

連載企画—音響学の温故知新—

# ピアノの音響学的研究

—中村勲先生の足跡を追って—\*

岸 憲 史 (元電気通信大学)\*\*

43.75.Mn

## 1. はじめに

本学会に多大な貢献をされ、多くの研究業績を残され、本学会の終身会員でもありました中村勲先生は、昨年7月7日に亡くなりました(享年84歳)。ここに、改めて哀悼の意を捧げますと共に先生のご足跡(ピアノの研究と学会活動関連)を振り返ってみたいと思います。

本稿で使わせていただいた文献は、中村先生も共著になっている「音楽と楽器の音響測定」[1]、音響学会が創立60周年の記念事業としてCD-ROM化したもの[2]、本会音楽音響研究会がまとめた音楽音響研究会資料目録[3]及び長沼大介さんからお借りした資料集で、これらの文献をもとに私の分かる範囲でお話を進めていきたい。

## 2. 静岡大時代

昭和37年(1962)1月に静岡大に赴任された中村先生は、楽器の街である浜松におられたことでピアノの音響学的研究を依頼され、当初はそれがライフワークになるとは夢にも思わなかったようである。ピアノというシステムの発音メカニズムの全貌を明らかにするという観点から研究を進め、始めたときは4、5年あれば何とか目処がつかなくとも思っていたそうだが、その頃音響学的な研究に関する文献は世界的にも少なく、自分で実験、シミュレーション、理論の構築を行い、1994年に「最近になって、ピアノの全貌がようやく見えてきた」と述懐されている[4]。

卒論生を指導しながら、逐次音響学会で発表を重ね、それらをまとめて、精力的に論文を本学会に発表されている。まず一般的な弾性体の等価回路から弦の等価回路を導き[5]、続いてまだ計算機

が十分に発達していなかったためにインピーダンス類推の等価回路を実現した(コイルの $Q$ が十分大きくなかったために止む無くインピーダンス類推を採用している)アナログシミュレータを使ってハンマの打弦の解析を行い、機械系に対する電気系の時間及びインピーダンス変換係数だけを変えることによって1~88鍵のすべてについて、打弦時にハンマから弦に注入されるエネルギーや駒点における垂直張力波形などを求め、その理論的な裏付けも行った[6]。この時点で、弦の弾性やハンマの弾性の非線形は考慮していないが、かなり実測と一致する結果が得られている。

一時研究の重点をピアノから電子楽器へと転換して、当時研究生の江澤定明氏(現サウンド技術振興財団勤務)と共同で1973年にSINEオルガンを完成させ、1979~1981年の間に3件の特許と1件の実用新案を発明考案している。これらはトランジスタを使った発振回路とスイッチング回路に関するもので、アナログシミュレータの打弦時のスイッチング回路へと発展した。

次に計算機の速度も実用レベルに到達したので、弾性も考慮した弦の振動方程式を表す5元連立1階の偏微分方程式を導いてモビリティ類推の等価回路(2線状分布線路)で表示し、これらの等価回路モデル(空間的に差分)を計算機のプログラムでシミュレート(時間的にも差分)し、更にハンマーフェルト系の二つの1階常微分方程式を加えてデジタルシミュレーションを行った[7]。駒点での響板のアドミタンスは弦側に較べて十分大きいので弦側を定電流源と見なし、これが響板を純抵抗もしくは $Q$ の低い単一共振系で近似した素子に流れるものとして端子電圧(駒速度)を求めて弦の側に帰還している。この方法は容易に2本弦と3本弦にも拡張できる。この方法により、3本弦(40鍵の例)で調律を全く一致させた場合の減衰は余韻のない様減衰となり、各弦の調律を

\* Acoustical research on the piano: Foot-print of Prof. Isao Nakamura.

\*\* Kenshi Kishi e-mail: kishi40@gmail.com

違えると余韻が現れ、その傾向は中央弦の調律やハンマの質量を変えてもほとんど変化しないことを示した。更に、2本弦(25鍵の例)で響板を単一並列共振系として調律の差を2セントとした場合の駒点の速度も調べ、抵抗のみとした場合と似た結果になる(弦振動の各スペクトルはほとんど同様減衰を示すが、駒点の振動は各部分音ごとになりを生じ、低い部分音は緩やかに、高くなるに従って急速に変化する)ことなども示した。また、等価回路の位相定数から求めた部分音の周波数の非調和性がFletcherのもの[8]と一致することも示した。この研究(第2報)は、Chaigneら[9]より10年以上も前にピアノの打弦の物理モデルの数値シミュレーションを行ったものであり、「楽器をシステムとして扱って、音の発生までに至った最初の研究」として評価され、本学会第22回佐藤論文賞を受賞しておられる。

