

## Hyper Cardによる音階構造理解のためのソフトウェア開発について

森田 信一  
(十文字学園女子短期大学)

小倉 隆一郎  
(秋草学園短期大学)

小田 淳一  
(東京外国語大学)

今日の音楽文化の隆盛は楽譜（五線譜）の存在に負うところが大きい。一般の音楽教育における読譜指導には様々な問題点が見られる。読譜能力とは楽譜を見て正確に歌えることであるが、義務教育終了時で読譜能力のある者はかなり少ないのが現状である。その理由の一つは、五線譜が音高に対応した等間隔の尺度ではなく、音階構造を反映したものであるということである。本研究では、初学者のスムーズな読譜能力修得のために、音高システムのイメージを遊びながら感覚的に把握して音階構造を理解させるためのソフトウェアを Hyper Card を用いて開発した。試用の結果、半音を基本単位とした図示により、音階構造を自然に把握させる効果があった。

CAI System with Hyper Card  
for Understanding Musical Scale Structure

Shin'ichi MORITA	Ryu'ichiro OGURA	Jun'ichi ODA
Dep. of Liberal Arts, Jumonji Junior College	Dep. of Preschool Children's Education, Akikusa Junior College	Institute for the study of Languages and Cultures of Asia and Africa, Tokyo University of Foreign Studies
2-1-28 Sugasawa, Niiza, Saitama 352, Japan	1789 Izumimachi, Tokorozawa Saitama 359, Japan	4-51-21 Nishigahara, Kitaku, Tokyo 114, Japan

Training of musical score reading in school education is not adequate, and as a result few children can read music at the end of compulsory education. One of the causes is that the staff notation, given at the beginning of training, is not a scale at regular intervals of *pitch*, but a measure which corresponds to a structure of *musical scale*. We have developed a CAI system with *Hyper Card* and its graphical representation of pitch, shown in standard units of chromatic intervals, can enable a beginner to understand spontaneously the structure of the musical scale.

## 1 はじめに

人間の文化所産の中で音楽は最も広範に享受されているものの一つであろう。また、音楽におけるコンピュータ利用も最近では急速に普及しており、個人レベルにおいても、享受＝消費から作曲・演奏＝生産への構造的な変化さえ窺われる状況である。このような状況を可能にした要因の一つが音楽の記号表現体系である「楽譜」の存在に他ならない。尤も、今日一般的な意味における「楽譜」が、西洋音楽の記譜法（五線譜）のみを指しており、他の記譜法（日本の口唱歌等）による音楽や、記譜法自体を持たない音楽が「民族音楽」という簡便な呼称でひとまとめにされている現状には些か問題がある。しかし、いずれにしても楽譜が機能的にかなり完成された音楽の表現体系であることにかわりはなく、今後の音楽所産の受給も楽譜と深く関わってゆくことは確かである。

他方、楽譜を「読む」能力については状況が異なっており、楽譜を正確に読むことのできる人の比率は、音楽を学ぶ義務教育期間を勘案するとかなり低いものと思われる。本研究は、読譜能力が修得されにくい現状の要因について述べると共に、初学者（特に児童）の読譜能力の修得を容易にするために Hyper Card を用いて開発した音階構造理解のためのソフトウェアについて紹介する。

## 2 読譜能力とは

「楽譜が読める」とはどういう事であろうか。これは現実には「楽譜を見て歌えること」、すなわち「視唱ができること」と定義できる。但し、何らかの楽器を用いて楽譜を演奏することができても、それは「楽譜が読める」ことにはならない。なぜなら、楽器による演奏とは本質的に「機械操作」の側面が優位だからである。要は、楽譜を見て頭の中にその譜が指し示している音が響かなくてはならない。楽器を用いた場合は、例えばキーを押さえるという二次的操作によって、楽譜の記号と身体的操作が「音を介さず」一定の音高を

