

音楽演奏の音響分析指導に関する一考察

一文系，音楽系大学生を対象とした最初期段階

荒川 恵子

(教育学科助教授)

太田 公子

(独立行政法人 情報通信研究機構 知識創成コミュニケーション研究センター)

序 音楽演奏の音響分析の必然性と可能性

音楽は、音という、鳴り響いては消えていく、時間とともにうつろいゆくとらえどころのない素材によって構成されている芸術である。しかし、コンピュータを利用して音響分析を行えば、そのとらえどころのない音を、数値及び画像情報という形あるものに変換して視覚化することができる。それによって、音に含まれる様々な芸術情報を抽出し、我々の感性的側面を明らかにすることが可能となり、同時に、演奏に関して他者と議論できる土台を提供することも可能にする。音響分析によって、演奏音を数値及び画像情報として視覚化することは、音楽理解、音楽教育の観点から有意義であるのみならず、広範囲に応用できる情報リテラシーの習得にもつながり、多岐にわたって有意義であることが認められよう。

本稿は、音響学、情報工学系の知識があまり豊富ではないと推測される文系、音楽系大学生に向けて、音楽演奏（西洋音楽）の音響分析を指導する際の最初期段階の方法に関して論じることを目標とする。まず、各学問領域において、音楽演奏の音響分析がどのように研究に導入されているのかに関して簡単に整理することから始めたい。

1. 各学問領域における音響分析を導入した演奏研究の現在

1.1 音楽学における動向

音楽に関するあらゆる事象を研究する学問領

域として音楽学がある。本稿では、西洋音楽の演奏に関する音響分析に関して論じようとしている為、西洋音楽研究に限って話を進める。この分野では、従来、資料研究や楽曲分析による作品研究、作曲家研究などが正統派として主流を占めてきた。しかし、20世紀末、従来の価値観に対する深い反省と価値転換が起こった結果、西洋音楽を「芸術音楽」としてのみとらえる姿勢が薄らいできた。文化全体の枠組みやその社会的性格を問題にするような研究が増加し、民族音楽学やポピュラー音楽研究が用いてきた社会学や文化人類学的アプローチの導入、ジェンダー論の視点の導入、心理学との学際的な研究等、様々な新たな研究領域が生まれてきた。音楽学におけるこの新しい学問的潮流の一つとして挙げられるのが、1990年代以降、しばしば見られる音楽演奏の音響分析を導入した演奏史研究であると言えるであろう。(荒川 1994a, 1994b, 1999, Bowen 1996, 1999, Gottschewski 1991, 1996, Philip 1992, 1994, 2004, 渡辺 1990a, 1990b, 1992, 2001など)

これらの研究では、残存している20世紀初頭以降の歴史的名演奏家の録音資料の音響分析を行い、演奏表現様式の変容状況を解明することを目的としている。従って、異なる演奏家による同一曲の録音資料を収集し、音楽的有意味区分を抽出しての演奏様式比較が行われている。導入されている音響分析技術に関しては、ごく初歩的なものがほとんどであり、主に演奏のテンポ変化をストップウォッチ、音響分析機器のレベルレコーダ、コンピュータなどを用いて計測している。

演奏の物理的ファクターのうち、テンポ変化が中心に扱われるのは、テンポは演奏様式を研究するうえで雄弁かつ重要なファクターであり、ミキシングの際に編集加工されている可能性も低く、音量、音色など他のファクターに比して圧倒的に取り組みやすいことが最大の要因である。テンポ計測後は、同一箇所の実測値比較をする、テンポ変化の時系列データを楽譜構造と照らし合わせて分析する、演奏の分類や歴史的変遷を調べるため、クラスター分析、分散分析などを用いるなど、研究の目的に応じて、それぞれに最も効果的な方法が導入されている。

音楽学における演奏研究の場合、音響分析は研究の主目的ではなく、目的にたどり着くための一手段である。データから明らかになった歴史的名演奏家による20世紀の演奏表現様式は、新即物主義など、時代を席卷した芸術思潮や共同体の文化観、個人の演奏観との関係、口頭伝承的演奏習慣の介在、モダン及びオリジナル楽器使用上の問題などと結びつけて考察が行われる。歴史的、文化史的、社会史的、芸術学的バックグラウンド、個々の楽曲の成立事情、異版問題、音楽ジャーナリズム、演奏実践及び演奏現場に関する知識が豊富であればあるほど、オリジナリティあふれる演奏研究を展開して堅固な理論構築をすることができる分野である。音楽学では、岡田 1995, 2003で提言されているように、演奏の本質について論じる為には、まず楽曲分析を行い、音楽構造と照らし合わせた上で個々の演奏家は各箇所をどのように表現しており、なぜそのように演奏しているのかを考察するのが、研究上の手続きとして不可欠であると考えられていると言えよう。

1.2 理・工学・情報科学系における動向

上記、音楽学における演奏研究の立脚点に対して、理・工学・情報科学系における音響分析を導入した演奏研究のそれは少々趣が違ふ。特に、音楽知覚認知、音楽情報処理、感性情報処理の研究領域において、演奏研究が行われる例が多いが、この場合、演奏そのものと文化を研究するというよりも、音楽という非常に複雑で

高度な情報を、人間というハードウェアがどのように情報処理しているのかを解明することに重点が置かれている。人間が音楽に関わる際の様々な問題が解明できれば、音楽以外の認知、知覚、情報処理のメカニズムをも解明することにつながるという視点から取り組まれることが多く、人工知能の研究とあいまって、大きな学問的潮流を受けてますます発展していく可能性が感じられる。

例えば、実際の演奏は、楽譜という共通テキストを使用しているにも関わらず、楽譜どおりには演奏されておらず、テンポその他のファクターにおいても、楽譜からの揺らぎを含んでいる。逆に、楽譜どおりに再現された演奏は、人間にとって実に無味乾燥で、機械的に聴こえてしまう。演奏家が、このように楽譜の指示から(芸術的な意図によって)逸脱して演奏していることを、音楽心理学者のシーショア (C. E. Seashore) は1938年に発表した *Psychology of Music* の中で「芸術的逸脱 (artistic deviation)」と呼び、このテーマは音楽知覚認知研究上、また工学的応用を視野に入れた音楽情報工学研究上、伝統的な研究テーマとなっている。これらの研究の際には、音楽学のように、歴史的名演奏家の傑出した特殊な表現を細部に渡って楽譜と照らし合わせて分析し、演奏家による表現の差異や歴史的変遷を見ようとするのではなく、演奏における普遍的法則性の存在を信じて、それを見いだそうとする。

