害しないコードトーン外の音。後述するアヴェイラブル・ノート・スケールのうちで、コード音以外の音（非和声音）のこと。

[*r] アヴェイラブル・ノート・スケール

アヴェイラブル・ノート・スケールとは、あるコードに対して、使うことの許される音の集まりである。

[*s] ミクソリディアン

アヴェイラブル・ノート・スケールの種類の一つ。ミクソリディアン・スケールの構成音は、通常の長調のスケール（ドレミファソラシ）のうち、第7音の「シ」をフラットしたものとなる。したがって、Gミクソリディアン・スケールは、ソラシドレミファとなる（Gの長調のスケールでは、第7音がファのシャープとなる）。

[*t] アヴォイド・ノート

アヴォイド・ノートとは、アヴェイラブル・ノート・スケールに含まれる音であるが、その音を鳴らすことにより、そのスケールに対応した和声を持つ和声機能が、別の和声機能に変化したかのような印象を与えてしまう音のことである。ポピュラー・ミュージックにおいてはこの音の使用をなるべく避ける。ただし、使用を禁止しているわけではないことに注意が必要である。

[*u] 強拍, 弱拍

1 小節が 4 拍分のものにおいて, 1 拍目や 3 拍目が強拍, 2 拍目や 4 拍目が弱拍となる。(日本人の)感覚的に, 手拍子をするタイミングが強拍であることが多い. いわゆる表打ちが強拍, 裏打ちが弱拍.

[*v] コンサートミストレス

オーケストラを取りまとめる役職の女性. 基本的には第一バイオリンのトップに座る人が担当する. 一般的に, 一番バイオリンの演奏がうまく, 花形である存在. 男性の場合はコンサートマスターと呼ばれる.