生み出すことになる。従って、読譜能力を確かめる最も基本的な方法は、楽譜を見て楽譜通りに歌えるかどうかに尽きる。このことは、ロベルト・シューマンが「音楽の座右銘」で次のように簡潔に述べている通りである。

たとえ声がよくななくても、楽器の助けをかりないで、譜面をみて歌えるようになること。

〔中略〕譜をみただけで、音楽がわかるようにならないといけない。<sup>1)</sup>

しかし、頭の中で音が鳴っていてもその通りに歌えない場合もあるが、これは「歌唱能力」の問題であって読譜能力があることに変わりはない。更に、単音では頭の中に音のイメージが響かない人でも、幾つかの音の連なり、すなわち旋律が構成されると歌える場合がある。このような場合は絶対的な音高が楽譜のそれと一致しないことが多いものの、旋律が頭の中に響けば楽譜が読めると言ってもよい。また、楽譜の示す音が頭の中で再現されるということは、逆に、頭の中で鳴っている音を楽譜に記述できることを含意している。このことは伝統的なソルフェージュ教育が目指していることと同じであり、「読譜能力」とは最終的には楽譜が「書ける」ことをも含むのである。

以上、読譜能力について簡単な規定を行なったが、音楽教育においてこれらの読譜能力をどのように修得させているかについて次節で述べる。

## 3 音楽教育における読譜指導の現状

「学習指導要領」の音楽では、小学校第1学年から既に楽譜の学習を導入しており、高学年に向かって徐々に読譜能力の修得をさせるように指示している。歌唱の指導には、教師が歌って生徒が模唱あるいは暗唱する「聴唱法」、楽譜を基に独力で歌う「視唱法」とがあり、小学校低学年では主として聴唱法を、また中・高学年では両方を適宜取り入れて読譜指導を行っている。<sup>2)</sup> 中学校になると読譜指導の内容は幾分抽象的になり、音階

や調性などは「楽曲を特徴付けている音楽の諸要素の働き」の一つに還元され、それが音楽の表現とどのようにかかわっているかを「感覚的」に捉えさせることに重きが置かれている。<sup>3)</sup>この結果、とは一概に言えないが、義務教育終了後も、半分以上の児童は楽譜が読めないのが現状である。例えば、読譜能力とは直接的に関連はないものの、相補的には深く関わっている「歌唱能力」について、滋賀大学の法岡淑子助教授が行なった興味深い調査がある。<sup>4)</sup>愛知県内の幼稚園、小・中学生約三千人を対象に「音痴」の比率を調査した結果、四歳児では男子55.9%、女子32.5%、中学3年生では男子21.9%、女子2.7%という値が出ている。「読譜能力のある音痴」がほとんどなく、「読譜能力のない非音痴」が往々にしてあることを考えると、この調査結果は、義務教育の読譜指導が必ずしも絶大な効果を挙げていないことを示すものであろう。

次に我々が実際に行なった調査結果について述べる。以下に挙げる図は、提示した楽譜（楽譜Aはハ長調8小節の簡単な旋律、楽譜Bは二長調8小節のやや複雑な旋律）を読めるか否かについてのアンケート結果である。

