

# 広島大学学術情報リポジトリ

## Hiroshima University Institutional Repository

Title	音楽リズム課題における単純化方略を用いた自己克服支援とその実験的評価
Author(s)	中川, 響; 濱田, 侑太郎; 山元, 翔; 林, 雄介; 平嶋, 宗
Citation	電子情報通信学会論文誌 D , J98-D (1) : 142 - 152
Issue Date	2015-01-01
DOI	
Self DOI	
URL	<a href="http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00045778">http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00045778</a>
Right	Copyright (c) 2015 IEICE
Relation	



## 音楽リズム課題における単純化方略を用いた自己克服支援とその実験的評価

中川 響<sup>†a)</sup> 濱田侑太郎<sup>††</sup> 山元 翔<sup>†</sup> 林 雄介<sup>†</sup>  
平嶋 宗<sup>†</sup>Support for Self-Overcoming by Simplification in Rhythm Exercise and Its  
Experimental EvaluationHibiki NAKAGAWA<sup>†a)</sup>, Yutaro HAMADA<sup>††</sup>, Sho YAMAMOTO<sup>†</sup>, Yusuke HAYASHI<sup>†</sup>,  
and Tsukasa HIRASHIMA<sup>†</sup>

あらまし 音楽演奏を対象とした学習支援システムの研究は、学習者が自身の誤りを自身で克服することを支援しているものが多く、その支援手法は演奏上の誤りを指摘し反復練習させるものが主であった。このような手法は、誤り箇所の指摘から自ら誤りを克服できるような学習者にしか有効でないと考えられる。そこで本研究では、課題の派生的成立モデルに基づき、基本的な音楽リズム課題を対象とした課題の単純化方略による誤りの自己克服支援システムを実現した。単純化方略では、学習者が解ける段階まで課題を単純化することで解ける課題と解けない課題の差分が誤りの原因として特定され、その差分を解ける課題に加えることで誤りの自己克服を促すような支援している。開発したシステムを用いて、単純化方略の効果を検証するための実験を行った。その結果、単純化方略による自己克服支援がリズム学習の演習法として有用であることを示唆する結果が得られた。

キーワード リズム学習、自己克服、単純化方略、派生的成立モデル

## 1. ま え が き

音楽演奏を対象とした学習支援システムの研究が近年盛んに行われるようになってきている。そのような研究の多くは、楽譜を読み正しく演奏するという活動を扱っており、その主な支援手法は、学習者の演奏上の誤り箇所を指摘し、同じ課題を反復させるものである。その方法として、楽譜上に正誤を重畳するもの [1]、学習者の演奏結果を視覚化するもの [2] などがある。このとき学習者は直接的な教授活動を受けておらず、自らの力で誤りを克服することが必要となる。これを誤りの自己克服活動と呼ぶ。自己克服活動には一般的にメタ認知能力が重要であることが言われており [3]、学習者のメタ認知能力によっては実行が困難であること

が懸念される。そのため、これらの関連研究は、支援システムによって音楽演奏における誤りの自己克服を支援していると位置づけることができる。このような支援手法の問題点として、学習者の演奏上の誤り箇所を提示できていても、誤りの原因、またその克服方法について提示することができていないことが挙げられる。したがって、このような手法は、誤り箇所の指摘から自ら誤りを克服できるような学習者にしか有効でないと考えられる。

このような問題意識の元、本研究では、小中学校での音楽教育を受けることによって音楽リズム譜が読める程度の能力は身に着けているが、リズム譜の演奏については困難を感じる学習者を対象として、課題の単純化方略を用いた誤りの自己克服支援システムを実現した。単純化方略とは、ある課題を解決できない場合に、学習者が解ける課題にまでその課題を段階的に単純化し、その学習者が解決できる課題を確認した上で、元の課題との差分を誤りの原因として確認しつつ、それらを克服していくという演習である。この演習は、学習者が解ける課題と解けない課題の差分が誤りの原

<sup>†</sup> 広島大学大学院工学研究科, 東広島市  
Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1  
Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

<sup>††</sup> 広島大学工学部, 東広島市  
Faculty of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1  
Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

a) E-mail: nakagawa@lel.hiroshima-u.ac.jp

因として特定され、その差分を解ける課題に加えることで誤りの自己克服を促すような支援している。このような演習は音楽分野で経験的に行われることはあるが、課題を単純にするとはどういうことかについて十分な議論がなされておらず、一般的な手法として確立されていない。ここで、その差分自体が新規なものであり教授を受ける必要があるような場合には、自己克服の支援としては成立しないことになる。つまり、このような方法が支援として成立するためには、その学習者が解けない課題を解くために必要となる能力を既にもっていることが必要となる。課題全体が与えられると解決できないが、いったんその課題を単純化した課題を解決し、差分に焦点を当てることができれば解ける場合が往々にしてあることは、これまでも指摘されている [4], [5]。

この演習を実現するために、まず、基本的な音楽リズム課題の分析を行い、音楽リズム課題を対象とした派生的成立モデルを定義した。更にそのモデルに基づく自己克服支援システムを開発した。実験的評価の結果として、単純化方略による自己克服支援システムを用いた演習がリズム学習の演習法として受け入れられること、フロー体験をもたらす没入できるものになっていること、メタ認知能力に依存せず誤りの自己克服を支援できていることを示唆する結果が得られた。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では、関連研究を示す。3. では、課題の派生的成立モデルと課題の単純化について述べる。4. では、音楽リズム課題における派生的成立モデルと、リズムの単純化について述べる。5. では単純化方略による自己克服支援システム「Rhythm Tour」について述べる。6. では Rhythm Tour を用いた評価実験とその結果の考察について述べ、7. で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

本研究では、学習者の誤りに対してリズム課題を単純にするという手法をとる。音楽演奏支援に関する研究のうち課題の変更による支援を行っているものとして、演奏履歴を元に楽曲データベースから似た練習曲を検索するものがある [6]。この研究ではピアノ演奏を対象とし、鍵盤間距離を元に演奏の誤り部分と似た動作を要求される既存の練習曲を検索している。

