

## ピアノ弦振動の2次元計測による解析

著者	田中 秀幸
著者別名	Tanaka Hideyuki
内容記述	筑波大学博士（工学）学位論文・平成12年3月24日 授与（甲第2362号）
発行年	2000
その他のタイトル	ピアノ弦振動の2次元計測による解析
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/6289">http://hdl.handle.net/2241/6289</a>

## 第2章

# ピアノ弦振動の理論

本章では今まで行われてきた研究成果を見ることにより本研究の位置付けを明確にすることを目的とする。

### 2.1 ピアノ音の解析

ピアノ音の解析によって、ピアノ音の倍音は周波数が高ければ高いほど早く減衰する<sup>2)</sup>、複数弦では弦の調律を1～2セントのずれにするのが一番好まれる<sup>3)</sup>、ピアノ音の倍音構成は非調和性をもち少しづつ高いほうにずれそのことがピアノ音に暖かみを与える<sup>4)</sup>、などということが今までの研究でわかっている。また、本論文に関係が深いところでは、中村らはピアノ音のスペクトル解析を行いピアノの倍音構成には3系列あることを見い出した。第1の系列はピアノ弦の響板に垂直な振動によるもの、第2の系列はピアノ弦の響板に平行な振動によるもの、第3の系列はピアノ弦の縦波が原因のもの<sup>5)</sup>、という結果が述べられている。

### 2.2 ピアノ弦振動の解析

ピアノではまず鍵盤が押されると鍵盤がアクションと呼ばれる打弦機構を動かして、ハンマーを弦に向かって打ち出す。そしてハンマーは弦に当たり、弦は自由振動を始める。ピアノやバイオリンなどの弦楽器では、弦の振動がブリッジ、響板を通して空気中に伝わり音として放射される。振動は、弦～駒～響板～空気などの複合体として起こり、結果としてその楽器固有の音となる (Fig.2-1)。

ピアノ弦はより大きな音を出すために頑丈なフレームに強大な力で張られているが、もう一つ音量を稼ぐために複数弦が用いられている (Fig.2-2)。もともとは音量を稼ぐための複数弦であるが、これらに微妙に異なるチューニングを施すことに

より音色の豊かな音を生み出すことができる。これによりピアノ固有の特徴をもった音を作り出される。

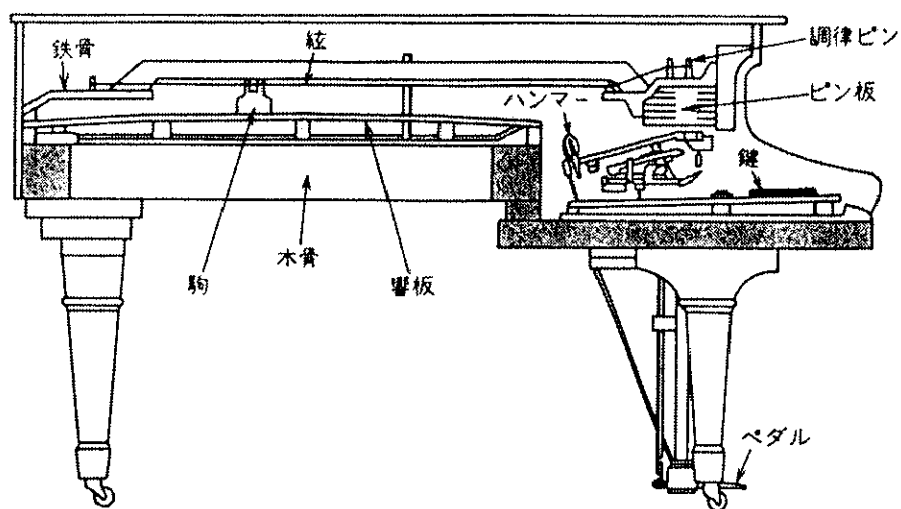
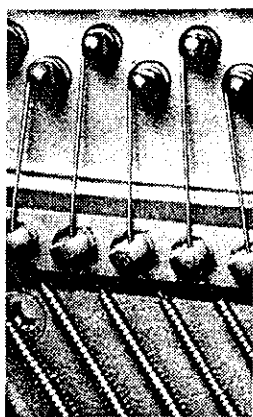
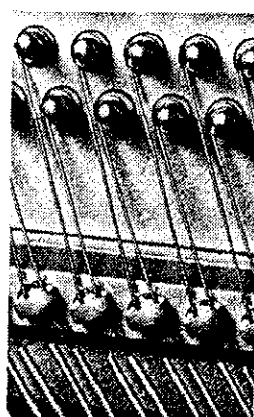