音楽知覚認知系の芸術的逸脱の研究では、複数の演奏者による同一曲の演奏データを収集し、平均値を算出して、平均的な演奏の表現パターンや演奏相互の類似度を見ようとする。音楽情報工学系の演奏ルール抽出研究では、各演奏家の演奏の際の全体的な揺らぎパターンを算出、モデル化し、コンピュータに実装して「その演奏家らしさ (演奏家の個性)」が感じられる自動演奏をすることを最終目的としている。この場合、ある演奏者がAという曲の演奏の際に示した揺らぎパターンを算出、モデル化できれば、Bという曲の自動演奏の際に実装させる。つまり、ある演奏者の揺らぎパターンは、どの楽曲

の演奏においても同様の結果を示すという発想の元に研究を行っている。前述の音響心理学における研究同様、演奏表現には普遍性やルールが存在すると考えているからである。

次に、安藤 2003, 平賀 2003, 井口 2000, 井口・片寄 2000, 岩宮 2000, 長島他 1999, 難波 1990, 松島 2000, 大串 1996, 田口 1996, 谷口 2000, 辻 1997, 山田・西口 2004, 山田・吉川 2003, 吉川他 2001に基づき、このような音響心理学的、芸術情報工学的アプローチによる演奏研究に関して代表的な研究領域を挙げ、その動向を記しておく。各先行研究を文献に挙げたいところだが、膨大な量の為、割愛する。上記文献の引用文献欄を参照されたい。これらの研究領域では、コンピュータによる最新技術を駆使した分析が行われている。

a) 楽器音響, 建築音響

様々な音響分析技術を駆使して、楽器の物理的な音響を専門的に研究している分野だが、近年は楽器と演奏者をつなぎ、楽器演奏を制御するインターフェイス部（たとえば、ピアノ演奏の場合は、タッチを生み出す関節や指先を指す。）との関連を研究に組み込む必要性が課題視されている。また、演奏が行われる空間が楽器音響に与える影響、ホールの残響、吸音効果などに関しても、建築音響領域の中で研究されている。

b) 音楽知覚認知

心理学, 生理学, 情報工学, 音響学などのアプローチを用いて、人間がどのように音や音楽を知覚し、認知しているかを研究する分野であり、d), e)の領域とも関係が深い。研究内容は学際的、複合的であることが多いが、次のような研究がなされている。

聴覚の知覚的特性（音高・音色、音楽の時間的側面の知覚・認知など）
演奏表現に関する研究（芸術的逸脱、演奏の物理的・心理的類似度評価、演奏者の解釈一貫性、演奏意図伝達、聴取者の演奏に関する印象評定など）

音楽パターン知覚、楽曲の階層構造、プローブ音法による研究、音楽的能力、音楽性の発達、絶対音感、音楽と感情、歌声の知覚と分析、音楽知覚認知の生理学的基礎、神経心理学関連など。

c) コンピュータ技術とその音楽への応用

音合成システムの高度化の為に、音響処理の技術開発が行われている。その成果は、楽器として製品化される他、現代アート等、コンピュータインタラクティブとして応用されている。研究と芸術創造とが不即不離の関係で結びついている分野である。

d) 音楽情報処理

情報工学的アプローチによって、音楽の様々な側面を研究する分野であり、b), c), e)の領域とも関係が深い。自動演奏（演奏表現ルールの抽出、演奏の表情づけ、自動演奏コンテスト RENCON）、楽譜印刷、自動採譜、楽譜認識、自動作曲（特定の作曲家の音楽情報データベースから抽出した音楽的特徴を利用、自然界に存在する情報を音楽に置換するなど）、コンピューショナルモデルに基づく音楽認知などがある。近年、特に、新世代楽器（ジェスチャーを計測するセンサーをつけ、その情報を処理して表現）、自動伴奏システム（伴奏者であるコンピュータを人間のソリストに追従させる）、セッションシステム（即興性の高いジャムセッションを人間とコンピュータの間で実現）などインタラクションの研究が盛んに行われるようになってきている。

e) 感性情報処理

感性情報処理とは、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚を介して、我々が対象に抱く「美しい」「心地よい」「優しい」「力強い」といった形容詞によって表現される「情報の感性的側面」を研究対象とする新しい学問領域である。

情報科学は、従来、論理情報を研究することによって人間の脳機能の解明、人工知能の研究を行ってきたが、人間理解の為に、また、より

人間に近いコンピュータを作る為に「感性」が重要な側面であることが注目されるようになり、「感性情報」が、研究対象としてとらえられるようになった。1992年から3年間、文部省が重点領域研究に「感性情報処理の情報学・心理学的研究」を指定し、脳科学、心理学、情報工学、言語学等の研究者達が学際研究を行い、人間の「感性」の特性、構造の解明、感性情報の感性的側面の分析とモデル化、感性を介したコミュニケーションのありようの解明、感性情報処理アルゴリズム、システムの開発を目的とした研究が行われた(辻 1997)。音楽に関係のある研究としては、音楽演奏におけるテンポの揺らぎ等の演奏ファクターの分析とそれらが人間に与える印象についての研究、音楽と映像との相互作用についての研究、人間の即興演奏の「ノリ」に合わせて演奏を協調的に変化させるパートナーシステムの研究等があげられる。これら

は、上記 b) もしくは d) にも属する研究である。

この研究領域は、大きな枠組みでとらえることができ、たとえば、前述の音楽学における音響分析を導入した演奏研究も、演奏とは演奏家がある楽曲に関して最も美しくふさわしいとして行う感性表現であり、またそれは各時代の人間の感性による美的基準の影響も受けているという点を考慮すると、感性情報処理研究であるというとらえ方もできるであろう。

以上、見てきたように音響分析を導入した演奏研究は、様々な領域で行われている(表1参照)。使用されている分析技術も、ストップウォッチによるテンポ計測から、最新の情報解析技術まで様々である。本稿の後半では、文系、音楽系大学生を念頭において、コンピュータを少し使えば着手できる音響分析の指導方法の最初期段階に関して考察してみたい。

表1 音楽演奏の音響分析に関する研究情報が得られる学会(国内のみ)

学会名/雑誌名(URL)
情報処理学会/『情報処理』『情報処理学会論文誌(CD-ROM有)』『音楽情報科学研究会資料』(http://www.ipsj.or.jp)
電子情報通信学会/『電子情報通信学会誌(DVD版有)』『電子情報通信学会論文誌(CD-ROM有 基礎・境界:A, 通信:B, エレクトロニクス:C, 情報・システム:D)』 <i>IEICE Electronics Express (ELEX)</i> (http://www.ieice.org/jpn/index.html)
日本音楽学会/『音楽学』(http://wwwsoc.nii.ac.jp/msj4/)
日本音楽教育学会/『音楽教育学』『音楽教育実践ジャーナル』(http://wwwsoc.nii.ac.jp/jmes2/)
日本音楽知覚認知学会/『音楽知覚認知研究』 <i>Journal of Music Perception and Cognition</i> (http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsmpc/)
日本音楽表現学会/『音楽表現学』(http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~eeakita/kitayama/OHG-index.htm)
日本音響学会/『日本音響学会誌(CD-ROM有)』『音楽音響研究会資料』 <i>Acoustical Science and Technology</i> (http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/asj/)
日本感性工学会/『感性工学』『日本感性工学会誌 感性工学研究論文集』 <i>Kansei Engineering International</i> (http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jske/)
日本心理学会/『心理学研究』『心理学ワールド』 <i>Japanese Psychological Research</i> (http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jpa/)
日本知能情報ファジィ学会/『知能と情報』 <i>Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics</i> (http://www.j-soft.org/)