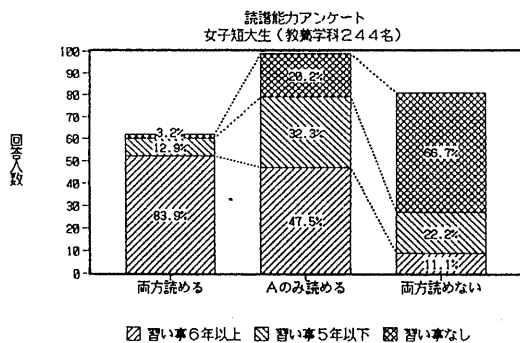


図1. 読譜能力のアンケート調査

調査対象としたのは女子短大の教養学科の学生(第2学年)244名である。結果は、「両方歌える」と回答したものが26%、「楽譜Aのみ歌える」

と回答したものが41%、「両方歌えない」と回答したものが33%であった。しかし、アンケート調査であることから、実際に歌わせた場合に、楽譜Aおよび/あるいは楽譜Bを歌えると回答した学生の中にも当然歌えない人数は含まれているものと考えられる。また、付属の設問として、ピアノなどの「習い事」の経験があればその年数も併せて記入させたが、結果を見る限り、「習い事」の経験の有無によって読譜能力に大きな差が出ている。<sup>5)</sup>これについては、上述した法岡助教授の調査でも「音楽のけいこごとで〔音痴の〕改善はされる」というコメントが付されており、「読譜」に関する限り、学校における音楽教育にはやはり問題があると言わざるを得ない。

#### 4 読譜能力修得の困難さとその解決手段

楽譜に盛り込まれた情報には様々なものがあるが、その中でも「音高」(振動数)と「音価」(持続時間)が最も重要な要素であろう。音高は五本の線を基準とした位置とその他の変化記号(♯、b)で表され、音価は音符の種類で表される(全音符、二分音符等々)。そして種々の音価が組み合わされていわゆる「リズム」を形成する。

音価についての理屈を理解することは比較的容易である。何故ならば、音価を表わす記号は、全音符から段階的にそれぞれ半分の値に縮減してゆくという簡単な理屈によるからである(図2)。

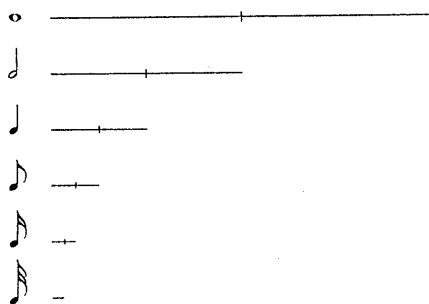


図2. 音価の種類と相対的値

但し、個々の音の音価について理解することができても、それを時間の流れの中で「拍」の中のリズム＝律動という形で捉えることは多少困難となる。時間の流れの中で捉えるということは、例えば、「大縄跳び」に入るときや出るときタイミングを捉える場合と似ている。頭の中で縄の動きを追っていても、回っている縄のリズムを捉えて飛び込まないとうまく飛べないことがある。これと同様に、リズムにのることは、音価を定量的に理解することとは別の技術なのである。従って、これは身体運動の問題に還元でき、運動を伴った訓練によって効果を上げることができる。

一方、音高については、まず音感の問題を考慮する必要がある。理想的な音高の絶対的認識能力、すなわち「絶対音感」は小学校低学年のうちに習得しないと、それ以降身につけることが極めて難しくなる。これに対して「相対音感」は年齢に拘らず身につけることができ、学習と共に更に確かなものになっていく。楽譜を完璧に読むには、双方の音感能力を相補的に必要とするが、小・中学校の集団授業でこれらを習得することはほとんど不可能であり、また実際的には、絶対音感専門の音楽家のみが必要とされるものであり、読譜能力の条件としては相対音感だけで充分であろう。

このように、約言すれば読譜能力とは、音感能力（絶対および／あるいは相対）によって、五線譜上の音高を正確に把握するということになるが、では読譜能力の修得がなぜ困難なのであろうか。音価についての理解が容易であることは上で既に述べたが、音高については、理解という段階から既に困難な問題が生じてくる。五線譜（表）とは、相対的な音高を記す五線に、基準となる音の高さを規定する音部記号（ト音記号、ヘ音記号、ハ音記号）を記入したものであり、Scaleという語が示す通り、一種の目盛り、尺度のようなものであるが、実際には単調増加的なグラフの目盛りではないことが、音階構造の理解を難しくする要因となっている。五線譜は、基本的には長音階（ドレミファソラシ）を目盛りとしている（図3）。