また、オリジナルの楽譜に含まれる音符のみを使用し、楽譜を数段階に編集した楽譜をあらかじめ構築す

るという研究もある [7]。編集の基準は事前の実験において演奏者が演奏を停止した要因と認めた要素を用いており、複数の音を同時に演奏する、両手を利用する、白鍵が黒鍵に変化しているなど、ピアノ演奏に特有のものが多い。またこの研究は、練習の始めやすさや継続し易さを目的としている。

一方本研究は、誤りの自己克服を支援することを目的としており、間違えてしまった課題を変化させることでより単純かつ直接関係した課題を提示することによる支援を目指している。このようなアプローチで音楽演奏の支援を試みた研究は見当たらない。

## 3. 単純化方略

本章では、まず課題の派生的成立モデルについて述べ、更にこのモデルに基づく単純化方略について説明する。

### 3.1 課題の派生的成立モデル

ある課題が解けないとき、その課題の全てに困難さがあることは稀であり、課題の一部が困難であることがほとんどである。このことから、解けない課題は、ある一部分のみからなる解ける課題と、その課題に追加された要素から構成されていると考えられ、課題が解けないのはこの追加された要素が原因である。このように、課題はある課題にある要素が追加されることで構成されていると考えることができる。学習者が取り組む課題のこのような捉え方を本研究では課題の派生的成立モデルと呼んでいる。

課題の派生的成立モデルが、授業設計などで用いられている課題の系列化手法 [8] と大きく異なるのは、課題間の関係が、課題解決の観点からの包含関係によって定義されていることである。ここでは、課題1を解いた場合に、その解決過程が課題2の解決過程を含んでいる、つまり課題1を解けば課題2を解いたことになる、という関係を、課題解決の観点からの包含関係と呼ぶ。そして、課題1をその課題が包含する課題2に変換することを単純化と呼び、その逆を複雑化と呼んでいる。この単純化に従えば、ある課題を解けなかった場合に、それを単純化した課題が解ければ、その差分が克服すべき誤りの要因となる。これに対して、一般的な課題の系列化手法では、課題間の順序関係は定めるものの、包含関係は保証してはいない。このため、順序関係が前の課題に戻ったとしても、元の問題を単純化したものであるかどうかは不明である。学習順序の決定という観点からはこれでも十分とされてい

るが、誤りの自己克服を目指す場合には、上記に述べたような単純化された課題が提供できることが必要であるとするのが筆者らの立場である。

課題の派生的成立モデルに基づく研究としては、力学の問題演習を対象とした一連の研究があり、問題間の派生的成立関係の分析 [9], [10], 問題の派生的成立モデル自体の提案 [11], このモデルに基づいて学習者が問題変更を行う演習の提案 [12], 問題の自動生成機能の実現 [13], などの成果が報告されている。

### 3.2 課題の単純化

課題の派生的成立モデルに基づく、ある課題にその課題を複雑化させる要因を追加することで複雑化され、その要因を取り除くと単純化される。この際に、より複雑な課題はより単純な課題を問題解決の観点から含んでいる必要がある。つまり、より複雑な課題を解けば、その課題に含まれる、より単純な課題は解決したことになっている必要がある。前述の力学においては、力学問題間の関係をこのように定義することができた。リズム課題に関してのこのような定義については、4.において述べる。以下では、このような派生的成立モデルに基づく単純化方略について説明する。

単純化方略では、学習者に解けない問題があることが前提となる。学習者はまず、派生を逆に辿ることで誤りの原因と推測される要素を取り除くように問題を単純化していき、自身が解ける問題を発見する。このとき単純化は必要であれば複数回行う。こうして発見した問題は元の解けない問題に包含された問題であり、学習者は解けた問題を1段階ずつ元の問題に戻していきながら学習を進めていく。このように、単純化方略は(1)課題の単純化により自身が解ける問題を発見するフェーズ、(2)解けたら1段階ずつ複雑にしていくフェーズに大きく分けられる。

ポリアの「いかにして問題を解くか」[4]では、与えられた問題の解決に失敗したとき、その問題を変形して解ける問題に変えてみるのが重要であることが指摘されている。また、問題集などに見られる小問や類題にはそのような関係にある問題が現れることも報告されている。更に、単純-複雑の包含関係にある問題を単純から複雑に段階的に出題することで、問題解決パフォーマンスが向上するということも言われている [5]。これらのことから、本研究で提案する単純化方略が、解けない問題を解けるようになるための手段として有望であると期待できる。

## 4. リズムの単純化

音楽においても教本などにおいてあらかじめ複数の課題が段階的に準備されているのが普通であり、より早い段階の課題は、より後に来る段階の課題よりも単純なものになっているとは言える。しかしながら、ある課題ができなかった場合に、その課題が包含しているように単純化した課題がその課題の系列に用意されているわけではない。著者らの調べた範囲では、このような課題間の単純化に関しての体系的な研究は存在しない。本研究では、リズム学習のためのリズム課題に焦点を絞って、リズム課題の単純化を定式化した。以下本章では、リズム課題に関しての派生モデルと単純化について述べる。

### 4.1 リズム学習

音楽演奏に関する学習活動には様々なものがあるが、その一つに楽譜を読んで正しく演奏するという活動があり、多くの研究が支援の対象として扱っている。本研究では、このような活動の前段階として、音程の要素を取り除いたリズム譜と呼ばれる楽譜を演奏する活動を扱う。本研究ではこれをリズム学習と呼ぶ。西洋音楽において、リズムはメロディ、ハーモニーと並ぶ重要な要素であり、小学校教育の中で学ぶべき対象とされている [14]。また、リズム演奏における学習支援も研究の対象となっている [15]。