2. 音楽演奏の音響分析指導の前段階

2.1 「デジタル化」への理解を促す

まず、音楽演奏を数値化視覚化して音響分析する前段階として、現在では既に一般的に定着した感のある「デジタル」という概念を学生に徹底的に理解させるべきであろう。文系、音楽系大学生は、物理的知識に乏しい場合が多いので、より一層、原理を十分に理解させておく必要があると考える。また、後述する波形編集ソフト使用の際など、サンプリング周波数、ビット数に関する知識が必要となる場面も出てくる。ローズ 2000や音響学の教科書的な文献を用いて、以下のような内容を提示するべきであろう。

【デジタル化の解説例】

我々が、普段使っているコンパクトディスク(CD)やミニディスク(MD)は、レコードやカセットテープとは異なり、ディスク内の曲を好みのままに頭出しして再生したり、曲の繰り返しもスイッチひとつで行うことができる。これらの動作が容易にすばやく行える理由はCDやMDに納められている音楽情報が、デジタル化されているからである。レコードやカセットテープの音情報は、アナログ信号という形で納められているが、CDは音の物理量が離散的な(飛び飛びである)状態で納められている。

たとえば、ある楽器を数秒間鳴らしつづけて、その音をマイクロフォンで収録したとする。それを、直接、電気信号を見ることができる機器などで観察すると、音の圧力の変化が、連続波形として画面上に表示される。これがアナログ信号の状態である。この連続的なアナログ信号を、AD変換器(アナログ信号をデジタル信号に変える機器)を通して飛び飛びの信号に変換したものが、デジタル信号の状態である。AD変換器の中では、まず、変数のある区間の値を一つの値で代表させる「サンプリング」と呼ばれる離散化が行われる。それと同時に、各サンプリングにおける測定値の離散化(量子化)が行われ、0と1の値からなる2進数の数値に変換される。それによって、音楽演奏情報をコンピュータで扱うことが可能となる。最近では、

USB接続の簡便なAD/D A変換器が出ているので、自宅で気軽に音をコンピュータに取り込むこともできる。

【サンプリング周波数、ビット数の解説例】

元のアナログ信号から、どれだけ飛び飛びの値にしてこのサンプルを取るか、その時間的な間隔のことをサンプリング間隔と言い、1秒間あたりのサンプル数をサンプリング周波数と呼んでいる。たとえば、CDは、サンプリング周波数が44.1kHzと定められているが、これは1秒間に44100点の間隔でサンプリングを行っているという意味である。

また、サンプリングされた各点の測定値は、0と1の量子化ビットで表現され、分解能を示している。ビット数によって、システムが扱える最大振幅が決まり、それがダイナミックレンジ(音の強度の範囲)となるので、ビット数が多くなればなるほど、ダイナミックレンジの上限が上がる。CDの各サンプル点は、一般的に16ビットであるが、これは、2¹⁶の段階に分解された測定値で表現されていることを示し、10進数で換算すると、音圧を表現する精度が655361段階であることを意味する。ちなみに、MDは、ある技術を施して、信号が圧縮されたものなので、CDより直径が小さくても、同程度の容量(サンプリング周波数44.1kHz、16ビット)が格納できる仕組みになっている。CDやMDに納められている演奏のように音楽演奏をデジタル化すると、劣化の心配が無く、数十年先までハイクオリティの音質のままの聴取が可能である。それゆえ、急速にデジタル化が普及したと考えられる。

第一著者の荒川が、「音楽心理学」の講義中に上記の解説を行い、講義後に感想文を提出させたところ「今日の話は少し難しく感じた(音楽教育学専攻学生)」という意見も見られた。しかし、本稿前半に記述した各領域における演奏研究の紹介も行っていたので、「とても難しくそうだけど興味を持つことができた(心理学専攻学生)」「理解するのが大変な部分はあったが、

とても興味深い内容でもっといろいろなことを知りたいと思った（音楽教育学専攻）「今まで音楽と工学系は全くつながりのないものだと思っていたが、大いに関わっていて…（音楽教育学専攻学生）」「音楽を記号として取り込むことで、その演奏を視覚的にとらえられるようになったのだと気づき、音響や感性情報といった分野への興味がより深まった（心理学専攻学生）」など理解しようとする努力や興味を示す感想の方が多く見られた。

以上のデジタル化、サンプリング周波数、ビット数に関して、理解及び興味を示した学生は、彼らにとってやや身近なMIDI (Musical Instrument Digital Interface) に関する情報や、MIDIを使用する演奏音響分析の方法にも興味を持つようになるであろう。次に音楽ファイルについて述べる。

2.2 音楽演奏情報を文書ファイルとして扱うことへの理解を促す

音楽演奏をデジタル化すると、コンピュータ上で文書ファイルのように一つのデータとして扱うことが可能となる。作成した曲をホームページで公開したり、友人とそれらを交換することが可能であるのは、全てこのデジタル化によるファイルの恩恵である。このことを知れば、学生達はデジタル化の効用と先にそれを学んだ意義についても理解することができるであろう。この際、文書ファイルにも様々な形式があるのと同様、音楽ファイルにも複数のファイル形式があることを同時に提示すると良いであろう。

最近では、ほとんど遭遇しなくなったが、音楽ファイルがOSと異種のファイル形式であった場合も、変換作業さえすれば再生することができる。但し、変換の際には、WAVやAIFFといったファイル形式だけでなく、ファイルに納められているサンプリング周波数、量子化ビット、ステレオ/モノラルの区別等の情報が、変換前と同じ条件であることを確かめた上で変換を行い、再生する必要がある。サンプリング周波数などを異なった条件で変換の作業を行う

と、変換後に全く異なったデータになってしまうこともありうるからである。たとえば、男性の声の情報のファイルを変換ソフトで変換したところ、女性の声になってしまったというようなことも実際に起こりうる。その為、サンプリング周波数、量子化ビットなどに関する知識が必要不可欠となるのである。

ところで、毎年、学生にMIDIの存在を知っているかと聞いてみるが、ほとんどの学生が使ったことがなく（もしくは使っているという意識が無く）、名称だけは聞いたことがあると答える学生が数名いる程度である。MIDIに関しても、丁寧に解説する必要があるであろう。