第3報[10]では、題名のとおり、アップライトピアノの数種類の響板について、弦を除いた場合と張弦した場合のそれぞれに対し、響板の振動モードの測定と代表的な鍵盤における駒点及び響板の駆動点アドミタンスの周波数特性を実測した。等方性矩形板のモード周波数の実験値は境界条件が周辺支持と周辺固定の間になり、低次モードほど前者に、高次モードほど後者に近いことを示した。弦を張った場合は、モード形状はほぼ一致しているが、音圧レベルは低下して共振周波数は上昇し、この傾向は低音において著しいことを示した。更に、実用響板の指向特性(響板中央の駒点に駆動器を取り付けて駆動点より2mの距離における水平面上の音圧)を測定し、[1,1]モードと[3,1]モードが矩形周辺支持板の理論値とほぼ一致していること及び[2,2]モードはほとんど駆動されないことなどを示した。この論文の測定モード図はFletcherらの著書[8]にも引用されている。第4報[11]では、アップライトピアノについて、音の発生過程に従って弦の振動速度、駒点の駆動力と速度及び音圧の波形を同時測定し、1本弦(第5鍵)、2本弦(第15鍵)及び3本弦(第30鍵)の例を図示した。更に、響板の複雑なインピーダンスがピアノ音に与える影響を第1報のアナログシミュレータを再び利用して求めた。

これら中村先生の研究を通じて伺えるのは、まず徹底的に文献調査を行い、まだはつきりしない

ことは自ら実測し、物理モデルのシミュレーションを用いて各要素の役割を明らかにし、かつ可能な限り理論的な解釈をしようという姿勢である。

中村先生と近藤正夫先生の呼びかけで、1980年11月22日に第1回の音楽音響研究会が発足した。中村先生が世話人になり、私が補佐をし、学習院大(近藤先生ご退職後は電通大)、白砂先生のお世話で東京芸大及び小嶋卓さんのお世話で静岡大と年3回の輪番制で始め、その後幾つかの音大を中心として会場を広げて回数も増やして行った。毎回休憩時間に茶菓子を出すのが特徴で、音大の楽器博物館や浜松と名古屋の楽器製作会社等の見学会も催された。発表時間と質問時間を十分に取っていつも活発な議論が行われた。1982年9月に行われた第10回研究会より正式に本学会の研究会として認められた。初代委員長はもちろん中村先生で、4年間続けられた(この間の幹事は私が同じ4年間、小嶋卓さん及び白砂昭一先生と協力して行った)。年間7回開催を原則とし、資料は数件の原稿を中村委員長自ら印刷に回し、出席できなかった会員には委員長と幹事で資料を送付した。会場で配布する資料を持って、朝の暗いうちから中村先生(自宅は私の公務員宿舎と同じ調布市内にあった)と一緒に大阪や神戸に出かけたことを懐かしく思い出す。

### 3. 電通大時代

1984年中村先生は自宅に近い電通大に転任された。赴任されて最初の年には私も一緒にゼミに入れていただき、先生がイリノイ大学客員研究員のとき(1973~1974年)に学んでこられたMUSIC-Vの勉強をした。せっかく教えていただいたので、私もこれを使って「小鳥の鳴き声の合成」を行った。

電通大では、岩岡聡一郎さんをパートナーとして主に計算速度が一段と上がった計算機を有効利用した研究と理論研究を行い、響板を含む弦振動をIIRデジタルフィルタでシミュレートした[1]。また、それまでは考慮していなかったハンマフェルトの非線形性やヒステリシスも扱っている。それらは随時ISMA(音楽音響国際シンポジウム)や音楽音響研究会及び音響学会に発表されている。先生の「春と秋の音響学会には最低1件の発表を自分に義務付けている」という言葉が印象に残っている。

東京での中村先生の活動はますます積極的になり、海外での研究発表や ISMA における日本代表の Advisor として活躍され、本学会誌には主に展望 [12] や解説 [13] と国際会議報告を寄稿された。他の学会にも求めに応じて寄稿されている。

また、米国でのスタンウェイピアノの研究を終えて帰国し当時小野測器(株)におられた鈴木英男さんと共同で、お二人の研究と柳沢等の研究 [14] を英文で海外に発信した [15] 功績も大きい。

#### 4. 帝京技科大時代

平成 3 年 (1991) に電通大を定年退職した後、帝京技術科学大 (後の帝京平成大) に移り、そこで大学院の設立のために 70 歳定年を過ぎても更に数年間籍を置かれた。帝京技科大には、電通大で教え子の長沼さんを伴って行かれ、これ以降の発表論文のほとんどは彼との共著となった。

