

音高と音価に着目した読譜学習システムの設計と実現

雨宮 聡子[†], 金子 敬一^{††}

[†] 東京農工大学大学院工学府 ^{††} 東京農工大学大学院共生科学技術研究院

読譜学習において、簡単な楽譜を何度も演奏する学習方法が有効であると言われている。そこで本論文では、演奏しながら読譜学習を行う教育用システムを設計し、音価の学習に対するシステムの有効性を検証する。本システムでは、バーが楽譜上を左から右へ動き、バーが音符の位置に来たときに弾くことで学習を進める。しかしバーの動きにタイミングを合わせるだけでは音価を覚えることができないので、楽譜の2段目からは音価を考えながら演奏する設計とした。演奏後、音価と音高に関して得点の表示を行い、学習効果を実感できるようにした。20名の初心者に対して評価実験を行い、MSLが音高と音価の学習に効果があることを実証した。

Design and implementation of a system for learning musical scores that focuses on the sound pitches and the note values

Satoko AMEMIYA[†] Keiichi KANEKO^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{††} Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

In this study, we proposed and implemented an online educational system MSL (Musical-Score Learning), by which users can understand not only the sound pitches but also the note values. The MSL system does not require any special device, and it is available by using an ordinary personal computer. We conducted an evaluation experiment with twenty novice users and proved the effectiveness of the MSL system.

1 はじめに

読譜学習では、簡単な楽譜を何度も演奏することによって学習する方法が有効であると言われており^{3, 4)}、実際にその方法を用いた学習ツールはいくつか提唱されている^{1, 7, 8, 9)}。しかしながら、既存の読譜学習ツールの多くは、音高、すなわち音符が示す音の高さをスムーズに読むことができるように支援するものであり、これらのツールには、音価、すなわち音符が示す音の長さまで学習することができないという問題点がある。

例えば、読譜力養成ギブス¹⁾では、画面上を楽譜が右から左へスクロールする。学習者は音符がバーの位置に達したときに、対応するキーを押すことで読譜学習を進める。そのため、演奏しながら学習するという方法を用いている点が特徴である。しかし、バーと音符とが重なるタイミングに合わせてキーを押せば音価を正しく理解しているという判定になるため、学習者がバーに頼って演奏してしまう場合、音価を覚えられないという問題点

がある。また、楽譜の全体像が見えないので、楽譜の先まで意識しながら演奏することができない。

そこで本研究では、コンピュータを使用し、演奏しながら読譜学習を行うことができる教育用システムであるMSL(Musical Scores Learning)システムを設計および開発し、音高および音価の学習に対するシステムの有効性を検証することを目的とする。

2 システムの設計と実現

2.1 読譜の定義と対象者

読譜とは楽譜に書かれている内容を十分理解して再現すること²⁾である。楽譜には音符、リズム、拍子、調号、強弱記号、奏法記号など様々な情報が記されている。本研究では、提案するMSLシステムの、音高および音価の学習に対する有効性を検証するため、音部記号と音符および音価だけを表記した楽譜を用いる。また、楽譜に書かれている内容の再現はMSLシステムにおいて行う。

MSLシステムは、簡単な楽譜を初見で演奏する

ことができない読譜初心者を学習対象者とする。また、ここでいう簡単な楽譜とは、音部記号としてト音記号あるいはヘ音記号を用いるものであり、さらにト音記号の楽譜の場合ド～レ(オクターブ上)、ヘ音記号の楽譜の場合ド～シの間の音のみで構成されているものとする。