【MIDIの解説例】

電子ピアノで演奏したデータはMIDI (Musical Instrument Digital Interface) と呼称されるファイル形式のフロッピーディスクに保存することができる。MIDIは、アナログ信号であった演奏情報を、デジタル化して収めたサウンドファイルである。もとは、楽器間の通信規格であったが、ヤマハやローランド他各社の提案により、電子楽器の国際規格として米国のMIDI Manufacturing Association (MMA) と日本のMIDI評議会 (JMISC) が作成した。MIDIの場合には、速さ、強さ等のデータがCDよりは容量の少ない8ビットのデジタル信号で表されている。MIDIを用いると、パソコンにMIDIファイルが読めるソフト (Finaleなどのシーケンスソフト) が、インストールされていれば、パソコンでMIDIに保存されている演奏を再生することができる。他に、編集、音色管理 (取り込んだヴァイオリンの音をチェロの音に変換する、エコーをかける等) なども可能である。最近のOSでは、ソフトをインストールしていなくても再生のみなら可能になっている場合がある。また、MIDIファイルは、ホームページからもダウンロードが可能である。

以上、音響分析の前段階として、デジタル化、サンプリング周波数、ビット数、MIDI

などに関する知識整理が終了すれば、MIDI ファイルを音響分析する指導に歩を進める環境が整備されたと言えるであろう。

3. 音楽及び波形編集ソフトを使って演奏を音響分析する方法を指導する

3.1 MIDIにおさめられた演奏をシーケンス・ソフトで音響分析する場合

電子楽器がなくても、MIDIを用いてパソコンを制御して演奏できるソフトをシーケンスソフトと呼称している。代表的なものに Finale, Score Maker, Recomposer などがある。シーケンスソフトでは、楽譜を作成することができるが、接続したキーボードを弾いて入力する「リアルタイム入力」を行った場合、演奏分析にも活用できる。MIDIファイルには、演奏分析にとって重要なベロシティ（打鍵速度を指している）があるので、結果的に音の強度を表すことになる。などの情報が記録されているので、演奏分析の際に最大限利用することができるのである。MIDIを演奏分析に用いる場合の利点としては、CDのように編集加工されていない点が筆頭に挙げられるだろう。但し、電子ピアノは改良されてきているとはいえ、本物のピアノとはやはり様々な点で異なる。それを前提としたうえで分析を進めるべきであろう。

図1図2の上部譜例は、プロのピアニストが、ベートーヴェン(Ludwig van Beethoven 1770~1827)作曲《エリーゼの為に(Für Elise Op. 173)》を荒川研究室にある電子ピアノ(YAMAHA CVP 109)で演奏したものを、シーケンス・ソフト Recomposer で開き、楽譜として展開したものである。展開に使用したMIDIファイルは予め演奏をフロッピーディスクに納めておいたものである。ちょうどリアルタイム入力した状態になっているので、MIDIファイルを開けばこのように即座に音源を採譜した楽譜情報が画面に出てくる。ピアニストが演奏の際に見ていた楽譜は、ヘンレ版(原典版)であり、冒頭からしばらく16分音符が連続するが、ピアニストAは非常に遅いテンポで演奏した為、シーケンスソフトはそれを採譜する際に、ピアニストA

が見ていた楽譜の2倍の長さで表記している。図1の楽譜に表記されている音価を、半分の音価に頭の中で補正しながら比較するとちょうど良い。シーケンスソフトは、音源の時間的情報に即したリズム分割が完全にできているわけではなく、多少の誤差を含んではいるが、それを考慮したとしても、楽譜と実際の演奏とは細部にわたって実に異なっていること、「芸術的逸脱」について学生は容易に理解するであろう。

また、シーケンスソフトでは、MIDIファイルに保存されている音源のベロシティ、打鍵時間、音の重なり具合等も見ることができる。図1図2下部の棒グラフの横幅は、各音符を弾く際に、鍵盤を押さえ続けていた時間(ゲートタイム)、高さはベロシティ(つまり音の強度を示す)を示している。棒グラフが横幅広になればなるほど鍵盤を長く押さええており、縦長になればなるほど強い音が出ている。図1から、ピアニストAの場合、曲の冒頭右手だけで弾く有名なフレーズ e-dis-e-dis-e-h-d-c-a (ミ・レ#・ミ・レ#・ミ・シ・レ・ド・ラ)の個所で、音を重ねぎみに弾く傾向があることが分かる。図2のピアニストBの場合には、同個所の音を独立させて弾く傾向があることがわかる。両者とも、このフレーズを2回弾いたうちの2回とも同傾向を示している。また、両者に共通する結果として、同個所第4音目のdisの際に最も強く打鍵しており、5音目以降は順次それよりは弱く打鍵していることも見出される。その結果、このフレーズのデュナーミクは、自然な山型の弧を描いており、音楽的なまとまりを形成している。但し、両者とも、このフレーズ終結部の第7音目のdでは、指使いが要因なのか少し音を強く打鍵してしまう傾向があるというような細かいことまで分かる。MIDI機能のついた電子ピアノを使えば、自分の演奏をMIDIにおさめて、このように分析し、教師や友人の演奏と比較することもできる。音響分析への一層の興味を喚起し、教育的効果も挙げることができるであろう。

但し、Kurakata, Kuwano & Namba 1993, Kuwano, Namba, Yamasaki & Nishiyama 1994,

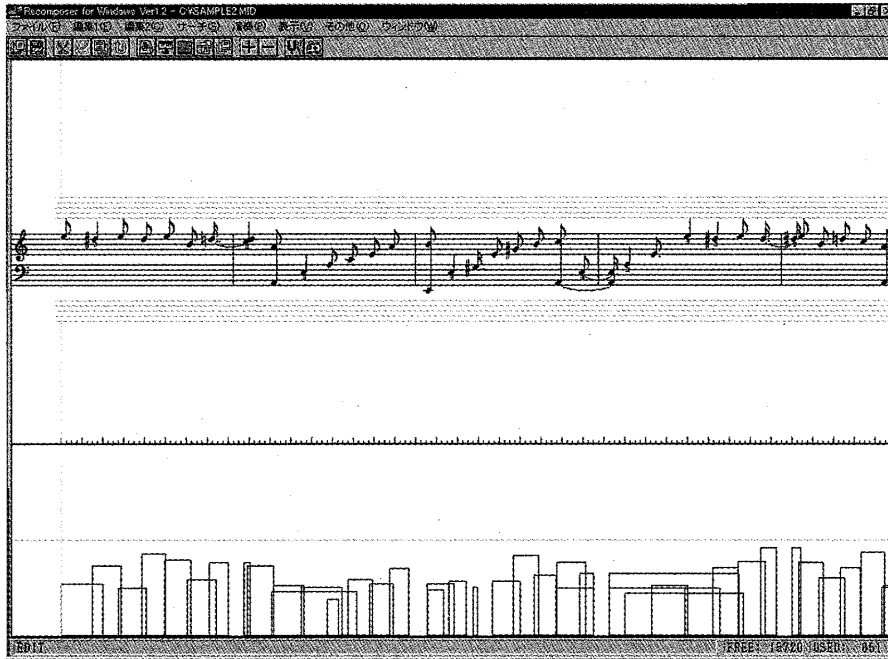


図1 ピアニストAによる《エリーゼの為に（ベートーヴェン作曲 Op. 173）》演奏結果（シーケンスソフト Recompiler 使用）

上は楽譜として表示，下はステップタイムとゲートタイム，ベロシティ情報出力結果。棒グラフの横幅は，各音符を弾く際に鍵盤を押さえて続けた時間（ゲートタイム）を示す。棒グラフの高さは，音の強度（ベロシティ）を示す。

