

# シェイカーによるサンバ演奏技能の習得支援システムの開発

## Development of Learning Support System for Playing Shaker on Samba Rhythm

河上聖人<sup>\*1</sup>  
Masato Kawakami

藤波努<sup>\*1</sup>  
Tsutomu Fujinami

<sup>\*1</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科  
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology #1

It is difficult for anyone to acquire a new rhythm if it is unfamiliar to him. It is difficult, for example, for Japanese to acquire Samba rhythm as its rhythmic structure is so different from the ones they have been familiar with. We employed 18 subjects to separate them into three groups. Two groups were provided with additional items of information, which were calculated based on the data obtained from acceleration sensors put on their wrists. The auto correlation represents how his or her arm movement is similar to the one of the instructor, which we regard as an index to evaluate his or her performance. Of the two groups given additional information, one group was only informed whether or not his or her performance was correct. The other group was shown his or her auto correlation as wave forms on computer display. We compared these three groups to investigate how the different instructions affected on the learners by calculating the learning coefficient between them. It turned out the group who were shown auto correlation as wave forms learnt better than the group who were not given any information of their wrist movement. The result suggests that the learner needs a direction, not just a judgment, to acquire a new rhythm by imitating the instructor.

### 1. 背景

熟練者が持つ「カン」や「コツ」といった暗黙的な知識は、言葉では説明できないため、熟練者も学習者に対して教授することが難しいことから、「体で覚える」といった体育会系的な指導となってしまうことが多い。スキルサイエンスによる技能の解明は、より効率的な技能の指導法や学習法に有用であると考えられる。

しかしながら、現在、様々な技能においてスキルサイエンスによる技能の解明が進んでいないもの、スキルサイエンスによって解明された熟練者の知識を学習者に伝達する具体的な方法の開発はなされていない。技能が解明されることにより、数値や言葉で技能の本質が表せたとしても、熟練者の持つ「カン」や「コツ」を学習者に対して伝達することは未だにスキルサイエンスの抱える大きな問題の一つとなっている。そのため、スキルサイエンスによって解明された熟練者の持つ技能の知識を、学習者に対しての伝達する方法の確立が急務となっている。

暗黙的な技能の知識の伝達という課題に対して、我々は正誤判定という概念を応用した学習支援を検討した。本研究では、正誤判定を「技能実行者が、ある技能を試行した結果の良し悪しを認知する能力」と定義した。技能を学習しようとする学習者は、自身が行った技能の結果に対して、「良し悪し」という正誤判定を行っていると考えられる。

技能の結果の良し悪しを知ることは技能学習において非常に重要と考えられるが、「学習者が気付にくい結果」、「解釈が難しい結果」、「得るまでに時間が掛かる結果」等の認知されづらい技能実行の結果は、技能初心者が正誤を判定することが難しく、技能の学習が行われにくくなっていると考えられる[河上ら-2007]。逆に言えば、学習者に対し技能の結果の正誤を捕らえやすい形で与えてやることで、学習者は正誤判定を得ることができ、技能学習が効率的に行われると考えられる。

スキルサイエンス等によって解明された技能では、学習者が技能を試行した際に生ずる、「学習者が気付にくい結果」、「解釈

が難しい結果」、「得るまでに時間が掛かる結果」等を学習者が解釈しやすい形で、被験者の行動に対してフィードバックとして被験者に与えることで、被験者が正誤判定を得やすくなり、その結果、技能学習が効果的に進むことが予測される。

本研究では、正誤判定の概念を応用した学習支援を行うことによって、実際に外部から技能行動結果を学習者が解釈しやすい形にして与えることで、効率的に技能学習が行われるかどうかを観察する。

本研究のタスクとして、我々は「サンバのシェイカー演奏」に目を付けた。一般的に、サンバのシェイカーのリズムを習得するためには、週 1 回程度の練習でおおよそ半年程度かかると言われている[松村-2007]。サンバのシェイカー演奏をタスクとして選択した理由として、「スキルサイエンスによって、技能の解明が進んでいること[YIF-2006] [石川ら-2006]」、「支援無しには正誤判定が得られづらいタスクであること」が挙げられる。シェイカー演奏本実験では、サンバのシェイカー演奏技能に対して、解釈しやすい「技能の実行結果」を与えることで実際に技能の学習に効果があるか否かを観察した。

### 2. 実験

本研究では、被験者のシェイカー演奏に対して、被験者の演奏法の状態を表し、教師役の演奏法との違いを明確化するフィードバックを与えることによって、学習を支援する。本学習支援システムでは、腕に付けた加速度センサーから得られる加速度値を演奏法の明確化の指標として採用した。加速度値の習得には3軸無線(Bluetooth 通信)加速度センサー「WAA-001 (ATR-Promotion 製)」を用いた。加速度センサーは被験者の利き手手首の甲側の部分に貼り付けた。