2.2 システムの外部設計

既存システムの問題点を解決すべく、MSLを次の(1)～(7)の機能を含むシステムとする。

- (1) **楽譜の全表示** 実際に楽器を演奏する時は、楽譜の先を見ながら演奏するので、楽譜の全体像を見ることができれば、より効果的な読譜学習ができる。そのため、楽譜は全表示とする。
- (2) **音名入りの楽譜表示の選択** 初心者に対する道標として、音符の下に音名表示をした楽譜を用意する。ただし、学習者が音名ばかり追って音符を読まなくなるのを避けるため、楽譜の表示方法は選択性とする。
- (3) **曲に対するレベル付け** 用意する曲の難易度に応じてレベルを付けておくことによって、学習者に対して、学習する際の道標を作るとともに、学習意欲の継続、学習効果の実感を促す。
- (4) **メトロノーム** 演奏中にメトロノームを鳴らすことによって、学習者が自分で拍を数えながら演奏するように促す。これは、正しい音価を学習するのに役立つ⁴⁾。
- (5) **バーの動き** バーが楽譜上を左から右へスクロールするような設計とする。これは、実際に楽譜を見ながら演奏する際、楽譜上を左から右へ視点移動させて演奏することに着目し、自然な視点移動と同じ動きをさせることを目的としている。また、(4)と同様に、学習者が自分で拍を数えることを支援するような動きにする。
- (6) **判定方法と表示** 判定表示はMSLを初めて使用する学習者にも分かりやすいものとし、演奏しながらでも見える位置に表示する。また、演奏後に判定を見返して再学習できるようにする。

- (7) **HELP機能の追加** キーと音との対応関係を表示するとともに、長音階の音名読みも示す。これは読譜を初めて行う学習者に対する道標である。

システム起動時の様子を図1に、実行中の様子を図2に示す。また、図1に示す画面をメインフォームと呼ぶ。なお、①～⑨の番号は実際には表示されない。

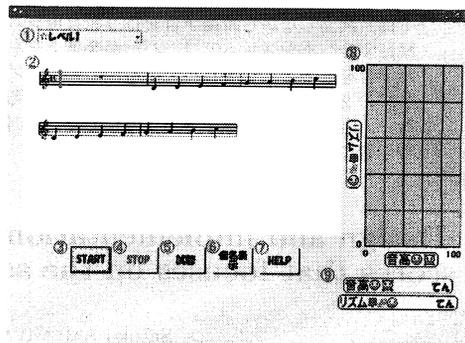


Fig. 1 MSL システム起動時の画面

①～⑨の各機能の働きを以下に示す。

- ① 曲選択用のプルダウンメニュー
- ② 楽譜を表示するためのスペース
- ③ 演奏を開始するためのボタン
- ④ 演奏を中断するためのボタン
- ⑤ 試聴用のフォーム呼び出しボタン
- ⑥ 楽譜の音名表示を変更するためのトグルボタン
- ⑦ HELP用のフォーム表示用ボタン
- ⑧ 得点結果の推移の表示スペース
- ⑨ 得点を表示するためのスペース

基本的な操作の流れを以下に示す。

- (1) **曲選択** 学習者は、①のプルダウンメニューから演奏したい曲を選択する。
- (2) **楽譜表示** システムは、(1)で学習者が選択した曲の楽譜を②のスペースに表示する。学習者がボタン⑥を押すと音名入りの楽譜に変更することができる。

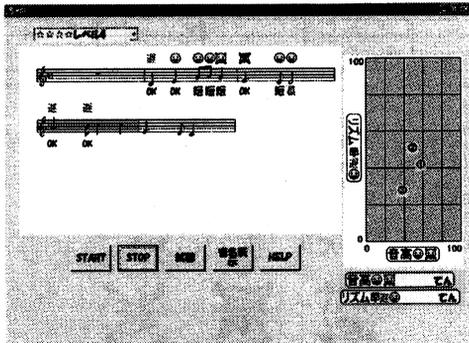


Fig. 2 MSL システム実行中の概観

- (3) **演奏** 学習者がボタン③を押すとバーが動き出す。学習者はキーボードで演奏を行う。
- (4) **リアルタイムに結果表示** システムは、演奏に合わせて実時間に判定を行い、結果を音符の上下に表示する。
- (5) **最後に得点表示** システムは、音とキーを押すタイミングに関して、演奏後に得点を④のスペースに表示する。また、それをグラフ化したものを⑤のスペースに表示する。

バー自体を右へスクロールすることによって、実際に楽譜を目で追うのと同じ視点動作とする。また、先に述べた問題点を解決するために、楽譜の1段目はバーをスクロールしてリズムを体感し、2段目以降は図3に示すように演奏する小節自体に色を付け、バーに頼らずに学習者自らが音価を考えながら演奏するようにする。メトロノームは2段目以降も鳴る仕組みである。