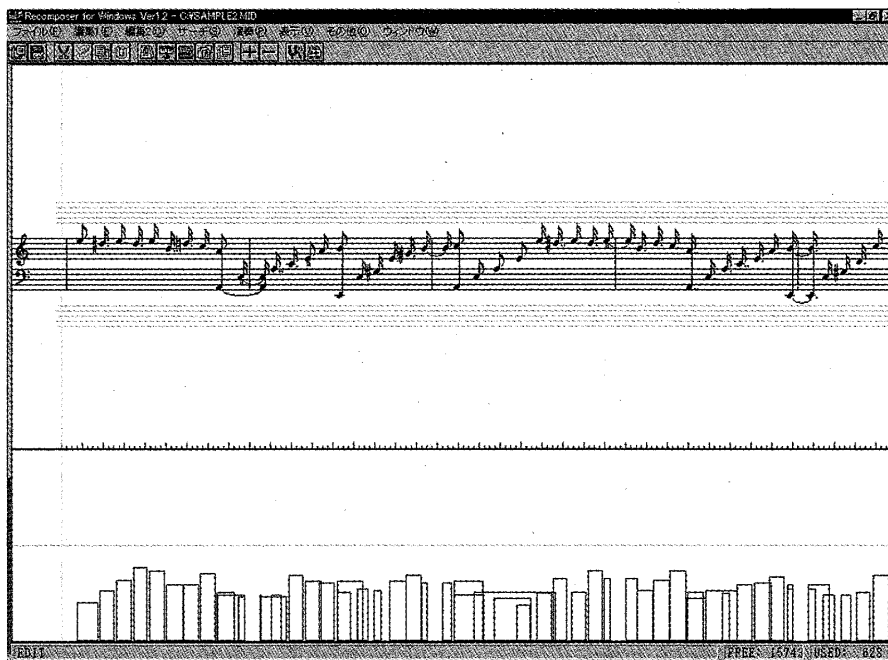


図2 ピアニストBによる《エリーゼの為に（ベートーヴェン作曲 Op. 173）》演奏結果（シーケンスソフト Recompiler 使用）

上は楽譜として表示，下はステップタイムとゲートタイム，ベロシティ情報出力結果。棒グラフの横幅は，各音符を弾く際に鍵盤を押さえて続けた時間（ゲートタイム）を示す。棒グラフの高さは，音の強度（ベロシティ）を示す。

Namba, Kuwano & Kato 1976, Namba & Kuwano 1997, 難波・太田・桑野・難波 1998, 山崎・難波・桑野・荒川 2002などの聴覚の知覚的特性に関する一連の研究でも明らかなように、音の物理的重量と知覚上の重なり感との関係は複雑である。上記の研究から、ピアノのような減衰音の場合には、後続音が先行音に重畳していても、先行音のアフターエフェクトが後続音の急峻な立ち上がりのエネルギーによってマスキングされてしまい、物理的には音が重なっていても、知覚的には音が離れて聞こえる場合があることが報告されている。従って、図1図2から、前述したような演奏者の打鍵に関する情報は得られるのだが、それを直接聞こえと結び付けて論じることには慎重にならざるを得ない。特に、微小な単位での分析は、聞こえの実態と異なる危惧もあるので、避けておく方が無難である。このことも同時に学生に理解させて、音の物理的特徴と聴覚の知覚的特性の対応関係へと意識を向けさせることも教育的意義があるであろう。

3.2 波形編集ソフトで音響分析する場合

コンピュータを用いた演奏音響分析で、主に使用されているのは、波形編集ソフトであろう。波形編集ソフトとは、もともとはエフェクタという、オリジナルデータを編集して特殊な効果を出す機能を活用した音声合成などのためのソフトである。代表的なものに、音声工房, Audition, Sound Edit Pro, Sound Forge などがある。これらは、音源のテンポ、ピッチ（音の高さ）、強度を変化させることも可能であるし、フェイド・イン、フェイド・アウト、リバーブ（音源を終わりから再生しているような効果を得られる）、エコー等も自在にコントロールできる為、心理学実験用刺激を作成する際にも使われている。

図3は、荒川研究室の電子ピアノで録音した演奏の標準出力をAD変換器を通してパソコンへ取りこみ、波形編集ソフトで出力したものである。前出のピアニストAに、実験的試みとして《エリーゼの為に》を「喜び」（図3上）、「悲しみ」（図3下）という異なる表情で弾くよう指示を与え、その演奏結果を波形編集ソフト

Sound Forge で開いて見た場合の音波形データである。縦軸はベロシティを示しており、波形が縦に広がれば広がるほど音は強く鳴っている。横軸は時間の経過を表している。これからは、音の強度が時間の推移とともにどのように移り変わっていくのかを確認することができる。

ここでは、楽譜と照らし合わせて分析しやすいように、波形から演奏個所の同定作業を行い、各小節の冒頭に縦線と小節番号を入れている。（bar1 は第1小節目を指す。）波形編集ソフトは、波形を見ながら音を聞くことができる。その際に順次移動するカーソルの位置によって、どの波形がどの音のものであるかを知ることができ、また、FFT（Fast Fourier Transform 高速フーリエ変換）によって、音高を知ることでもできる。FFTについては佐藤 1999他、参照されたい。音源がピアノの場合は、前述したように打鍵と同時に音が急峻に立ち上がるので、このような音の同定は容易である。《エリーゼの為に》は、弱起の曲であるのだが、bar1 前の2つの三角型の波形がその弱起部分の第1音目e、第2音目disである。第3音目eはbar1の縦線上にある。注意深く波形と当該個所の音を耳で確認しながら作業を続けると、確実に演奏個所を同定することかできる。この結果によって、テンポ変化の推移も調べることが可能となる。

たとえば、ピアニストAのこれらの演奏に限って見た場合、2つの意識的に表情を変えた演奏においても、音楽的なまとまりの終結部分である第4小節目、第8小節目の際に、徐々に強度を絞りデミュニエンドに演奏する傾向があることが分かる。また、それらの小節の経過時間が他の小節よりも長いことから、テンポを徐々に遅くしてリタルダンド気味に演奏する傾向のあることも分かる。これは強度とテンポという二つの演奏ファクターを変化させることによって、音楽構造に基づくまとまり感を強調しようとしている結果である。また、この2演奏を比較すると「喜び」よりも「悲しみ」の方が、音量の変化幅が大きく、テンポの揺らぎも大きめであることなども指摘できる。2つ以上の演奏データを比較すると個々の演奏の特徴が認識