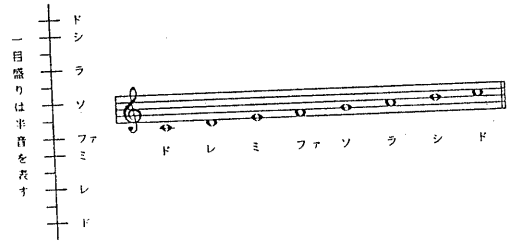


図3.半音程に基づく目盛と五線譜上の位置の比較

例えば、ピアノの鍵盤を考えた場合、五線譜に調号や臨時記号がない状態で表わされるのは、ハ調長音階あるいはイ調自然短音階、すなわち白鍵の7つの音である。ところが音階では隣合った2つの音の幅は等間隔ではない。つまり、半音<sup>6)</sup>を単位に考えれば、1オクターブは12の目盛りから成るが、ミからファの幅とシからドの幅は1目盛り、その他の幅は2目盛りとなっている。

このように、五線譜はグラフの目盛りのように見えるが、実は等間隔の目盛りではなく、音階の目盛りであるというところに誤解が生じ、楽譜の理解を困難にしているのである。例えば、ハ長調の旋律が移調された場合、実際の音高間の関係はそのままシフトされるが、五線譜上の関係は異なったものになる。五線譜を読む通常のトレーニングは、ピアノなどを用いて楽譜に書かれた音を鳴らし、これと同じ音程で歌うことから始める。しかし、音階構造が十分に把握されていない初歩段階での読譜は非常に困難な作業である。

従って、音楽の初学者に読譜能力を修得させるには、初めから五線譜を与えることは好ましくないものと思われる。その前段階として必要なのは、音の高低を、実際の音に忠実に対応した可視モデルで視覚的に理解させることである。長音階の隣合う音程間隔が下から、全音・全音・半音・全音・全音・全音・半音（全音＝半音＋半音）であることを直感的に把握した上で、全音と半音に関するイメージを十分に形成し、それからそのイメージを記号体系としての五線譜に投射することによって、正確な「読譜」が可能となるものと思われる。

しかし、音高の関係を図示し、それに説明を加えるだけでは、音階構造の十分な理解には仲々至らない。図示されたものと実際の音との関係を何らかの方法で確認し、かつその過程を試行錯誤することによって完全な理解に至る必要がある。我々はこのような学習環境を実現するためには、コンピュータを用いることが有効であると判断した。

#### 5 Hyper Card による音階構造理解ソフト

本研究においては、コンピュータを用いて音階構造の理解を促進させる対象を、3歳から10歳程度の児童としたため、操作環境の第一条件は「操作の容易性」である。また、「児童を対象とした音楽学習ソフト」という条件を考慮した場合、「音」と「絵」の双方について制御しやすい環境が必須となる。以上の理由から開発に際しては、アップル社の Macintosh を用いることとした。Macintosh の音と絵に対する積極的な取り組み姿勢には、他のパーソナル・コンピュータに見られないものがあることは言うまでもない。<sup>7)</sup>

Macintosh でこの種の開発を行う際、作画の強力なツールを備え、音に対しても配慮されていることから、ソフトウェアとしては Hyper Card が最適である。また Hyper Card には、強力なプログラム言語である Hyper Talk が用意され、作画した図やサンプリングした音を自由にコントロールできるようになっている。我々が子供に与えるソフトウェアの開発方針として考慮したのは、

- (1) ゲーム感覚で楽しんで操作でき、強制することなく子供が喜んで用いるものを作ること。
- (2) 楽しく遊ぶ中で、音高のシステムを自然に把握できること。

の2点である。教育用ソフトと言えども、使用を強制しなくては効果が出ないようなものは、いずれ使われなくなることは言うまでもなく、また児童が楽しく遊戯感覚で使えることがこの種のソフトウェアの第一条件であり、特に音高システムの把握という、概念と感覚器官が結び付いた学習は無意識のうちに修得されることが望ましい。