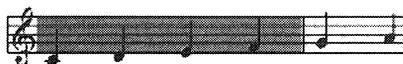


Fig. 3 2段目以降のバーの表示例

楽譜を見ながら正しい演奏を聴くことも読譜学習には重要であるため¹¹⁾、システムに試聴機能をもたせる。試聴するときには、楽譜全体に渡ってバーがスクロールする設定とする。これは、音価をより分かりやすくするためである。また、最初の1小節のみメトロノームを鳴らし、それ以降は鳴らない仕組みである。図4に試聴フォームを呼

び出したときの様子を示す。なお、①～⑥の番号は実際には表示されない。

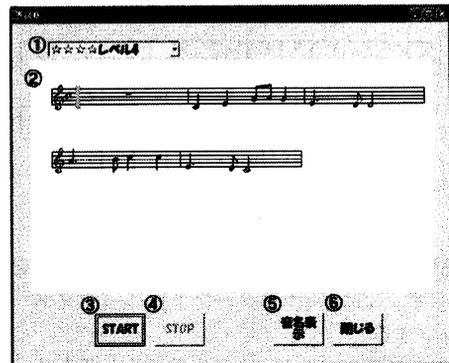


Fig. 4 試聴フォームの実行画面

①～⑥の各機能の働きを以下に示す。

- ① 曲選択用のプルダウンメニュー
- ② 楽譜を表示するためのスペース
- ③ 試聴を開始するためのボタン
- ④ 試聴を中断するためのボタン
- ⑤ 楽譜の音名表示を変更するためのトグルボタン
- ⑥ フォームを閉じるためのボタン

また、操作の流れは以下のとおりである。

- (1) **曲選択** 学習者は、①のプルダウンメニューから演奏したい曲を選択する。
- (2) **楽譜表示** システムは、学習者が(1)で選択した曲の楽譜を②のスペースに表示する。学習者がボタン⑤を押すと音名入りの楽譜に変更することができる。なお、試聴フォームの呼び出し時は、メインフォームで表示していた楽譜がそのまま表示される。
- (3) **試聴** 学習者がボタン③を押すとバーが動き出し、試聴を開始する。

2.3 システムの内部設計

本システムは Visual Basic.NET を用いて開発した。また、多くの学習者に気軽に学習してもらうために、新たに演奏用のインターフェースを用意することなく、PCのキーボードで演奏する方法を用

いる。キーボードの配置は音階と同じ並びとし、規則性を持たせることによって、配置を覚えやすくする。図5にキーと音との関係を示す。



Fig. 5 キーボードと音の関係

MSLシステムは読譜初心者用なので、音域を広くせず、音はド(オクターブ下)～レ(オクターブ上)とする。

本システムではゲーム性を取り入れるため、演奏しながらリアルタイムに判定表示を行う。また、演奏後、判定を見返して再学習できるように、判定は表示させたままとする。判定表示は以下の3つについて行う。

- (1) 音が正しいか
- (2) キーを押すタイミングが正しいか
- (3) キーを離すタイミングが正しいか

(3)については、正しい長さでキーを押さえる行為を学習者に求めることによって、学習者が音価を自然に覚えることができると考えたからである。(1)と(2)の判定は音符の上、(3)の判定は音符の下に表示する。

キーを押した時刻を t_1 、押すべき正しい時刻を t_2 としたときに以下の式を満たすときのみ正解として判定する。なお、4分音符1拍を1.0秒、8分音符1拍を0.5秒とする。

$$|t_1 - t_2| \leq 0.4 \text{ (秒)}$$

図6の色がついた箇所、つまり、 $t_1 \pm 0.4$ 秒以上の範囲を判定範囲に含めると、学習者が押したつもの音がどの音符なのかシステムが判断することができず、その前後の音に対する判定をしてしまう可能性が考えられるため、 $|t_1 - t_2| \leq 0.4$ (秒)とする。

以下(1)～(3)に、判定表示例を示す。

- (1) 音が正しいか 音が間違っているときのみ図7のように×印で表示する。

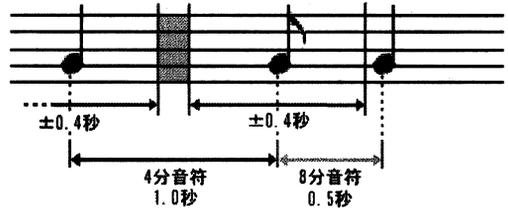


Fig. 6 判定を行う範囲



Fig. 7 音が間違いの場合の表示

- (2) キーを押すタイミングが正しいか キーを押した時刻を t_1 、キーを押す正しい時刻を t_2 としたときに、以下の式で判定分けを行う。また、式を図に表したものを図8に、各判定表示を図9、図10、図11に示す。なお、単位は秒とする。