演奏すべきリズムが問題解決における問題に相当し、これをリズム課題と呼ぶ。また、リズム学習における問題の解決とは、リズム課題を正しく演奏することである。

リズム学習は身体動作を伴う学習であるため、スキル学習に分類される。先行研究において、スキルの上達には、認識、認識と行動の対応付け、行動それぞれの能力の上達が必要であると述べられている [16]。これらの能力は、スキルの実行の際、外界の認識、認識に応じた行動の選択、行動選択に基づいた動作の実行、という形で使用される。リズム学習では、認識能力とは楽譜に記載されている音休符の相対的な長さの関係を理解する能力、対応付け能力とは楽譜を元にして音休符の絶対的な長さを計り、音を出すタイミングを決定する能力、行動能力とは音を出すための動作に関わる能力であると言える。

以上のことから、リズム学習ではリズム演奏実行の難易度に関わる要素が複数あることが分かる。本研究で提案する単純化方略では、手を叩く、鍵盤を押さ

る、唇を震わせる、といった音を出すための動作自体の難易度を変化させることはできない。そのため、リズム課題を対象とした派生的成立モデルにおいては、認識と対応付けの二つの要素に着目して課題間の包含関係を議論する必要がある。このとき、二つの要素が課題の難易度に関係しており、単純化のためのある操作が両方を単純にしているとは限らない。したがって、力学問題を対象としたものと異なり、音楽リズム課題においては派生的成立モデルの定義のみでは3. で述べたような包含関係を一方向に定めることができない可能性がある。そこで本研究では、双方向の包含関係が生じる可能性を考慮し、派生的成立モデル上で複数の単純-複雑関係を定義することによって、いずれかの要素について課題を単純にすることを実現する。単純-複雑関係の議論については、4.3 で述べる。

#### 4.2 リズムの派生的成立モデル

本研究では、以下の条件を満たすリズムのみを扱い、これを基本音楽リズムと呼ぶ。基本音楽リズムの範囲で扱うことのできるリズム課題は、約46万通りである。

- (1) 全体の長さは1小節
- (2) 拍子は4/4拍子
- (3) 16分までの音休符で構成されている
- (4) 付点、タイ、シンコペーションを含まない

基本音楽リズムの特徴として、音休符の長さの関係が2倍・1/2倍になっていることと、全ての音休符が同じ長さで対になっていることが挙げられる。これらの特徴を元に定義した、リズム課題における派生的成立モデルの一部を図1と図2に示す。図1と図2は、4分音符が四つ並んだリズムによって結合することができ、上下への広がりともつ1まとまりのモデルとして表現することができる。このモデルに基づくと、リズムの派生はある音休符の分割、統合、音符化、休符化の四つの操作によって実現することができる。同時に、課題間の差分もこれら四つの操作であり、学習者はできるリズムのいずれかの音休符に、これら四つの操作のいずれかを加えることでできなかったリズムを克服することになる。

#### 4.3 リズムの単純-複雑関係

4.1 で述べたように、リズム学習における単純化方略では、認識と対応付けの二つがリズム演奏の難易度に関わる。このとき、単純化のためのある操作が両方を単純にしているとは限らない。本節では、前節で述べたリズムの派生的成立モデルを元に、リズムの単純-

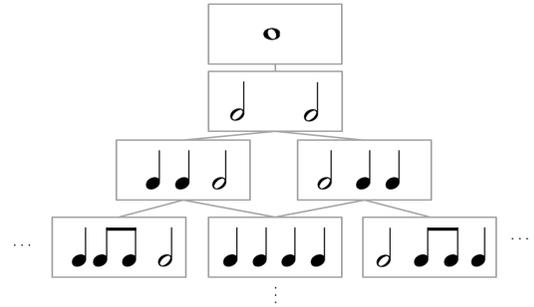


図1 リズムの派生的成立モデル—分割と統合—  
Fig.1 Derivation model of rhythm — divide and integrate —.

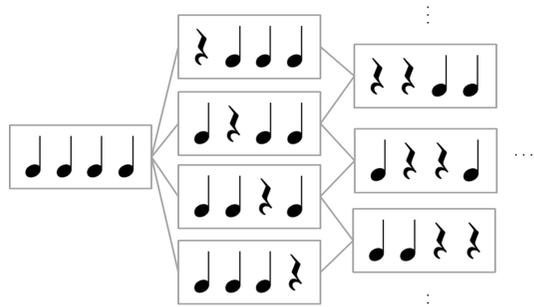


図2 リズムの派生的成立モデル—音符化と休符化—  
Fig.2 Derivation model of rhythm — change to note and change to rest —.

複雑関係について議論する。

本研究では、リズム演奏における認識に関わる要素として音符の詳細さ、対応付けに関わる要素として音符の多様性と休符の数を定義した。それぞれに着目したリズム課題の単純-複雑関係について説明する。

音符の詳細さに着目した単純-複雑関係について述べる。音符がだまかになるほど音符の総数は少なくなるため、音符の相対的な長さの関係の理解が容易になると考えられる。これはリズム演奏における認識に対応している。したがって、音符の統合によって音符をだまかにすることが音符の詳細さに着目した単純化になる。

音符の多様性に着目した単純-複雑関係について述べる。音符の種類が少なく、同じ種類の音符が多いほど一度把握した音符の長さを利用することができるため、音休符の絶対的な長さの把握が容易になると考えられる。これはリズム演奏における対応付けに対応している。しかし、1種類の音符のみからなるリズムは基本音楽リズムの範囲で5種類存在するため、それら

のうちどれを目指して単純化することが最適かは、学習者の能力に依存する。そのため、音符の分割と統合のどちらが単純化になるかは一方向に定義することができていない。後述のシステムでは、分割と統合の両方が単純化として考えられる場合、そのどちらかを選択させている。

休符の数に着目した単純-複雑関係について述べる。ここで休符の数とは、後に音符のある休符の数を指している。休符を演奏するためには、演奏しない長さを計る必要があり、一般的に演奏する長さを計るより難しいとされている。これはリズム演奏における対応付けに対応している。そのため、休符の音符化によって休符を少なくすることが休符の数に着目した単純化になる。