これらの方針に基づいて我々が開発したのは、設定レベルによって異なる2種類のソフトウェアである。

レベル1のものは、音と絵で遊ぶことを主目的として、子供が長時間飽きないで操作できることを第一条件とした。そのために、キーボードは取り外してキー操作によるコマンド入力は避け、マウスによる入力のみとした。このレベル1で学ぶ内容は、画面上で上方向には高い音、下方向には低い音が鳴るといった音高の基本原則である。<sup>8)</sup> この原則をあらゆるカードに徹底的に組み込み、音高の高低を感覚的に学習できるように考慮した。また、ここでは文字は極力使わないことを心掛けた。つまり音と絵のみで構成するソフトウェアである。

各カードの作成に際し、絵については Hyper Card に用意されている作画ツールを用いて描き、特に幼児に親しみやすいものを選んだ。音については、Macintosh に用意されている3種類の音源 (Harpsichord, Boing, Flute) 以外にも、物を叩いた音、喋り声、シンセサイザーの音などの現実音をサンプリングして使った。Hyper Talk にはこれらの音の音高を半音単位で上下させる命令が用意されているため、多彩な音を作ることが出来る。そして各カードの絵の色々な場所をクリックすると、様々な音が出たり、また、別のカードへ切り替えるボタン機能となるよう作成した。



図4. レベル1のカード例

図4には星がたくさん描かれているが、それぞれの星をクリックすると音が出て、しかも画面上の位置によって音高が区別されている。右上の小さな星、右下のタンポポ、左下の蛇の絵は、別のカードへの移動ボタンである。

レベル2のものは、やはりマウスのみを使い、楽しめるという要素は勿論であるが、それに加えて、半音を単位とした音高の構造を様々な形で図示し、その構造の上に音階というスケールが乗っている図を、階名（ドレミファソラシ）を伴って示したものである。このレベルでは、半音を単位とした階段状の図を用いて色々遊べるように工夫されており、これによって音高の実際の幅についての視覚的な理解を促すことを狙っている。そして最終的な目標は、音階が、基本単位である半音の「階段」の1段と2段の組合せで構成されていることでの理解である。

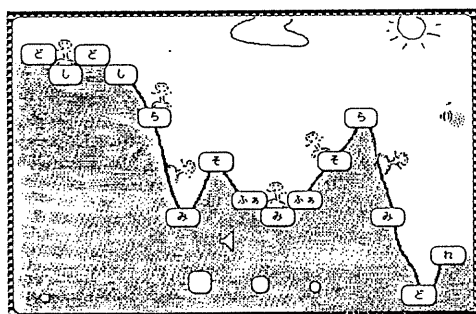


図5. レベル2のカード例

なお、これらのソフトウェアの使用に際しては、一度や二度の使用ではなく、何度も繰り返して用いる過程で、音高のシステムと音階構造との関連を視覚的に、徐々に理解してゆくことが必要である。

## 6 試用結果と評価

開発したソフトウェアの効果を見るために、本

研究では数人の児童を対象に、一週間に1回30分から1時間程度、実際に試用させた。限られた条件下での試用ということから統計的に大がかりな調査はできなかったが、音楽経験や年齢、性別の異なった二つの事例について報告する。

### 6.1 5歳の男子の事例

まず音楽経験の比較的浅い5歳の男子について、継続して使わせる機会を得て観察を行なった。初めにレベル1のものを与えて操作の過程を観察させた。その際、上述の通りマウスだけを接続し、操作方法についてもほとんど情報を与えず、自由に操作させた。子供はマウスの使い方をすぐに理解し、画面の色々な部分をクリックするうちに、ある場所では音が鳴り、ある場所では別のカードへ移るということに興味を持ち、飽きずに操作を続けが、特に別のカードへの移動に強い関心を示した。カードは29枚作成してあり、カード間の移動については複雑な設計を行なったので、様々な場面で思いがけないカードへ移動することになる。子供は夢中になって試みているうちに次第に学習し、各カードのどの箇所をクリックすればどのカードへ行けるかということについての知識を得ていく。音についても徐々に、どこでどのような音が出るかを覚えていった。また学習段階の児童によく見られることであるが、プログラムの構成（カードの移り方や音の出方を）を把握するに従って、友人や大人に教えたいという欲求を持つようになった。三ヶ月ほど同じソフトウェアを使わせた後、かなり内容を覚えてきたので、レベル2のものを与えた。ここでは階名（ドレミファソラシ）がひらがなで表示してあり、音程の最小単位である半音を視覚的に理解できるような図を用いて表示してある。それらの音で遊びながら、子供はここでもカード間を移動していくことに夢中になった。このレベルではカードは12枚で構成してあるが、次のカードへは簡単には移れないように設計してあるので、始めはかなり苦労していた。やがて移動のためのトリックを発見して次々