- タイミングが正しいとき

$$t_2 - 0.1 \leq t_1 \leq t_2 + 0.1$$

- タイミングが早いとき

$$t_2 - 0.4 \leq t_1 < t_2 - 0.1$$

- タイミングが遅いとき

$$t_2 + 0.1 < t_1 \leq t_2 + 0.4$$

MSLシステムでは、読譜初心者を学習対象者としている。そのため、厳密に判定を行うのではなく、大まかなリズムで演奏を行うことができていると判断する。よって、タイミングが正しいときの判定に幅を持たせ、 $t_2 - 0.1 \leq t_1 \leq t_2 + 0.1$ とする。

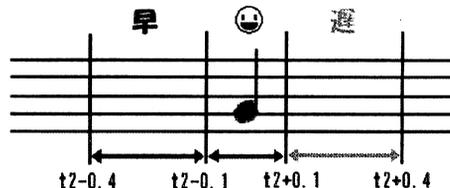


Fig. 8 キーを押すタイミングの判定



早

遅

Fig. 9 正しい Fig. 10 早い Fig. 11 遅い

(3) キーを離すタイミングが正しいか 判定は (a) 8分音符以外するとき, (b) 8分音符のときに分ける. 8分音符は一拍の長さが0.5秒と短いので, (a)の判定分けの方法では正しい判定を行うことができないためである. キーを離した時刻を t_3 , 次の音のキーを押す正しい時刻を t_4 としたときに, 以下の式で判定分けを行う. また, 式の表す範囲を (a) 図 12, (b) 図 13 に, 各判定表示を図 14, 図 15, 図 16 に示す. なお, 単位は秒とする.

(a) 8分音符以外するとき

- タイミングが正しいとき

$$t_4 - 0.4 \leq t_3 < t_4$$

- タイミングが早いとき

$$t_3 < t_4 - 0.4$$

- タイミングが遅いとき

$$t_4 \leq t_3$$

4分音符の1拍の長さを1.0秒と仮定する. このとき, 拍を数える際, 「タン, タン, タン, ...」と数えると, 「タ」の長さが0.4秒となる⁴⁾. それゆえ, 0.4秒以上キーを押しているならば, 1拍を数えながら演奏していると考えられる. また, 次の音が出てくるまでキーを押していることも1拍を理解できていると言える. よって, キーを離す正しいタイミングを $t_4 - 0.4 \leq t_3 < t_4$ とする.

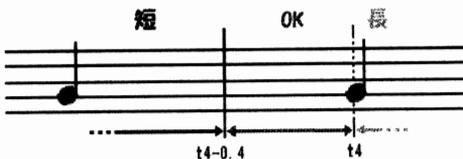


Fig. 12 8分音符以外のキーを離すタイミングの判定

(b) 8分音符のとき

- タイミングが正しいとき

$$t_4 - 0.2 \leq t_3 < t_4$$

- タイミングが早いとき

$$t_3 < t_4 - 0.2$$

- タイミングが遅いとき

$$t_4 \leq t_3$$

8分音符のときも (a) と同様に, 拍を数える際, 「タン, タン, タン, ...」と数えると, 「タ」の長さが0.2秒となる⁴⁾. それゆえ, キーを離す正しいタイミングを $t_4 - 0.2 \leq t_3 < t_4$ とする.



Fig. 13 8分音符のキーを離すタイミングの判定

OK 短 長

Fig. 14 正しい Fig. 15 早い Fig. 16 遅い

学習者が読譜のレベルを定量的に判断できるように点数による判定も行う. また, 視覚的にも分かりやすく判断できるように, 音高に関して横軸, 音価に関して縦軸とした2次元のグラフに結果を表示する. さらに, 学習を行った練習成果を実感できるように得点の履歴をグラフに残す. 音高や音価を間違えた場合は, キーを押せなかった場合と比べて, 判定が表示されるため次の学習に活かすことができると考え, 点数を与えることとする. しかし, その配点を高く設定すると, 正しい演奏を行おうとする学習意欲の低下につながってしまう恐れがあるため, 配点を低く設定する.