本研究では、三つの要素のうちいずれかを単純にするように音符の分割、統合、休符の音符化を行うことをリズムの単純化と定義した。この妥当性を確認するために、音楽教育専攻に在籍するなど専門性のある音楽教育を受けた経験があり、継続的に音楽に携わっている大学生 14 名を対象としてその妥当性を調査した。調査に当たっては、一段階の音符化・休符化に該当する 4 組 8 個のリズム、及び一段階の分割・統合に該当する 4 組 8 個のリズムを用意し、それらに対して、どちらが単純化になっているか、あるいは判断できないかを尋ねた。その結果、分割・統合の組では 4 問 × 14 名の 56 件の回答中 25 件で統合後、29 件で分割後のリズムが単純であるという回答が得られ、判断できないとの回答は 2 件であった。統合後のリズムが単純だと回答した理由としては、より長い音符が含まれるようになることが多く挙げられた。また、分割後のリズムが単純だと回答した理由としては、前後と同じ音符が並ぶようになることが多く挙げられた。このように回答が分かれたことから、音符の詳細さと音符の多様性が主要な単純-複雑関係であること、場合によってどちらがより単純と感じるか判断が分かれることが確認できた。音符化・休符化の組では 4 問 × 14 名の 56 件中 46 件で音符化後のリズムが単純であるという回答が得られ、10 件が休符化となり、判断できないとの回答はなかった。したがって、ほとんどの場合で休符化より音符化の方が単純になると判断されることが確認できた。休符化後のリズムが単純であるとの回答の理由としては、休符化によって音符単位ではなく大きなまとまりでの規則性が生まれるから、という意見があった。この大きなまとまりでの規則性については現

在考慮することができておらず、今後単純化の一つとして検討する価値があると考えられる。

以上より、定義した単純-複雑関係についてある程度の妥当性が認められた。しかしながら、調査したリズムの組は基本音楽リズムのほんの一部であるため、今後より詳細な調査が必要であると考えている。

#### 4.4 誤りに応じたりズムの単純化

一般的にリズム学習における誤りは音符を演奏するタイミングのずれによって判断されるが、ある音符の演奏開始タイミングがずれていた場合、その直前にある音休符の長さが誤っていたと言い換えることができる。これは、楽譜には音符も休符もない瞬間が存在しないことによる。これをリズムの連続性と呼んでいる。したがって、ある音符の演奏ミスの原因は直前の音休符の長さにあると推測することができる。

本研究では、リズムの連続性に基づき、学習者が正しく演奏できなかった音符の直前の音休符に前節で述べた単純化を適用することで学習者の誤りに応じたりズムの単純化を実現している。

そのアルゴリズムについて述べる。音符を演奏したタイミングが正しいタイミングから一定以上ずれていた場合、その音符は正しく演奏できなかったと判断される。このとき、その音符の直前が休符であった場合、その休符を同じ長さの音符に変えることが単純化となる。直前が音符であった場合、音符の分割と統合が単純化となり、学習者はそのどちらかを選択する。音符の分割は、直前の音符を半分の長さの音符二つに置き換えることによって実現する。音符の統合は、直前の音符と、同じ長さの対応する音符の長さを合わせて一つの音符とすることで実現する。このような音符が存在しない場合は、休符の音符化・音符の統合によって同じ長さの音符を作成してから統合操作を実行し、複数段階の操作によって単純化リズムを生成する(図 3)。

本節で述べたリズムの単純化について、先行研究における実験で妥当性を調査した[17]。被験者は、音楽教育専攻の大学生を含む大学生 6 名であり、全員が大

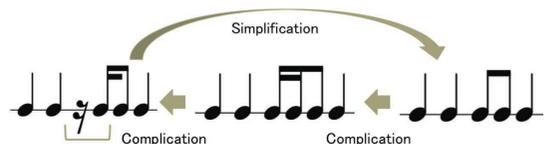


図 3 複数段階の操作による統合  
Fig. 3 Integration by several operation.

学入学前からの継続した音楽経験がある。学習者の誤りに応じたリズムの単純化機能を実装した、単純化方略支援のプロトタイプシステムを開発し、システム利用とアンケートへの回答を行ってもらった。アンケートの結果から、単純化方略がリズム習得に役立つ演習方法であること、また実装した単純化機能が妥当であることが示唆された。

## 5. システム

本章では、リズム学習における単純化方略を用いた自己克服の支援システムである、「Rhythm Tour」について説明する。本システムは iPhone / iPad 向けのシステムとして開発している (図 4)。

システム利用の流れを図 5 に示す。まず学習者は、課題選択画面であらかじめ用意された目標課題の中から取り組む課題を選択する。このときテンポは初期値 BPM80 であり、BPM60 から 100 の範囲で変更することが可能である。演習中の変更は不可である。次にリズム演奏画面で選択したリズムを演奏し、その結果が表示される。演奏は画面下部のボタンをタッチすることで行い、タッチの際にスネアドラムの音が鳴る。



図 4 システム画面  
Fig. 4 Screenshot.

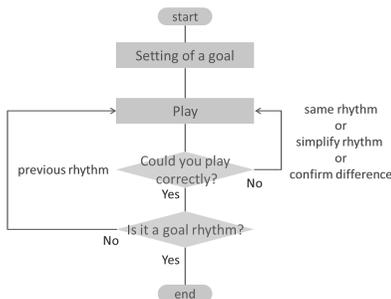


図 5 システム利用フロー  
Fig. 5 System flow.