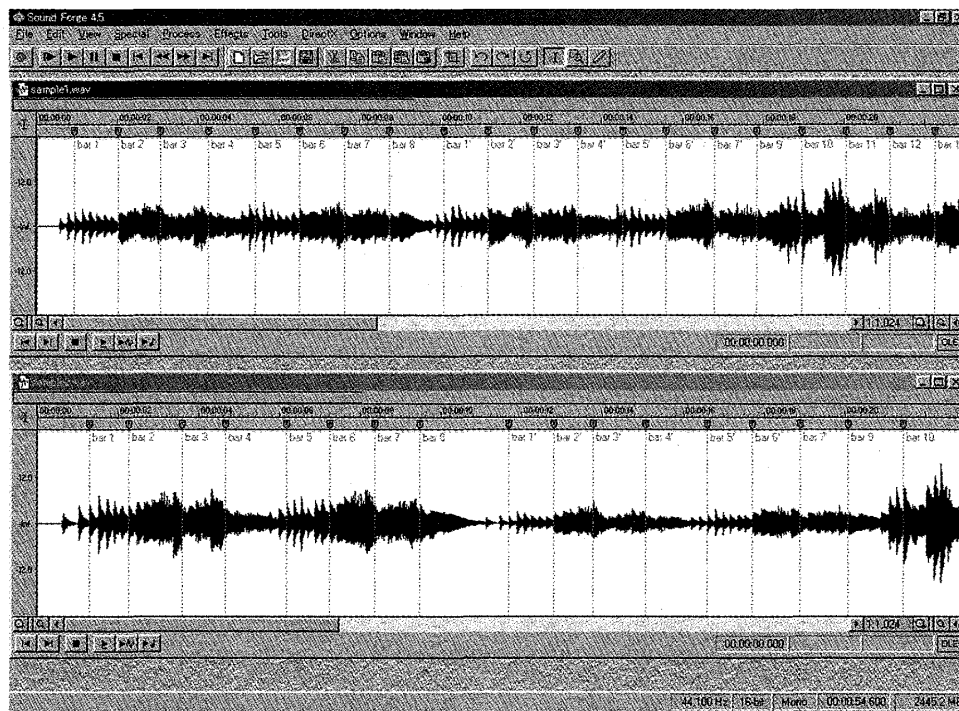


図3 上下ともピアニストAによる《エリーゼの為に（ベートーヴェン作曲 Op.173）》演奏結果（波形編集ソフト Sound Forge 使用）

実験的試みとして、上は「喜び」、下は「悲しみ」と異なる表情をつけて弾くよう指示した。bar 1は第1小節目を示す。波形は強度の推移を示している。

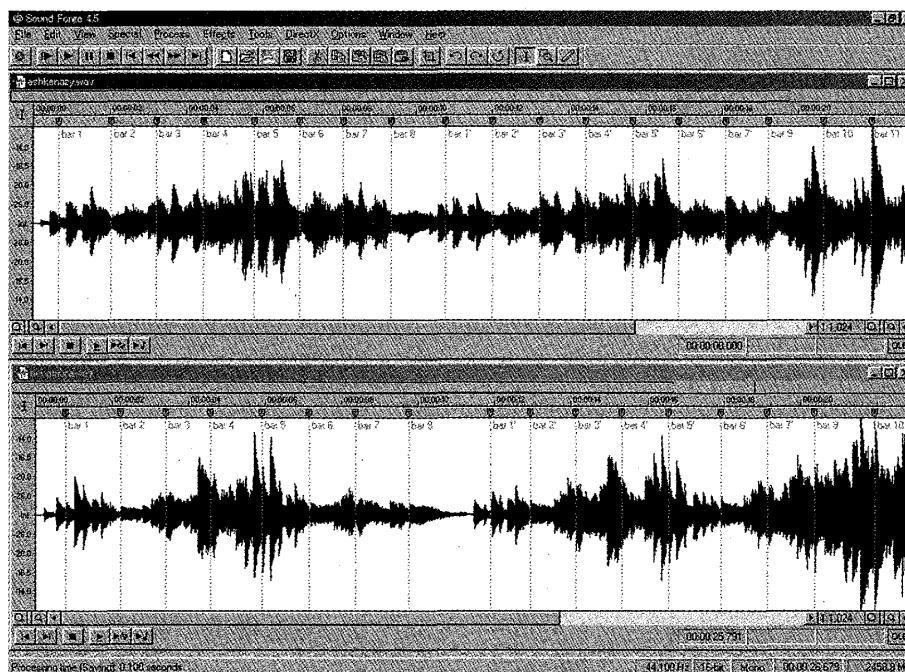


図4 アッシュケナージ、中村絃子による《エリーゼの為に（ベートーヴェン作曲 Op.173）》演奏結果（波形編集ソフト Sound Forge 使用）

上はアッシュケナージ（DECCA-417751-2）、下は中村絃子（SRCR-9621）である。bar 1は第1小節目を示す。波形は強度の推移を示している。

されやすいので、「比較」は良い方法であると言えるであろう。

また、出力時にコンピュータの画面上に表示される小節の経過時間を表計算ソフトに入力するとテンポ変化の推移を時系列データとしてグラフ化することもできる。グラフ作成時に、自分が最も主張したい点について最も効果的に表現できるよう、横軸、縦軸、それぞれの変化幅のとり方に関して工夫させることも教育的効果があるであろう。

3.3 CDに録音された演奏を波形編集ソフトで音響分析する場合

波形編集ソフトでは、CDの音源からも、同様のことが可能である。前述したようにCDの信号はデジタル化されている為、コンピュータで読むことができる。波形編集ソフトをインストールした上で、CD-ROMにCDを入れると画面上に再生、録音などのボタンが出てくる。希望個所の録音ボタンを押すと、使用OSに応じたファイル形式で保存でき、波形を見ることが可能となる。

図4は《エリーゼの為に》をCDに録音したアシュケナージ (Vladimir Ashkenazy 1937~/使用CDは DECCA-417 751-2) と中村絃子 (1944~/使用CDは SRCR-9621) の演奏から、冒頭部分に上記のような操作をした結果である。同個所の演奏結果である図3、図4を比較すると、同じ楽譜を用いながら三人のピアニストがそれぞれに異なる表現をしていることが分かる。図4上のアシュケナージの演奏の場合には、各小節の経過時間が等間隔に近く、かなり単調なテンポで演奏している。一方、図4下の中村の演奏は、テンポの変動が激しく、波形の変化幅も大きくデュナーミクの変化に富んでいることが分かる。まず、第1小節目は、それに続く小節よりも長めで、ゆっくり弾き始めている。第4小節目3拍目から冒頭フレーズを繰り返す際には、単調な繰り返しとなることを避けるためか e-dise-dise あたりまでを1回目の演奏よりも大きく弾き、第8小節目では、際立ってテンポを引き伸ばし、徐々に強度を最小値近くまで