本研究では手の甲に取り付けた加速度センサーによって得られる加速度から算出した自己相関波形をフィードバックとして用いる。自己相関波形は、時間当たりの波形の変動が緩やかであることに加え、シェイカーの演奏状態の特徴を波形から抽出しやすい。

加速度データから自己相関係数を求める場合、次式によって求めることができる。

$$R = \frac{\sum_{i=0}^{N-a} (X_i - m)(X_{i+a} - m)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-a} (X_i - m)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{N-a} (X_{i+a} - m)^2}}$$

このとき、 $X$  は加速度値、 $N$  は全データ数、 $a$  はズレ時間  $m$  は全加速度値の平均を示している。

本研究で作成したシェイカー演奏学習支援システムは、66.7Hz (0.015 秒に 1 サンプル) で加速度センサーよりデータをサンプリングし、過去 1.5 秒の加速度データ (100 データ) より、自己相関係数をズレ時間 0 秒~1.5 秒まで算出する。これにより、過去 1.5 秒の被験者の自己相関波形を常時示すことができる。本実験では、加速度センサーの Z 軸の動きに注目し、Z 軸加速度を自己相関の数式に代入し、自己相関係数を求めた。Fig. 1 に得られる自己相関波形の例を示した。Fig. 1 は教師役と被験者の自己相関波形を示しており、横軸にズレ時間、縦軸に自己相関波形を示している。

本システムは、被験者の自己相関波形と教師役の自己相関波形の類似度を比較し、被験者に対してフィードバックを行う。あらかじめ入力しておいた教師役の自己相関波形と、システムを使っている被験者の自己相関波形との相互相関係数を求めることで、被験者の自己相関波形がどれほど教師役の自己相関波形に近いのかを算出可能である。

これにより、本システムでは、被験者がシェイカー演奏した際、教師役のシェイカー演奏とどの程度類似度が高いのかを、相互相関係数を求めることにより、示すことが可能である。

本実験では、教師役である筆者のシェイカー演奏時の自己相関係数を教師役のデータとして、予めシステムに入力しておいた。理想とすべき自己相関波形は、シェイカーの演奏時のテンポによって異なってくるため、シェイカー演奏のためのテンポは電子メトロノーム (KORG, MA-30) によって与えた。

本実験では、「詳細な学習者の行動を表すフィードバック (フィードバック A)」と「正誤のみを表すフィードバック (フィードバック B)」の 2 つのフィードバックを用意し、比較検討を行った。

フィードバック A は、被験者のシェイカー演奏の自己相関波形を表示するフィードバックである。フィードバック画面を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 の左上側に表示されているのは、過去 0~1.5 秒における Z 軸加速度データから算出された、自己相関波形である。また、左下に表示されているのは、教師役の見本の自己相関波形である。被験者の自己相関波形はほぼリアルタイムで変動してゆくことになるが、被験者は、自身のシェイカーの演奏方法に変化を与えつつ、変動する自身の加速度の自己相関波形を、理想的な波形になるように変えてゆくことによって、徐々に理想的な波形に近づいてゆくと考えられる。

被験者が自身の自己相関波形を見ながら、技能に修正を加えていくうちに、被験者はシェイカー演奏の変化から、波形がどのように変動してゆくかを理解するようになって考えられる。つまり、理想の波形に近づけるために、どのように技能修正してゆけば良いかが見える、指向性を持ったフィードバックである。

フィードバック B は、被験者の自己相関波形と教師役の自己相関波形との類似度を示す相互相関係数に応じて、「○」、「×」を返すフィードバックである。具体的には、相互相関係数が  $R=0.83$  を上回ると「○」を返し、それ未満の場合ならば「×」を返すフィードバックとした。

フィードバック B は、○か×の 2 値を取り、フィードバック A のように、どのような技能を修正すべきか、という「詳細な学習者の行動を表す指標」を持たない評価である。本研究では、「詳細な学習者の行動を表すフィードバック」と比較してどの程度学習に影響があるかを比較した。