現時点では打楽器の演奏をイメージしたシステムであるため、演奏時の音の長さは考慮せず、演奏開始タイミングのみで正誤を判断している。本システムでは、基本音楽リズムにおける最小単位の半分である 32 分音符分の長さをしきい値とし、正しいタイミングとの差がしきい値を超えた音符が一つでも存在した場合に不正解と判断している。正しく演奏できなかった場合、リズムの単純化を行うか、もう一度同じリズムに取り組むかを選択することができる。単純化されたリズムを正しく演奏できた場合は一つ前のリズムに戻り、先ほど間違えた課題に取り組んでいく。その際に再度同じ箇所間違えてしまった場合、正しく演奏できたリズムとの差分を確認・練習する画面に遷移することができる。これを繰り返し、初めに取り組んだ目標課題を正しく演奏できたら演習終了となる。リズムの単純化を行う機能は後述の実験のために ON-OFF が設定可能となっている。また、課題の単純化による誤りの克服を目的としているため、手本を提示する機能は実装していない。

## 6. 実験

本実験では、開発した Rhythm Tour を用いて、以下の仮説について検証を行った。

- (1) Rhythm Tour を用いた演習は学習者に受け入れられるものである
- (2) Rhythm Tour を用いた演習は十分に没入できる活動である
- (3) Rhythm Tour を用いた演習はメタ認知能力に依存しない誤りの自己克服を支援している
- (4) Rhythm Tour を用いた演習はリズム課題の達成を容易にする

### 6.1 実験の流れ

実験は iPad 版 Rhythm Tour を用いて行った。実験時間は約 90 分である。

被験者としては、リズム譜は読める程度の音楽教育は受けているが、基本的なリズム譜であってもそれを直ちに正確に演奏ことに困難を感じることを条件として大学生 14 名 (全員工学部所属) を集めた。また、音楽に関して専門的な能力を持った人が本システムとその支援に関してどのような感想をもつかについて調査するために、音楽教育専攻の大学生 7 名にも使ってもらった。以下それぞれを、工学系被験者、音楽教育専攻系被験者と呼ぶ。被験者にはまず、Rhythm Tour による自己克服支援の効果がメタ認知に依存するかを調

査するため、メタ認知能力を測定するための質問紙に回答してもらった。メタ認知の測定には阿部らによって提案されている成人用メタ認知尺度 [18] を用いた。

その後、実験の流れの説明と Rhythm Tour の操作方法についての簡単なレクチャーを行った。

次に被験者には、Rhythm Tour を利用して単純化機能を ON にした状態と OFF にした状態 2 通りの演習を 30 分ずつ行ってもらった。単純化 ON の状態が提案する単純化方略を用いた演習、単純化 OFF の状態が誤り箇所指摘による反復練習のみでの演習となっている。被験者を 2 群に分け演習の順番を入れ替えることで、演習を行う順番による影響を取り除くようにした。また、システム利用を通して取り組んでもらうリズム課題はそれぞれの演習に八つずつ実験者が用意した。これを目標課題と呼ぶ。一例を図 6 に示す。これらは同じ課題番号の対で (1) 音休符の総数、(2) 音符の種類、(3) 休符の数、の三つが同じとなるように設定しており、これらは 4.3 で述べたリズム演奏の難易度に関わる要素と対応している。被験者にはそれぞれの演習で八つのリズム課題を自由な順番で行ってもらった。なお、できそうにない課題はやらなくてよいことと、できそうな課題がなくなったらその時点で終わってよいと指示した。被験者は椅子に座り、iPad を机に置いて Rhythm Tour を利用した。テンポは BPM60 から 100 の間で自由に変更が可能である。被験者は設定したテンポのクリック音に合わせて演奏を行った。単純化されていない状態のリズム課題において全ての音符の演奏タイミングのずれがしきい値以下だった場合、その課題は達成されたとする。

それぞれのシステム利用後にはフロー体験を測定する質問紙に回答してもらった。「フロー」とは、心理学者の Csikszentmihalyi によって提唱された概念であり、一つの活動に深く没入し他の何もかも問題となくなるような状態のことであるといわれている [19]。そのため、フロー体験の度合いを被験者がシステム利用にどれくらい没入できたかの調査に用いた。質問

紙には Rheinberg らによって作成された Flow Short Scale [20] を日本語に訳したものを採用した。

最後に事後アンケートに回答してもらった。このアンケートは、二つの演習それぞれについての質問と二つの演習の比較についての質問からなる。前者は「そう思う」～「そう思わない」の 4 件法であり、後者は「単純化 ON」～「単純化 OFF」の 5 件法である。

音楽教育専攻の被験者には、これらに加えて単純化機能の ON と OFF での演習に用意した二つの課題群の難易度に差がないかどうかを確認するためのアンケートに回答してもらった。本実験で用いたリズム課題を全て記載しており、それらを見ただけで課題群の難易度に大きな差がないかどうかを質問している。その結果 7 人中 6 人が難易度に差はないと回答しており、本実験では二つの演習における目標課題の達成度に課題群の難易度は影響していないとして考察を進める。

なお、被験者に課題を自由に選ばせる形式をとったのは、被験者自身ができると思った課題に取り組ませることが自己克服において必要であると考えたからである。現時点でもっていない知識やスキルを必要とする課題は、自己克服の対象とするのは無理がある。そこで、被験者ができると思って選択した課題であれば、おおむね自己克服の対象となり得るであろうという想定のもとで被験者に目標課題を選択させた。結果として、取り組んでいる課題の途中放棄を申し出た被験者はいなかったことに加えて、次節で述べるように、フロー体験が得られたことを示唆する結果がでていることと、特に単純化 ON の場合に自己克服が数多く行われていることなどから、今回の課題設定は特に問題なかったと考えている。ここで、非常に単純な課題から始めて、段階的に課題を難しくしていく方法も派生モデルに基づくことによって可能となるが、今回は自己克服の支援、に焦点を絞ったため、あらかじめある程度の複雑さをもった課題を目標課題として設定している。単純な課題から始めて派生モデル上で徐々に課題を難しくしていく演習の形式を筆者らは漸進的問題演習と呼んでおり、力学を対象として研究を進めている [13]。

## 6.2 結果と考察

本節では、誤りの自己克服活動の成功過程を例示した後、前述の四つの仮説について結果と考察を述べる。

まず、自己克服の成功過程の一例を図 7 に示す。単純化を行うまでの試行回数や単純化回数、達成するまでの試行回数は被験者によって様々である。この例で

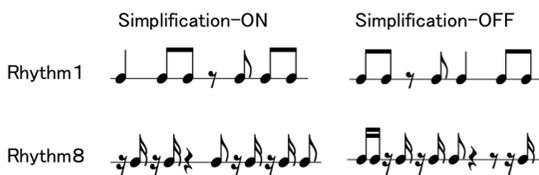


図 6 実験に用いたリズムの一例  
Fig. 6 An example of rhythm for experiment.