- 正しいとき → 100点
- 間違えたとき → 10点
- 押せなかったとき → 0点

3 システムの評価

3.1 実験内容

本実験の目的は、MSLシステムが音高および音価の学習に有効であるシステムを設計および開発し、その有効性を検証することである。比較対象として、楽譜全体に渡ってバーがスクロールし、すべてバーにタイミングを合わせて演奏するMSLBシステムを作成した。MSLシステムとMSLBシステムとを比較し、バーの動き方の違いによって、実際に音高あるいは音価の学習に差が生じるのかを検証する。また、バーの動き方以外の要素で学習効果に差が出ないように、その他の仕組みはMSLと同じように設計した。

実験は読譜初心者の成人20名に対して行った。本実験では、MSLシステムを使うグループと、MSLBシステムを使うグループとに分け、両グループのテストの得点の伸びを比較することで目的の検証を行う。評価実験の流れを図17に示す。

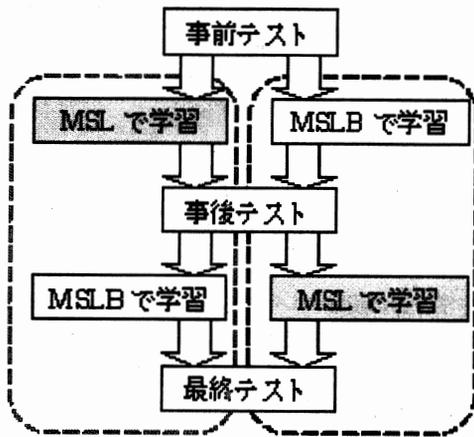


Fig. 17 評価実験の流れ

- (1) 事前テスト テスト用に作成した曲をMSLで演奏させ、これを事前テストとした。この結果を元に、各グループの成績がほぼ同じになるようにA, B, それぞれ10人ずつ、2つのグループに分けた。
- (2) 学習(15分) グループA:MSLを用いて15分自由に学習時間を与えた。グループB:MSLBを用いて15分自由に学習時間を与えた。

Table 1 音高の平均点

| グループ | 事前 | 事後 | 最終 |
|------|------|------|------|
| A | 27.9 | 53.2 | 55.9 |
| B | 24.7 | 40.7 | 60.9 |

- (3) 事後テスト テスト用に作成した曲をMSLで演奏させ、この得点を事後テストの結果とした。
- (4) 学習(15分) グループA:MSLBを用いて15分自由に学習時間を与えた。グループB:MSLを用いて15分自由に学習時間を与えた。
- (5) 最終テスト テスト用に作成した曲をMSLで演奏させ、この得点を最終テストの結果とした。

3.2 実験結果

実験では、各グループが3回ずつテストを行った。両グループの各テストの音高の平均点を表1に、平均点の推移を図18に示す。なお、得点は100点満点である。

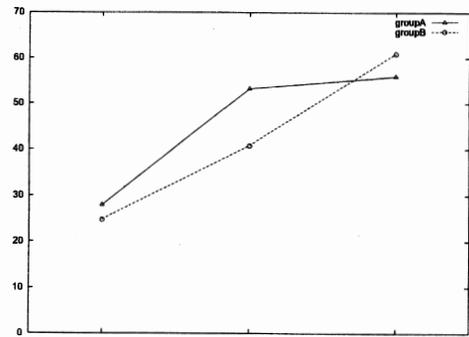


Fig. 18 音高の平均点の推移

表1の結果において、音高の得点の伸びに対して、有意水準を5%としてt検定を行った。その結果、グループAの事前テストから事後テストにおける伸びと、グループBの事前テストから事後テストにおける伸び、事後テストから最終テストにおける伸びにおいて、信頼度95%で有意差が見られた。このことから、MSLシステムは音高の学習に効果があることが分かった。

Table 2 音価の平均点

| グループ | 事前 | 事後 | 最終 |
|------|------|------|------|
| A | 33.7 | 49.6 | 51.3 |
| B | 36.5 | 41.2 | 54.3 |