落としている。やはり音楽構造に基づいた様々な工夫をしていることが分かるのである。このような分析を、楽譜構造と照らし合わせて緻密に行えば、演奏家の表現意図が次第に読み取れるようになり、演奏に含まれた創造性、演奏を媒介とするコミュニケーションの奥深さを体験することができるであろう。

4. 音楽演奏の音響分析教育の展望と課題

以上、文系、音楽系大学生を念頭において、音楽演奏の音響分析指導を行う際の最初期段階の方法について考察した。前段階の知識整理として、「デジタル化」、「サンプリング周波数」、「ビット数」、「音楽ファイル」に関しての理解を促す重要性、シーケンスソフトと波形編集ソフトを用いての初歩的な演奏音響分析方法について提示してきた。これらの過程で、学生は同時に、「音の物理的特徴と聴覚の知覚的特性」「芸術的逸脱」「演奏比較から演奏の創造性と演奏が媒介するコミュニケーションの奥深さ」「得た情報を主張したい意図に沿って表現できる情報処理訓練」など、多岐にわたって学ぶことができることも示した。音響分析教育は、様々な観点から有意義であると言えるであろう。

第一著者の荒川が、シーケンスソフト、波形編集ソフトを用いての音響分析方法を講義した際、学生の感想文の中には「自分の持っているCDをこれらの音楽ソフトにかけてみたら面白そうだった (心理学専攻学生)」「波形編集ソフトを使ってのグラフ (図) が面白かった。音は目に見えないもの、形に表せないものという考えがあったので、様々なソフトや技術を音楽と組み合わせることでグラフ化できたり驚きでした (音楽教育学専攻学生)」「一度でもよいからこのようなデータ解析をしてみたいと思った。その為には、ソフトのことやPCの操作などの理解がよりいっそう求められると思うので苦手意識をなくしていきたい (音楽教育学専攻学生)」と大いに興味を示し、当初の苦手意識を克服して学ぶ意欲がわいたというものが多く見られた。

また、「今日の講義の内容は私にとって非常

に難しいものであった。しかし《エリーゼの為に》のデータ解析は興味を持つことができた。実際の演奏を聴いても「だいたいこのようなイメージであった」ということは理解できたが、細かい表現についてまでは分からなかった。しかし、データ化されたグラフ（表）を見ることによって、比較が容易になることがわかった。データ解析をすることによって、聴く能力が高まるということが印象的であった（音楽教育学専攻学生）」と演奏情報の視覚化の効力に言及したのもあった。

講義の際に、アシケナーズの演奏を聴取させて学生に感想を求めると「普通だと感じた」というものが圧倒的に多かったが、その後、図4上の図を見せると「普通」という印象を生み出したのは、彼の演奏のテンポがあまり揺れなかったことに起因しているのだらうと推測することができた。コンピューターを用いるとおぼろげな印象であった箇所の特徴が一目瞭然となり、意識化して検証することができ詳細な分析が可能となることを実感し、情報の視覚化の恩恵を感じていたようだ。

一般の人は、同じ作品の演奏は、異なる演奏家によっても同じように演奏されていると思っ込んでいることが多い（荒川 2003, 2004）。聴取のみによる演奏比較をするだけでも、異なる演奏家がそれぞれ個性的な演奏表現をしていることを学べる為、発見が多いが、このような演奏音響分析を行えるとより一層音楽に関する興味が高まるであろう。そのことから、演奏音響分析には、音楽鑑賞と同じく生涯教育的な意義を見出すこともできると言えそうである。ソフトが入手困難であるならば、ストップウォッチによる計測でも充分である。その際、「同一演奏家の同一曲演奏の同箇所及びリピート箇所においてはどうか」、「他の複数演奏家の同箇所についてはどうか」、「同一演奏家の異なる楽曲の同箇所についてはどうか」、「他の複数演奏家の同箇所についてはどうか」と興味を広げて音響分析を行い、楽曲構造や芸術思潮などと結びつけて考察することができれば、豊かな音楽文化の世界が開かれ知的な好奇心を満足させることが

できるであろう。この方法については、本稿では論じきれなかったが、稿を改めて、音響分析教育の発展段階として考察したい。

最後に、波形編集ソフトを演奏分析に用いる場合、人間が音の立ち上がりや拍や小節を知覚する箇所は、必ずしも波形から同定できないのではないかと、波形上のピークから多少のずれがあるのではないかとという問題が残る。この問題は、音響心理学上の研究テーマとなるくらい複雑な問題ではあるが、我々が行おうとするように、分析対象が小節間のテンポ変化であるような場合には、音響的には非常に大まかな変化を追っていることになるので、多少の誤差を含んでいたとしても、そう神経過敏になる必要はない。また、ピアノ音の場合には、音の立ち上がりが急峻な減衰音であるという物理的特徴から、心理的な拍と波形のピークとのずれが微小であると予想され、他の楽器に比して演奏箇所の同定作業は容易であると考えられる。従って、演奏音響分析でピアノを対象とするのは、もっとも技術上の問題が少なく、また身近な楽器であることや前述した様々な観点から、演奏音響分析導入期の教育に最も適していると考えられる。特に、演奏家や音楽教員を目指して、音楽実技を専門的に学ぶ音楽系学生にとっては、自己の演奏も含めて、演奏音響を分析する機会を持つことは、自らの演奏表現へのフィードバックが期待され、教育的効果が高く意義深いと言えるであろう。

謝 辞

本稿作成にあたって、分析音源に御協力頂き演奏家の立場から有益な御助言を頂きました京都女子大学 発達教育学部 教育学科 大谷正和助教授、土居知子助教授に深く感謝致します。

本稿「3.3 CDに録音された演奏を波形編集ソフトで音響分析する場合」は、荒川 2006の一部を発展させたものである。この際、用いた電子ピアノによる音源は、荒川・土居・太田 2003の研究の際に録音したものである。