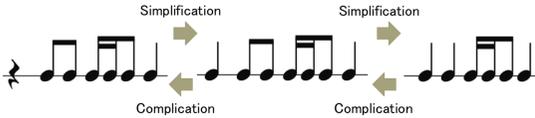


図 7 自己克服成功過程の一例  
Fig. 7 Example of self-overcoming process.

表 1 アンケート項目—課題の比較について—  
Table 1 Questionnaire item about comparison of exercise.

D-1	Which exercise did you felt useful for acquire a rhythm?
D-2	Which exercise did you felt useful for you?
D-3	Which exercise did you keep motivation of the exercise?

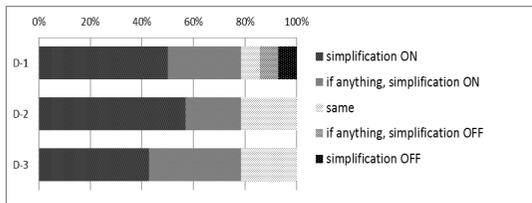


図 8 アンケート結果—工学系被験者—  
Fig. 8 Result of questionnaire for subject of faculty of engineering.

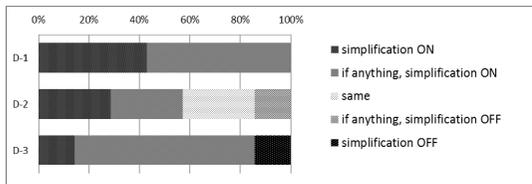


図 9 アンケート結果—音楽教育専攻被験者—  
Fig. 9 Result of questionnaire for subject faculty of music education.

は、課題を一度間違えるとすぐ単純化を行い、自分が達成できる課題を見つけていた。複雑化の過程では一度も間違えることなく目標課題を達成しており、単純化された課題との差分を意識することで、その誤りをスムーズに克服することができたと推測される。

次に、仮説 (1) について述べる。二つの演習の比較に関する項目の内容と結果を表 1 と図 8, 図 9 に示す。工学系被験者は三つの項目全てで 14 人中 11 人が単純化 ON での演習の方がよいという回答をしている。音楽教育専攻の被験者は D-1 で全員、D-2 で 7 人中 4 人、D-3 で 7 人中 6 名が単純化 ON での演習の方がよいという回答をしている。工学系被験者と比較して

表 2 アンケート項目—それぞれの演習について—  
Table 2 Questionnaire item about each exercise.

B-1, C-1	I understood the reason for my mistake.
B-2, C-2	I understood how to correct a mistake.

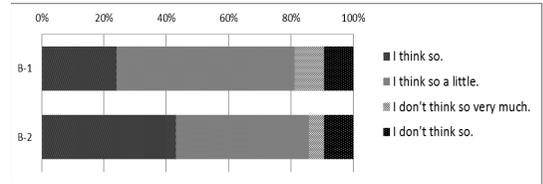


図 10 アンケート結果—単純化 ON—  
Fig. 10 Result of questionnaire about exercise in simplification ON.

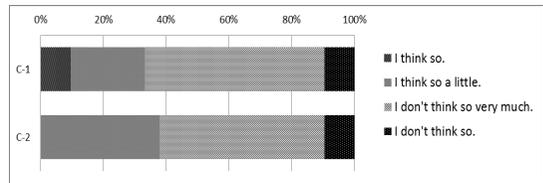


図 11 アンケート結果—単純化 OFF—  
Fig. 11 Result of questionnaire about exercise in simplification OFF.

D-2 での支持率が低いが、リズムを読んで正しく演奏する能力が優れているほど支援を必要としないことは自然な結果であると考えられる。これらの結果から、Rhythm Tour によって実現している単純化方略が、誤り箇所指摘による反復練習と比較して音楽リズムの自己克服支援として十分受け入れられたと言える。

仮説 (2) について述べる。二つの演習に対するフロー体験質問紙の結果と、同様の質問紙を用いた幾つかの実験 [21] の結果を比較したところ、単純化 ON での演習は、テレビゲームと同程度のフローを体験していると同時に、テレビゲームよりも自身の活動に重要性を見出していることがわかった。よって、Rhythm Tour を用いた演習は、十分に没入できる活動であると言える。

仮説 (3) について述べる。事後アンケートの、メタ認知に関わる項目の内容と結果を表 2 と図 10, 図 11 に示す。B-1 と B-2 は単純化 ON での演習についてであり、C-1 と C-2 は単純化 OFF での演習についてである。演習ごとの回答の平均値に演習間で差があるかを確認するためにマン・ホイットニーの U 検定を行った結果、B-1 と C-1 について有意水準 5% の元で有意差が確認された ( $U=125, p=0.016$ )。また B-2 と

C-2 について有意水準 1% の元で有意差が確認された ( $U=89.5$ ,  $p < 0.001$ ). このことから, 単純化方略では誤り箇所指摘による反復練習と比較して自身の誤りの原因とその克服方法の認識を促すことができてることが示唆されている.

また, アンケート項目 C-1 とメタ認知モニタリング ( $r=0.48$ ,  $p=0.027$ ), C-1 と総合的メタ認知能力 ( $r=0.44$ ,  $p=0.047$ ) に中程度の相関があり有意水準 5% で有意差が確認された. 加えて B-1 と総合的メタ認知能力 ( $r=0.25$ ,  $p=0.27$ ) の相関が見られない点から, 単純化方略はメタ認知能力が比較的低い被験者でも自身の誤りを認識しやすくなるような補助を行っていると考えられる. C-2 とメタ認知能力 ( $r=0.26$ ,  $p=0.25$ ) に相関は見られなかったが, B-2 とメタ認知能力 ( $r=0.01$ ,  $p=0.96$ ) との相関が見られない点と, 誤り箇所指摘の演習と比較して有意に誤りの克服方法がわかったと回答している点から, Rhythm Tour はメタ認知能力が比較的低い被験者でも単純化方略を用いて自身の誤りの克服方法を理解しやすくなるような支援を行っていると考えられる.