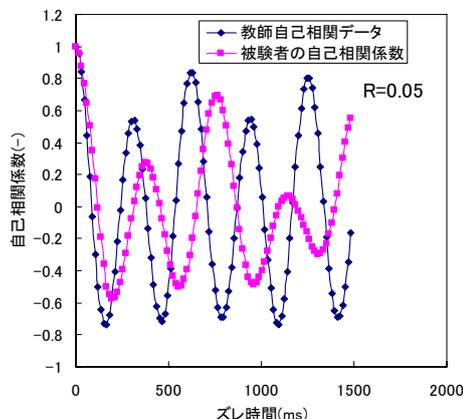


Fig. 1 教師役と被験者の自己相関波形

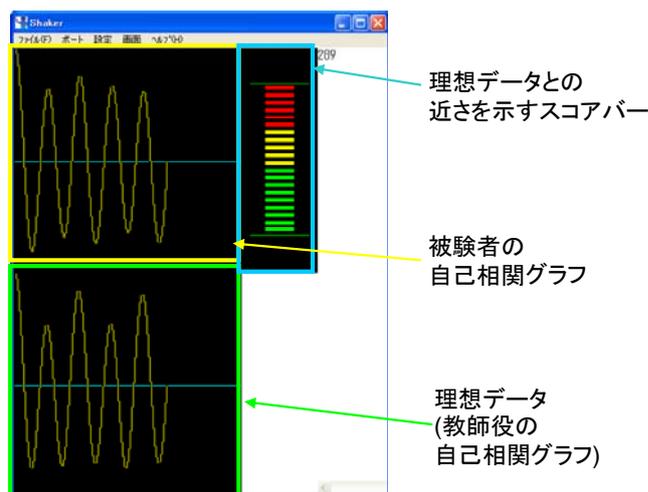


Fig. 2 フィードバック A のフィードバック画面

本実験では、「フィードバック A」、「フィードバック B」、「フィードバック無し」の 3 つグループを作り、学習効果を比較検討した。実験は、サンバでのシェイカー初心者である大学院の男子学生 18 名を被験者として、各グループ 6 名ずつで実験を行った。

実験は、はじめにシェイカーの振り方を知ってもらうための「イントロダクション」、次にシェイカーの技能学習度を測るための「計測 1 分」、そして、シェイカーの技能を学習してもらうためのフィードバックを用いた「学習 10 分」と続き、また「計測」、「学習」「計測」という流れである。この実験は 1 回 30 分程度で終わり、それを 3 日間繰り返した。

実験では、システムにはシェイカーの演奏の方法を教える役割は付いていないため、教師役 (筆者) が被験者に付き、必要に応じて実演や注意点などを述べたが、可能な限り各被験者に対して平等に指示を出すように注意して、シェイカーの振り方を教えた。

始めに行う「イントロダクション」では、シェイカーの振り方を、ビデオ及び実演で示し、説明をした。

次に行う「計測(テスト)」は、100BPMのメロノームのリズムに合わせて実際にシェイカーを演奏してもらおう。測定時間は1分間で、この時にはシステムによるフィードバックは与えず、教師役も指示・実演を行わないで、1分間の自己相関波形・相互相関係数のログを記録した。

そして「練習」では、80~100BPMのメロノームの電子音の下、教師役の実演と共にシステムを用いてフィードバックが行われる。「フィードバック無しグループ」以外は、フィードバック画面の表示を見ながら練習を行う。練習は、被験者が、メロノームにシェイカーを打つタイミングをうまく合わせるできない場合は80BPM、メロノームにタイミングを合わせるできていない場合は100BPMで練習を行った。練習は、教師役と一緒に演奏したり、被験者のみで演奏したりを繰り返した。実験を行っている時に気付いたことだが、教師役と一緒に振っているときはうまく振れているのに対し、単独で振る場合はうまく触れないということがよくあった。そのため、2分おきくらいに、一緒に振ると単独で振ることを繰り返し行い、教師無しで演奏できるよう導いた。

### 3. 結果と考察

本研究では、シェイカー演奏学習支援システムを用いて、3つの被験者グループのシェイカー技能の学習がどのように変化するかを観察した。

シェイカー演奏学習支援システムでは、被験者の自己相関波形と教師役の自己相関波形(理想データ)との相互相関係数を記録し保存できる。本実験では、1分間の計測(テスト)において、被験者の相互相関係数の推移を記録し、その相互相関係数の推移から1分間の始めと終わりの5秒を省いた50秒において、被験者の平均相互相関係数を求めた。

相互相関係数の50秒の推移を平均化し、平均相互相関係数とすることによって、被験者の「計測時」のシェイカー演奏技能の熟練度が比較可能となる。

Fig. 3に、各フィードバック状態での全被験者の平均相互相関係数の推移を示した。Fig. 3はテスト回数の増加に伴う、「各グループで、各被験者の平均相互相関係数の平均を取った値」の推移を示しており、横軸にテスト回数(計測を行った回数)、縦軸にはグループ内で被験者全員の平均をとった平均相互相関係数を示している。この結果からテスト回数の増加(つまり練習時間の増加)に伴って、相関係数1の方向に収束するような挙動が観察され、ほとんどの被験者が何らかの学習を行っていると考えられる。