次に両グループの各テストの音価の平均点を表 2 に、平均点の推移を図 19 に示す。なお、得点は 100 点満点である。

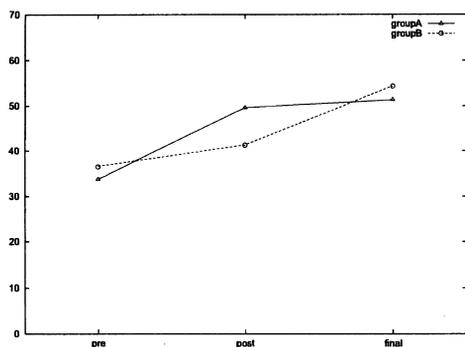


Fig. 19 音価の平均点の推移

表 2 の結果において、音価の得点の伸びに対して、有意水準を 5 % として t 検定を行った。その結果、グループ A の事前テストから事後テストにおける伸びと、グループ B の事後テストから最終テストにおける伸びにおいて、信頼度 95 % で有意差が見られた。このことから、MSL システムが音価の学習にも効果があることが分かった。

4 まとめ

本研究では、演奏しながら読譜学習を行うことができる教育用システムである MSL を設計、実現した。

設計の際には、以下の点に留意した。

- (1) **楽譜を全表示する** 実際に演奏するときは楽譜の先を見ながら演奏するので、楽譜は全表示とする。
- (2) **音名入りの楽譜表示の選択** 初心者に対する道標として音名入りの楽譜を用意する。しかし、音名だけを追うのを避けるため、楽譜の表示は選択性とする。

(3) **演奏中にメトロノームを鳴らす** これは、学習者が自分で拍を数えながら演奏するように促すためである。

(4) **判定方法** 演奏した後、判定を見返して再学習できるように、判定は表示させたままとする。

(5) **バーの動き** 学習時、バーが楽譜上を右へスクロールし、バーが音符の位置に来たときにタイミングを合わせて弾く。しかし、タイミングを合わせるだけでは学習者が音価を覚えることができないので、楽譜の 2 段目からは演奏箇所の小節全体に色をつけ、音価を考えながら演奏する設計とする。

また、読譜初心者 20 名に対して評価実験を行った。結果に対して t 検定を行い、以下を確認した。

- MSL システムが信頼度 95 % で音高の学習に効果があること
- MSL システムが信頼度 95 % で音価の学習に効果があること

今後の課題として、以下の点がある。

(1) **追加実験** 音価の学習に対する有効性を持たせた MSL システムによって、音高の学習にも有意な差が生じた原因をさぐる必要がある。

(2) **判定方法の改善** 同じ曲を繰り返し学習する際、前に間違えた箇所は何らかの表示を行うことによって、再学習に重点を置くことがあげられる。また、判定の段階を細かく増やすことによって、より正しいリズムの学習への効果が期待できる。

(3) **発展学習** 発展学習として、記号を増やした詳しい楽譜を用いることによって、音高と音価以外の記号の学習につながると考えられる。また、電子楽器を用い、読譜学習および楽器の奏法学習を並行して行えるシステムの作成も今後の課題である。

参考文献

- 1) 三浦祥太郎：読譜力を獲得するための初心者音楽教育ソフトウェア、東京農工大学工学部卒業論文、2005。

- 2) 実用音楽用語辞典, ドレミ出版社, 2004.
- 3) 板倉稔: はじめての楽譜入門, 西東社, 1997.
- 4) 吉田眞由美: はじめての楽譜, 永岡書店, 1995.
- 5) 林晴比古: 新 Visual Basic.NET 入門, ソフトバンクパブリッシング株式会社, 2004.
- 6) YAMAHA・1週間で楽譜を読めるようになろう,
[http://www.yamaha.co.jp/edu/play/gakufu/
index.html](http://www.yamaha.co.jp/edu/play/gakufu/index.html)
- 7) 読譜練習ソフト・音めちゃん,
[http://f25.aaa.livedoor.jp/~minazo/otome
/otome.html](http://f25.aaa.livedoor.jp/~minazo/otome/otome.html)
- 8) 音感トレーナー・そらみ先生,
<http://www.shiojiri.ne.jp/takumi/>
- 9) KAWAI・ピアノマスター,
[http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/
index.htm](http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/index.htm)
- 10) 武藤駿雄: 英単語連想記憶術, 第1集, 青春出版, 1998.
- 11) RBR・音楽のコース,
<http://www.rbr-art.com/sitemap/music-j.html>
- 12) 小寺平治: ゼロから学ぶ統計解析, 講談社, 2002.