最後に, 仮説 (4) について述べる. 工学系被験者がシステムによって提示される目標課題のうち, 一度でも間違えた目標課題を克服できた数は, 一人当たり単純化 ON で 3.86, 単純化 OFF で 3.71 であった (なお, 初回の試行で間違わずに達成できたのは, 一人当たり単純化 ON で 0.29, 単純化 OFF で 0.64 であった). あらかじめ設定された目標課題を達成するという点で見ると, 単純化 ON と単純化 OFF では達成数に差がなかったため, 単純化方略が目標課題の達成を容易にするとは言えなかった. しかしながら, 単純化 OFF の場合は, この 3.71 がそのまま誤りを克服した数となるが, 単純化 ON の場合には, 目標課題に加えて単純化した課題を数多く行っている. これらの単純化した課題についての誤り克服数 (つまり, 一度でも間違えた課題をそのあと達成できた数) も含めると, 克服数は 13.29 となり, 多くの誤り克服の体験をできていたことになる. 図 8~図 11 にまとめたアンケート結果は, これらの誤り克服体験が, 単純化 OFF の場合よりも有用性 (D-1, D-2), 動機づけ (D-3), 自身の活動に対する理解・メタ認知 (B/C-1, B/C-2) の点で質の高いものと被験者に判断されていたことを示唆している. したがって, 仮説 (4) のように単純に単純化 ON が課題達成を容易にするとはいえないものの, 質・量とも高いレベルでの誤り克服活動を行っていた

と判断できる.

課題の達成数に違いが見られなかったことについて, 今回の実験では, 被験者の能力と課題の難易度について十分統制できていなかったため, 被験者が元々もつ音楽能力や被験者が選んだ課題が結果に影響を与えていた可能性がある. 具体的には, 被験者の能力に比べて課題が比較的簡単であった場合は単純化 OFF でも達成できることや, 課題が比較的難しい場合は単純化 ON でも時間内に達成できないこと, あるいは, 被験者によって選んだ課題が異なるため, 選んだ課題の難易度の違いによって達成度に差が出ること, などが考えられる. 単純化方略が課題の達成を容易にするかどうかについては, 今後, より統制した実験を行うとともに, 遅延テストなどによって効果の持続などについても調査を行う必要があると考えている.

### 6.3 まとめ

本実験によって, 単純化方略による自己克服支援システムを用いた演習は (1) 十分受け入れられる演習であること, (2) 十分没入できること, (3) 誤りの自己克服を支援できていることが分かった. (4) 課題の達成度については演習間で違いを確認できなかったが, 単純化した課題に取り組みさせることが遠回りでないことが確認できた.

加えて, 質問紙から得られたメタ認知得点と, アンケート項目 D-1 で単純化 ON の演習をよい回答とした度合との相関分析を行った結果, メタ認知能力の各領域の得点の合計得点として表される総合的メタ認知能力と D-1 にある程度の相関があり, 有意傾向 ( $p < 0.1$ ) が認められた. これは, 総合的メタ認知能力が高い被験者ほど単純化方略がリズム習得に役立つと考える傾向にあることを表している. アンケート項目 D の質問に回答するには自身が行った二つの演習を比較するというメタ認知的な活動が必要であり, メタ認知能力の高い被験者ほど正しく判定すると考えると, 提案した単純化方略の方が, 従来の誤り箇所指摘による反復練習と比較して, より有用な自己克服支援であったことを示唆していると言える.

なお, 本論文の範囲においては, 「単純化 ON を利用した被験者が達成できた一方, 単純化 OFF を利用した被験者が達成できなかったリズム課題, 及びそうなった理由」, 「単純化 ON を利用した被験者でも達成できなかったリズム課題, そうなった理由, その解決方法」については吟味できていない. これは, 被験者の統制, 課題の統制がこの目的に沿ったものとはなっ

ていなかったためである。しかしながら、これらの分析は本研究で提案している単純化方略に基づく誤りの自己克服支援の適用範囲やその適切な適用を行う上で重要な課題であり、今後調査を進めていく対象となっている。

## 7. むすび

音楽分野の音楽演奏を対象とした学習支援システムの研究は、演奏上の誤りを指摘することによる誤りの自己克服支援が主であった。本研究では、課題の単純化によって発見した解決可能な課題を元に失敗した課題を克服させる、単純化方略を用いた自己克服支援を提案した。そして音楽リズム課題を対象とした派生的成立モデルの定義に基づいた自己克服支援システムを開発し、単純化方略の有用性について検証を行った。その結果、単純化方略による自己克服支援システムを用いた演習は(1)十分受け入れられる演習であること、(2)十分没入できること、(3)誤りの自己克服を支援できていることが分かった。(4)課題の達成度については演習間で違いを確認できなかったが、単純化した課題に取り組ませることが遠回りでないことが確認できた。

本研究におけるシステムの拡張としての課題としては、以下の三つが挙げられる。一つは、扱うリズムの拡張である。本研究では、基本的なリズムを扱い、連符や付点などの含まれたリズムは扱っていない。そのため、これらを含んだ範囲に派生的成立モデルを拡張することで、より複雑なリズムに対する支援を実現したいと考えている。もう一つは、音程の要素を追加することによる単旋律への拡張である。本研究ではリズムを対象とした派生的成立モデルを定義しており、これは打楽器など音程のない楽器の演奏を想定している。これを、単旋律を対象としたモデルへと拡張することで、音程をもった様々な楽器演奏を想定した自己克服支援システムを実現することができると考えている。三つ目は、本研究で行った単純化方略による誤りの自己克服支援は、一種の scaffolding であったと言える [22]。次の段階として学習者の学習状況に応じた fading を行うことが考えられるが、これを行えるようなシステム拡張も今後の課題である。