各グループで平均を取り比べることで、シェイカー学習の挙動が見えやすくなる。各グループの平均の挙動を観察すると、各フィードバック状態でもテスト回数の増加に伴い、平均相互相関係数が上昇していることが観察される。特に、フィードバック A,B グループにおいては、相互相関係数が1に向かって収束しているような挙動をとっていると考えられる。Fig. 3からは、フィードバック A グループおよび B グループの相互相関係数がフィードバック無しグループに比べて高いため、学習がなされているように見えるが、学習前(テスト回数=1のとき)からの増加率で観察するとフィードバック無しのグループと同程度の学習効果にも見える。また、本実験では相関係数という値の上限が1であることから、上限付近の数値は、相関係数0.5という数値とは同等に取り扱うべきではない。

そこで本研究では、学習曲線を仮定し、学習係数を算出する。学習曲線は、次式によって与えられる反比例曲線である。

$$\text{熟練度} = 1 - (1 / (\alpha \times \text{学習回数}))$$

ここで、熟練度は本実験における平均相互相関係数を指しており、 $\alpha$ は「学習係数」である。1単位の学習を行った場合に学習できる効率は学習係数 $\alpha$ によって変動し、学習係数が高いほど技能はより早く熟練に向かうことを示す。ここで、学習係数である $\alpha$ を求めることができれば、相互相関係数を技能の熟練度と置いた場合、その変動から、技能の学習の効率を各グループにおいて算出することが可能となる。

ここで、学習度 $= (\alpha \times \text{学習回数})$ と置くと、次式によって各々の被験者の学習度が導かれる。

$$\text{学習度} = 1 / (1 - \text{相互相関係数}) \quad (\text{ただし、学習度} = \alpha \times \text{学習回数})$$

各フィードバック状態のグループに対して学習度を求め、テスト回数に対する学習度の推移を取ったグラフをFig. 4に示した。Fig. 4では、グラフの横軸はテスト回数、縦軸は平均を取った学習度を示している。Fig. 4では、よりはっきりテスト回数の増加に伴う学習度の増加が観察された。

また、Fig. 4に示された各々のフィードバックグループの学習度の推移は、ほぼ直線で近似可能であると考えられる。これは、本研究で仮定した学習曲線と、実測された学習曲線が、ほぼ正確にフィッティング可能であり、本研究で仮定した学習曲線が、現実の現象と近いことを示している。

ここで、学習係数 $\alpha$ は、学習度の傾きとして算出できる。

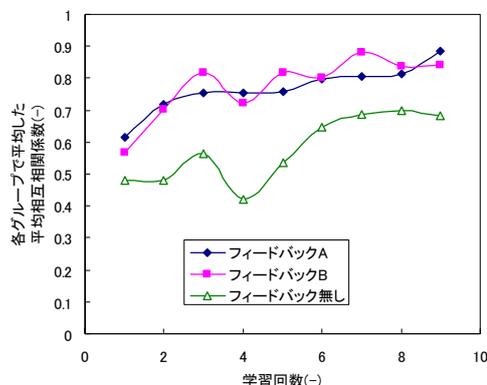


Fig. 3 各フィードバック状態での全被験者の平均相互相関係数の推移

それぞれのグループ、それぞれの被験者で、学習係数を計算し、平均を取ったものをFig. 5に示す。Fig. 5は、各々のフィードバックグループにおける学習係数 $\alpha$ のグラフであり、各々の棒グラフがフィードバックにより分けられたグループ、縦軸が算出された、 $\alpha$ の平均値を示している。t検定(有意水準=0.1)により有意差を調べたところ、被験者数が1グループ6人と少なく、統計的に強くは言えないが、フィードバック A によってシェイカー演奏練習を行ったグループと、フィードバック無しでシェイカー演奏練習を行ったグループの学習係数には有意な差が認められた。また、t検定による有意差は認められなかったものの、フィードバック A とフィードバック B のグループにおける学習係数は大きく差が観察された。