【引用文献】

- 荒川恵子 1994a 「声楽演奏における演奏様式の定量的分析 —シューベルト『魔王』歴史的録音資料を用いて」『音楽学』40-3:181-193.
- 荒川恵子 1994b 「20世紀後半における声楽の演奏様式 —シューベルト『魔王』の定量分析」『日本音響学会音楽音響研究会資料』MA94-23:1-8.
- 荒川恵子 1999 「20世紀演奏史研究への解析的アプローチ —ベートーヴェン交響曲第8番を例として—」『音楽学』44-3:141-154.
- 荒川恵子, 土居知子, 太田公子 2003 「ピアノ演奏表現における表情語へのストラテジーに関する一考察 —ピアノ演奏指導法の可能性を求めて」『京都女子大学教育学科紀要』43:101-115.
- 荒川恵子 2003 「歴史的な演奏家の演奏比較を導入した鑑賞指導法の構築に向けて —シューベルト《魔王》を対象とした場合」『関西楽理研究』20:90-99.
- 荒川恵子 2004 「ベートーヴェン交響曲の鑑賞指導法に関する一考察 —歴史的な演奏の演奏比較を導入した場合—」『京都女子大学教育学科紀要』44:152-168.
- 荒川恵子 2006 「演奏分析の地平 音響解析は演奏分析にどう貢献するか」日本音楽学会第57回全国大会パネルディスカッション配布資料:1-8.
- 安藤由典 2003 「音楽・音楽学と楽器音響学」『日本音響学会誌』59-3:146-152.
- Bowen, Jose Antonio. 1996 Tempo, Duration and Flexibility: Techniques in the Analysis of Performance. *The Journal of Musicological Research*, 16:111-156.
- Bowen, Jose Antonio. 1999 Finding the Music in Musicology: Performance History and Musical Works. *Rethinking Music*, edited by Nicholas Cook and Mark Everist. Oxford: Oxford University Press, 424-451.
- Gottschewski, Hermann 1991 Tempoarchitektur Ansätze zu einer Speziellen Tempotheorie, oder: Was macht das klassische in Carl Reineckes Mozartspiel aus? *Musiktheorie*, 2:99-117.
- Gottschewski, Hermann. 1996 *Die Interpretation als Kunstwerk*. Laaber: Laaber-Verlag.
- 平賀 譲 2003 「音楽の科学, 音楽の情報科学に向けて」『情報処理学会研究報告 [音楽情報科学]』48:58.
- 井口征士 2000 「音楽演奏における人間らしさの抽出と表情付け」『日本ファジィ学会誌』12-4:477-486.
- 井口征二, 片寄晴弘 2000 「音楽情報処理」『文字と音の情報処理』東京:岩波書店:163-220.
- 岩宮眞一郎 2000 『音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション』福岡:九州大学出版会
- Kurakata, Kenji, Kuwano, Sonoko. & Namba, Seiichiro. 1993 Factors determining the impression of the equality of intensity in piano performance. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 14:441-447.
- Kuwano, Sonoko. Namba, Seiichiro. Yamasaki, Teruo & Nishiyama Keiko 1994 Impression of smoothness of a sound stream in relation to legate in musical performance. *Perception & Psychophysics*, 56:173-182.
- 松島俊明 2000 「音楽情報科学研究会紹介」『情報処理学会第60回全国大会記念セッション報告集 —過去と未来を見つめる—』97-98.
- 長嶋洋一他編 1999 『コンピュータと音楽の世界 基礎からフロンティまで』東京:共立出版
- Namba, Seiichiro. Kuwano, Sonoko. & Kato, Toru 1976 The loudness of sound with intensity increment. *Japanese Psychological Research*, 18:63-72.
- Namba, Seiichiro. Kuwano, Sonoko 1997 Temporal factors of hearing in noise research. *Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Bibliotheks-und Informationssystem der universität Oldenburg*, edited by A. Schick and M. Klatt, 465-482.
- 難波精一郎編 1990 『音の科学』東京:朝倉書店
- 難波精一郎・太田公子・桑野園子・難波和郎 1998 「音の主観的持続時間に及ぼすエンベロープパタンの影響 —リズム感に関連して—」『音楽知覚認知研究』4:71-80.
- 大串健吾 1996 「音楽演奏とコミュニケーション」『日本音響学会誌』52-7:558-562.
- 大串健吾 1997 「音楽演奏における感性情報」『感性の科学 感性情報処理へのアプローチ』東京:サイエンス社:78-82.
- 岡田暁生 1995 「演奏分析と音楽教育をめぐる試論」『神戸大学発達科学部研究紀要』2-2:345-354.
- 岡田暁夫 2003 『ピアノを弾くからだ』東京:春秋社
- Philip, Robert. 1992 *Early Recordings and Musical Style: Changing Tastes in Instrumental Performance 1900-1950*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Philip, Robert. 1994 Traditional Habits of Performance in early-twentieth-century recordings of Beethoven. *Performing Beethoven*, edited by R.Stowell, Cambridge: Cambridge University Press, 195-204.
- Philip, Robert. 2004 *Performing Music in the Age of Recording*: New Haven and London, Yale University Press.
- C. ローズ 2000 『コンピュータ音楽 —歴史・テクノロジー・アート』青柳達也, 小坂直敏他監訳 東京:東京電機大学出版局

- 佐藤幸男 1999『信号処理入門 (図解メカトロニクス入門シリーズ)』雨宮好文監修 東京：オーム社
- Seashore C. E. 1938 *Psychology of Music*. New York: McGrawHill.
- 田口友康 1996「音楽音響研究の最近の動向」『日本音響学会誌』52-11：885-890.
- 谷口高士編 2000『音は心の中で音楽になる 音楽心理学への招待』京都：北王路書房
- 辻 三郎 1997『感性の科学 感性情報処理へのアプローチ』東京：サイエンス社
- 山田真司, 西口磯春 2004「小特集「音楽音響における最近の話題」にあたって」『日本音響学会誌』60-11：655-656.
- 山田真司, 吉川 茂 2003「小特集「音楽への科学的アプローチ」にあたって」『日本音響学会誌』59-3：144-145.
- 山崎晃男, 難波精一郎, 桑野園子, 荒川恵子 2002「時間的に重畳する音の「重なり感」と聴覚の動特性 —継時マスキングとエンベロープパターンの影響—」『音楽知覚認知研究』8-1：5-18.
- 吉川茂, 小坂直敏, 大串健吾, 山田真司, 永井啓之亮 2001「特集 —音響学における20世紀の成果と21世紀に残された課題—第一部—分野別の流れ—音楽音響分野」『日本音響学会誌』57-1：21-26.
- 渡辺 裕 1990a「ワルター神話を超えて—《第四》演奏史の分析」『文化史の中のマーラー』東京：筑摩書房：192-220. (本文献は、2004年に『マーラーと世紀末ウィーン』として岩波書店より再出版された。)
- 渡辺 裕 1990b「斉藤メソッドが残した課題」『小澤征爾大研究』東京：春秋社：98-103.
- 渡辺 裕 1992「新即物主義再考 —トスカニーニと現代の指揮者たち」『指揮者の光芒』キーワード事典編集部編 東京：洋泉社
- 渡辺 裕 2001『西洋音楽演奏史論序説 —ベートーヴェンピアノソナタの演奏史研究—』東京：春秋社
- 【参照楽譜】
- Beethoven, Ludwig van. 1978 *Klavierstück für Elise*, München, Henle Verlag.
- 【URL】
- RENCONに関する情報は下記サイトを参照
RENCONホームページ
(<http://shouchan.ei.tuat.ac.jp/~rencon/index-j.shtml> 2006年11月6日閲覧)
- 関西学院大学理工学部 情報科学科 片寄研究室
ホームページ
(<http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~katayose/index.html> 2006年11月6日閲覧)