本研究で扱った範囲においても、(1)リズムの派生モデルのより詳細な検証、及び(2)単純化 ON/OFF の効果とリズム課題の性質の分析、が今後更に必要となる。これらについては、調査及び分析としてシステ

ム拡張とは別途行っていく予定である。

## 文 献

- [1] 雨宮聡子, 金子敬一, “音高と音価に着目した読譜学習システムの設計と実現,” 情処学研報, コンピュータと教育研究会報告, vol.2006, no.46, pp.7-14, May 2006.
- [2] 岩見直樹, 三浦雅展, “基礎的演奏を対象としたドラム練習支援システムの開発,” 日本音響学会研究発表会講演論文集, vol.2008, 2-9-10, Sept. 2008.
- [3] B.J. Zimmerman, D.H. Schunk, 自己調整学習の理論, 塚野州一編著, pp.5-8, 北大路書房, 2006.
- [4] G. Polya, いかにして問題をとくか, 柿内賢信訳, pp.147-152, 丸善, 1954.
- [5] K. Scheiter and P. Gerjets, “The impact of problem order: Sequencing problems as a strategy for improving one performance,” Proc. 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, pp.798-803, 2002.
- [6] 松原正樹, 遠山紀子, 斎藤博昭, “ピアノ初級者のための独習支援システムの提案,” 情処学研報, [音楽情報科学], vol.2006, no.19, pp.79-84, Feb. 2006.
- [7] 大島千佳, 伊藤直樹, 西本一志, 苗村昌秀, “楽曲の技術的な敷居を低くする手法の開発に向けて,” 情処学研報, EC, エンタテインメントコンピューティング, vol.2006, no.24, pp.57-64, March 2006.
- [8] 関 一也, 松居辰則, 岡本敏雄, “e ラーニング環境での学習オブジェクトの適応的系列化手法に関する研究,” 信学論 (D-I), vol.J86-D-I, no.5, pp.330-344, May 2003.
- [9] T. Hirashima, T. Niitsu, K. Hirose, A. Kashihara, and J. Toyoda, “An indexing framework for adaptive arrangement of mechanics problems for ITS,” IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E77-D, no.1, pp.19-26, Jan. 1994.
- [10] 平嶋 宗, 東 正造, 柏原昭博, 豊田順一, “補助問題の定式化,” 人工知能誌, vol.10, no.3, pp.413-420, May 1995.
- [11] 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋 宗, “シミュレーションに基づく学習環境における漸進的な知識獲得支援のためのマイクロワールドグラフ,” 信学論 (D), vol.J91-D, no.2, pp.303-313, Feb. 2008.
- [12] 山元 翔, 脇 浩美, 平嶋 宗, “問題変更演習への近傍選択課題の導入とその実験的評価,” 教育システム情報学会論文誌, vol.29, no.4, pp.201-206 Oct. 2012.
- [13] 大川内祐介, 上野拓也, 平嶋 宗, “派生問題の自動生成機能の開発とその実験的評価,” 人工知能学会論文誌, vol.27, no.6A, pp.391-400, Feb. 2012.
- [14] 文部科学省, 小学校学習指導要領, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/youryou/syo/on.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syo/on.htm)
- [15] 三浦宗介, 杉本雅則, “T-RHYTHM: 振動デバイスを用いたリズム学習支援システム,” 信学論 (D), vol.J89-D, no.6, pp.1260-1268, June 2006.
- [16] 曾我真人, 松田憲幸, 高木佐恵子, 瀧 寛和, 吉本富士市, “スキルの学習支援と学習支援環境,” 人工知能誌, vol.20, no.5, pp.533-540, Sept. 2005.
- [17] 中川 響, 平嶋 宗, “音楽リズム課題の課題間構造の分析とそれに基づく段階的演習支援システムの設計・開発,”

- JSiSE2012 学生研究発表会, pp.170-171, March 2012.
- [18] 阿部真美子, 井田政則, “成人用メタ認知尺度の作成の試み—Metacognitive Awareness Inventory を用いて,” 立正大学心理学研究年報, pp.22-34, March 2010.
- [19] M. Csikszentmihalyi, “Flow: The Psychology of Optimal Experience,” New York, HarperPerennial, 1991.
- [20] F. Rheinberg, R. Vollmeyer, and S. Engeser, “Die Erfassung des Flow-Erlebens [The assessment of flow experience],” in (ed.) J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg, Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept [Diagnosis of motivation and self-concept], pp.261-279, 2003.
- [21] S. Engeser and F. Rheinberg, “Flow, performance and moderators of challenge-skill balance,” Motivation and Emotion, vol.32, pp.158-172, Sept. 2008.
- [22] A. Collins, Cognitive apprenticeship: The Cambridge Handbook of the Learning Sciences, R. Keith Sawyer (ed), pp.47-60, Cambridge University Press, 2006.

(平成 26 年 2 月 28 日受付, 7 月 11 日再受付)



林 雄介

平 10 阪大・基工・システム工学卒, 平 15 同大大学院博士後期課程了, 北陸先端大助手. 大阪大学特任助教, 名古屋大学准教授を経て, 平 24 より広島大学大学院工学研究科准教授. 知識モデリング, 知的教育システムの研究に従事. 博士 (工学).



平嶋 宗 (正員)

昭 61 阪大・工・応物卒, 平 3 同大大学院博士課程了, 同年同大産業科学研究所助手. 同講師, 九工大・情工助教授を経て, 平 16 より広島大学大学院工学研究科教授. 人間を系に含んだ計算機システムの高度化に関する研究に従事. 工学博士.



中川 響

平 24 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業. 現在, 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属. 音楽リズムを対象とした学習支援システムに関する研究に従事.



濱田侑太郎

現在, 広島大学工学部に所属. 音楽リズムを対象とした学習支援システムに関する研究に従事.



山元 翔

平 20 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業. 平 22 同大学工学研究科博士課程前期修了. 現在, 同大学博士課程後期在学中. 知的学習支援システム, 特に問題の解決・作成・変更を行うことによる学習に関する研究に従事.