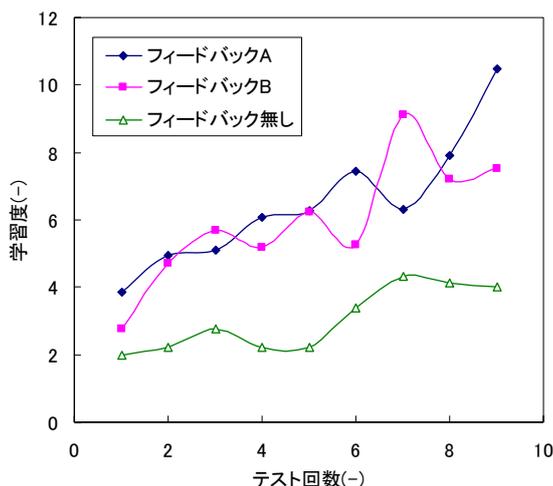


Fig. 4 各フィードバックグループの各被験者の平均学習度の推移

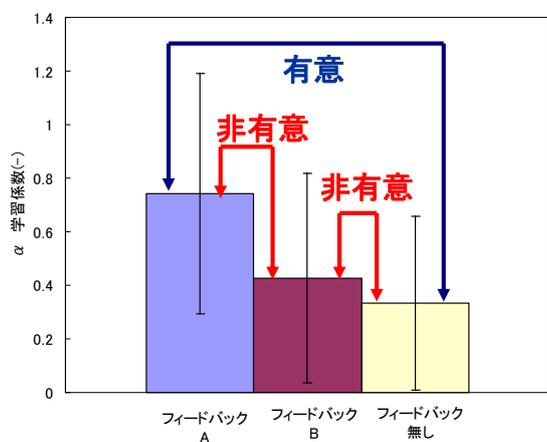


Fig. 5 各フィードバックグループの学習係数

フィードバック A とフィードバック無しのグループの学習係数に大きな差が見られた原因として、フィードバック B では、被験者は教師役もしくは用意された熟練者をまねることで技能を実行しようとするが、その際に得られるフィードバックはシェイカーを鳴らす音だけである。しかし、聴覚情報は具体性を持たず、音の違いを口では説明できないように、あやふやな比較しかできず、音楽の経験を持たないものにとっては教師役のリズムの音情報を正確に記憶することも難しくなる。このため、被験者はどのような音(リズム)ができれば正確にシェイカーが振れているかをわからないまま、教師役の見まねで演奏を行うことになる。しかし、シェイカー演奏中の教師役の腕の振りは非常に速く、学習者がこれを正確に真似ることは非常に難しいと考えられる。

対してフィードバック A は、正誤の判断基準が音ではなく腕振りの自己相関であり、被験者は自身の腕振りの様子を自己相関グラフから観察することができる。また、同時に教師役の自己相関グラフ(理想データ)と比較することができるため、被験者は理想状態と現在の自己の演奏状態を知ることができ、理想状態を目指した試行錯誤が可能となるのである。

本実験の結果から、正誤判定の概念に基づいた学習支援によって、シェイカー演奏技能では有意に学習の効率を上げることができた。学習者の実行結果を学習者に対して認識しやすいよう、情報処理を加えることで、学習者は現在の自己の状況と理想

的な状況を把握でき、理想的な状況に向かうための方向付けを得られたと考えられた。

#### 4. 結論

本研究では、正誤判定の概念に基づいた技能学習支援を実際の技能に対して有効性を確かめるべく、サンバのシェイカー演奏技能に対して、「シェイカー演奏学習支援システム」を作成し、学習支援実験を行った。

実験の結果、学習の効率を示す学習係数を各々のグループの被験者に対して求めたところ、「詳細な学習者の行動を表すフィードバックグループ」と、「正誤のみを示すフィードバックグループ」の被験者の学習係数に有意な差が観察され、「詳細な学習者の行動を表すフィードバックグループ」では効率的に技能を学習できていることが確認された。このことより、正誤判定の概念に基づいた技能学習支援は、効率的な技能学習を促すことが確認された。

#### 参考文献

[YIF-2006] Tomoyuki Yamamoto, Kohei Ishikawa, Tsutomu Fujinami. Developmental stages of musical skill of samba. In Abstracts of the 5th World Congress of Biomechanics. (2006) 555

[石川ら-2006] 石川航平, 山本知幸, 藤波努 モーション・キャプチャ装置を用いたサンバ・リズム習得過程の分析 人工知能学会第 20 回全国大会予稿集 (2006) 2D1-02

[松村-2007] 松村耕平 加速度センサによるサンバリズム運動の分析 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科修士論文 (2007)

[藤波-2006] 藤波努 リズムで超える時間の壁: 身体知へのアプローチ 映像情報メディア学会技術報告 Vol. 30, No. 68(2006) 71-76

[河上ら-2007] 河上聖人, 藤波努 正誤判定を用いた学習機能に関する考察 人工知能学会第 21 回全国大会予稿集 (2007) 1H3-01