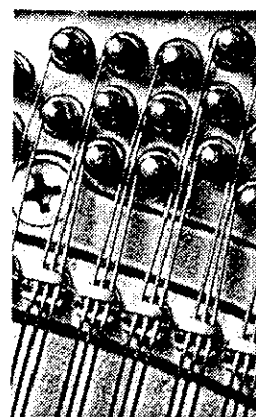
Fig.2-1: ピアノの構造



低音弦  
(1本弦)



中音弦  
(2本弦)



高音弦  
(3本弦)

Fig.2-2: ピアノ弦の種類

前節で述べたピアノ音の非調和性であるが、振動し始めた弦は非線形のスチフネスを持つことが原因で倍音列の音速は少し速くなり倍音がちょうど整数倍にはならず少し高いほうにずれ非調和性を持つようになる<sup>4)</sup>、ということが分かっている。

また、ピアノ音をピアノ音らしく聞かせるための重要な性質として、ピアノ音は2段減衰をする、ということが指摘されている。すなわち、ピアノは打鍵直後の打音とそれから暫くたった後での余韻とでは減衰の仕方が異なる。Martinは、この減衰率の違いは2本または3本の弦がまったく同じに調律されるとこの現象は起きない<sup>6)</sup>、ということを描べている。

この原因を突き止めるため、今まではピアノ弦振動の等価回路を用い研究がなされてきた。中村は2本弦、3本弦の振動を解析し、弦のミスチューニングおよび弦と響板のインピーダンス比の関係について明らかにした<sup>7)</sup>。この複数弦での2段減衰の研究はHundleyらも等価回路を用いて研究している<sup>8)</sup>。

またピアノ1本弦の振動の特徴として、ピアノ弦はハンマーで叩かれた直後は響板に垂直な振動を始める。しかしその後響板に垂直な振動だけでなく響板に水平な振動も起こり、弦は円運動を始める。このことは、Weinreichにより誘導電流を利用する方法で測定された<sup>9)10)</sup>。Weinreichは1本弦では垂直、水平の振動の連成によって2段減衰が起これると述べている<sup>9)10)</sup>。岩岡らはこの連成が駒のピンの傾きに起因することを指摘している<sup>11)</sup>。しかしながら、弦の振動変位を実際に計測した報告はそれほど多くはない。その中で、Podlesakらはフォトランジスタと平面光と鏡を用いてピアノ弦の2次元振動を測定する装置を製作し、実際にピアノ弦の2次元振動を測定することに成功している<sup>12)</sup>。また、高澤はレーザ変位計を用いて1次元のピアノ弦の振動を測定している<sup>13)</sup>。

## 2.3 物理モデル

物理モデルとはハンマーの初速度を与えるとピアノ音を合成できるというものであり、ピアノ弦振動、響板などのふるまいを数式として表わしたものである。しかしながら、ピアノは弦、ブリッジ、響板が連成して動くためこれらの関係を定式化することは非常に難しい。今現在ではChaigneがピアノ弦の振動を微分方程式を解くことにより弦振動の再現を行っているがそれには響板に水平な振動は含まれない<sup>14)</sup>。最近、我々の研究を参考にした弦振動の物理モデルが長沼らによって発表された。その研究で作られたのは響板に水平な振動の成分を含んだ弦振動のモデルである<sup>15)</sup>。

## 2.4 本論文について

弦楽器を解明する上で弦がどのように振動しているかということは重要であり、その楽器の音質、音色を決定する要因となる。特にピアノ1本弦では2段減衰の要因が響板に平行な振動にあるといわれ特に重要である。よってピアノ弦振動の解明は、ピアノの発音機構の解明の点において非常に重要な事項となっている。

本研究ではピアノ弦の発音機構をより詳しく知るために、ピアノ1本弦の2次元振動を光学的に測定する装置を製作した。そして今まで知られていなかったピアノ弦振動の現象を観察、分析し、ピアノの性質を見い出した。この結果はピアノ1本弦の振動を解析するためには大変重要なものであり、また、本研究のピアノ弦の2次元振動測定装置を参考にした他の楽器の弦振動測定装置も研究されている<sup>16)</sup>。