に移動できるようになったが、前のレベルよりは1枚のカードの内容が複雑なので、「移動」よりもカードの中で遊ぶ場合が多く見られた。このためか、表示されている「どれみふぁそらし」により関心を持つようになり、階名を口ずさみながら遊ぶようになった。一般に、男子の方がカード間の「移動」に関心を示し、女子はそれよりも「音」で遊ぶという傾向が強いようである。

## 6.2 10歳の女子の事例

次に、ピアノを過去4年間学習し、現在も続けている10歳の女子についての事例を挙げる。彼女は、Hyper Cardについては、他のゲーム的なプログラムで遊んだ経験があり、ハードの操作（マウスのクリック、ダブル・クリック、ドラッグ等）には慣れている。また、カード上のボタンをクリックすると何か起きるということは既に理解している。約二ヶ月にわたって計7回、レベル2のプログラムを与えて観察を行なった。音楽に関するプログラムであることは告げないで始めたが、最初のカードで、「木」の絵の上下を数回クリックするうちに、上にいくに従って音程が高くなることにはすぐに気が付いた。そして意外にも、「木」のボタンに並べられた音を使って音階を作って遊ぶことを始めた。更に、簡単なメロディーを演奏することも試みた。また、左右の「木」の音色が違うこと、画面の同じ高さをクリックすると、右の方が高い音が出ることを指摘した。カード間の移動に関しては、最初のカードで、スピーカ型のボタンを順にクリックしないと次のカードへ移れないことを発見するのに20分程度要したが、2枚目以降は、楽にカードをめくることができるようになった。2枚目はマウスのポインタを「どれみふぁ〜」のボタンに移動するだけでクリックしないで発音するので、半音階と長音階を速いスピードで鳴らすことを試していた。3枚目は簡単なシーケンサーになっているが、順方向だけではなく逆方向にもシーケンスできるように作成しており、特に逆方向の演奏に興味を持ち、自分で一度、

逆方向にメロディーを「歌ってから」、その音列を確かめるように音を鳴らしていた。5枚目では、「動」と書いたボタンをドラッグすると好きな場所へ移動できることに思いのほか早く気付いている。6枚目は「春が来た」の前半のメロディーのみが表示されており、後半のメロディー表示が無いので、どこかのボタンをクリックすると出て来るものと思い長時間試していた（実際には後半のメロディー部分の表示は無い）。この段階まで進むと、次の7枚目の絵を見た直後に、「釣鐘」の並びが音階になっていることを発見する。すなわち、「ミファ」と「シド」の間が半音程で、鐘が連結されていることを理解してそれを指摘した。これは、それまでの6枚のカードを学習したことによって、音階構造が視覚的に把握されていることを証明するものであろう。8枚目は、輪になった「どれみふぁ〜」のボタンを、半音階または長音階で鳴らすものであるが、半音階が新鮮に聴こえるのか盛んに試していた。10枚目はランダムに配置された音名のボタンをクリックすることによって、本来の正しい位置にボタンを並び替えるプログラムであるが、これに対しては深く興味を持った様子で、熱心に何度も試していた。