相変わらず国内国外の両面で活躍され、東京で行われた ISMA '92 において組織委員長と実行委員長を務め、ISMA としては初めてプロシーディングを作り前例としたこと、本学会誌で音楽音響の小特集を組み自らも解説論文を書いて [16] 啓蒙活動をされたこと、文献 [7, 10, 11] を英訳して Acoustical research on the piano, Part 1-3 として本学会英文誌に投稿し [17]、海外に対しても啓蒙活動をされたこと、などが大きな業績として挙げられる。

また、これらを含めた従前の活動に対して本学会の第 19 回功績賞 (1996 年) を受賞された。

#### 5. 退職後の時代

帝京平成大を辞められた後も中村先生の研究意欲は衰えず、東京国際大に転職された長沼さんと共同で音響学会には欠かさず発表をしておられ、中には森太郎さんや私などとの共著の発表もある。特に私の体調が悪かったときには、週に一度の割合で私の大学院生のゼミにボランティアとして数年間来ていただき、80 歳になられたときに「自分の余命に責任を持ってないのでこれで終わりにしたい」と言われるまで続いた。その後も音楽音響研究会への出席をほとんど欠かさず、亡くなる直前まで研究意欲を持ち続け、昨年春の音響学会

での共著が最後の論文となった [18]。

#### 6. おわりに

紙面の都合上、中村先生の話だけにしか言及できない上に後半では中身までも十分立ち入れなかったため、永井敬之亮、高澤嘉光、田口友康、西口磯春、吉川茂の諸先生方の研究は割愛させていただいた。

中村先生は、文献調査不足や内容・表現の誤りにはかなり厳しかったが、一度研究を離れば (例えば懇親会するとき) 誰にでも非常に親切で思いやりのある態度で接してくれた。最後にもう一度哀悼の意を捧げて筆を擱くことにしたい。

#### 文 献

- [1] 吉川 茂, 鈴木英男編著, 音楽と楽器の音響測定 (日本音響学会 音響テクノロジーシリーズ 13) (コロナ社, 東京, 2007).
- [2] CD-ROM 版日本音響学会誌及び *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 1-51, 1-16 (1995).
- [3] 音楽音響研究会資料目録 (1980 年度-2009 年度), 音響学会音楽音響研資, 29(5) 別冊 (2010.11.20).
- [4] 中村 勲, “音楽音響との出会い (随筆),” 騒音制御, 18, 46 (1994).
- [5] 中村 勲, “等価回路による弾性波動の考察,” 音響学会誌, 36, 185-193 (1980).
- [6] 中村 勲, “打弦の振動 (ピアノの音響学的研究 第 1 報),” 音響学会誌, 36, 504-512 (1980).
- [7] 中村 勲, “発音機構のシミュレーション—ピアノの音響学的研究 第 2 報—,” 音響学会誌, 37, 65-75 (1981).
- [8] N.H. Flecher and T.D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, 2nd ed. (Springer-Verlag, New York, 1998).
- [9] A. Chaigne and A. Askenfelt, “Numerical simulations of piano strings. I & II,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 95, 1112-1118, 1631-1640 (1994).
- [10] 中村 勲, “響板の振動・音響特性—ピアノの音響学的研究 第 3 報—,” 音響学会誌, 37, 510-517 (1981).
- [11] 中村 勲, “ピアノ音の特性—ピアノの音響学的研究 第 4 報—,” 音響学会誌, 38, 454-460 (1982).
- [12] 例えば, 中村 勲, “音楽音響 (展望),” 音響学会誌, 42, 260-261 (1986).
- [13] 例えば, 中村 勲, 鈴木英男, “ピアノの音響学的研究の現状 (解説),” 音響学会誌, 44, 963-971 (1988).
- [14] 柳沢 猛, 中村喜十郎, “ピアノハンマーの動圧縮特性,” 音響学会音楽音響研資, 1(1), MA82-6 (1982).
- [15] H. Suzuki and I. Nakamura, “Acoustics of pianos,” *Appl. Acoust.*, 30, 147-205 (1990).
- [16] 中村 勲, 鈴木英男, “ピアノの発音機構と音色 (解説),” 音響学会誌, 49, 178-183 (1993).
- [17] 中村 勲, “ピアノの音響学的研究のレビュー—21 世紀におけるピアノの研究の出発点—,” 音響学会音楽音響研資 (招待講演), 20(4), pp. 9-16 (2001).
- [18] 長沼大介, 岸 憲史, 中村 勲, “響板の影響を考慮したピアノ弦の 2 次元振動のシミュレーション,” 音講論集, pp. 969-970 (2010.3).