以上、個別的ではあるが、上で挙げた二つの試用事例を見ると、所期の目標、すなわち「楽しく遊ぶ」ということについては、クリックで音が出る><絵が動く><次のカードへ移る>というボタン機能の活用によって「次々と新しい興味を呼び起こす」ことから、ある程度は達成できた。また、「音階構造を自然に把握できること」についても、半音を基本単位とした図示によって、従来の五線譜による指導と比較して、より容易になされたと言えよう。結局は、子供が飽きることなくめくってゆくカードの中に、音高についての視覚的・聴覚的情報を様々な形で潜ませることによって、無理なく音階構造を理解させるに至ったことが評価できるものと思われる。更に、このプログラムを長期間にわたって用いることによって、音感に対する効果も期待できることから、読譜能力

の箇所ですべてのように「譜面を見て頭の中で音が鳴る」こと、すなわちソルフェージュ能力の育成にも有用であると考えられる。

## 7 おわりに

このプログラムの開発にあたっては、上述した種々の理由から Hyper Card を用いたが、遊びの中から音高についての視覚的なイメージを与えようという今回の目的にとって、絵と音を容易に制御できる Hyper Card は非常に適していたと言える。特に現実音をサンプリングして用いるなど、音に関わる機能は他の機種と比較して特に飛び抜けている。また、電源投入後、プログラムを立ち上げ、終了するまでキーボードを一切使用せずに、コンピュータ本体とマウスのみという構成で運用できることは、幼児から大人まで幅広く使えるという点で、本研究の意図に適していると言える。

今後はより多くの被験者を長期にわたって、幼稚園や小学校といった学校環境において観察すると共に、プリテスト及びポストテストの設定、あるいはプログラムを用いないグループとの比較等、より綿密な調査を実施し、本プログラムが実際の読譜学習及び一般的な音楽学習にどのような効果を与え得るかについて分析してゆくつもりである。また、現在我々は、レベル3以降のプログラムを開発中であり、それによって、音高の視覚的な理解から、記号としての五線譜の理解へと本プログラムの射程を発展させる予定である。

### 【注及び参考文献】

- 1) ロベルト・シューマン：『音楽と音楽家』、吉田秀和訳、岩波文庫、1958、p.196。
- 2) 小学校学習指導要領第2章第6節音楽
- 3) 中学校学習指導要領第2章第5節音楽
- 4) 朝日新聞平成4年7月28日。
- 5) この調査は女子短大で実施したので、男子による回答は当然含まれていない。男子が音楽の

「習い事」をする率が低いことを考えると、男子を含めた調査を行なった場合、読譜ができる割合はこの結果よりもかなり低くなるものと思われる。

- 6) ここで言う「半音」音程は音の振動数の目盛りとは一致していない。等しい幅の音程は振動数で見ると指数的に増加するものである。音程は通常、Alexander Ellisによるセント (cent) という単位で表されるが、これによれば半音は100centとなる。centと振動数との関係は(常用対数によって)

$$\text{cent} = \frac{1200}{\log_{10} 2} \times \log_{10} \frac{f}{f_0}$$

となる。これは、 $f$  (Hz)と $f_0$  (Hz)の間の音程である。

- 7) 『アラン・ケイ』、アスキー出版局、1992。
- 8) 上方向が高い音、下方向が低い音という原則が初学者にとって必ずしも既知の事実でないことは次の文献においても触れられている。  
J. L. マーセル/M. グレーン：『音楽教育心理学』、供田武嘉津訳、音楽之友社、1965、p.131。  
E. ゴードン：『音楽教育の心理学』、久原慶恵子訳(徳丸吉彦監訳)、カワイ楽譜、1973、p.144。  
特に後者は次のように明確に示している。

「より高い音高は譜表上で上のほうに記譜されるのだが、このことは年少のきき手には明らかではない。実際問題として、大人によって「上へ」と考えられているものは、ピアノでの演奏をみたときには、音楽経験の少ない生徒たちにとっては、「右手のほうへ」であるかもしれない。聴覚的知覚の技能としてレディネスを発達させた後でだけ、生徒たちは主として記譜法と連合しているあれこれの抽象的用語の意味を良く解釈することができる。」