

測定に用いたヴァイオリン
左から試作ヴァイオリン（生研製）、Puglis（イタリア製）
鈴木6號（鈴木製）

ヴァイオリンの製作

糸 川 英 夫
熊 谷 千 尋

よいヴァイオリンとわるいヴァイオリンは科学的にどう違うか。古い名器に優るものが今日の技術で作り得るか。いままでの研究結果をまとめるとこれは可能らしい。技術家は名器を安價に多量生産する夢を見ている。

1. 輸出と楽器

ヴァイオリンはほとんど木製であり、小型軽量で手細工によるところも多く、デリケートな働きを必要とする點で正に日本人向きで將來の輸出品として好適と思われる。要は名器を作る秘けつがわかればよいのであつて、よいヴァイオリンを安く作るにはどうすればよいかを探索するのがこの研究の目的である。

2. わが國ヴァイオリン製造界の現状

わが國で本格的にヴァイオリンを工業的に多量生産しているのは鈴木ヴァイオリン會社だけといつてよく、名古屋に本工場木曾福島に分工場がある。いわゆる手細工の高級品は名古屋で作られる。あとはずつと小さい家庭工業的な小工場になり、個人の仕事部屋の中で作られる機械を極力使用する多量生産がよいか、手工業の道を行くのがよいかは問題になるところであるが、木材を使用するかぎり、木材の質そのものが均一でなく個性があるので、一律に寸法をきめられた多量生産方式で行くことには無理がともなう。個々の材料の特質を生かし、これを加工するのに、できるだけ機械力を用いるのが將來の道であろう。

3. 「ストラディバリウス」の祕密

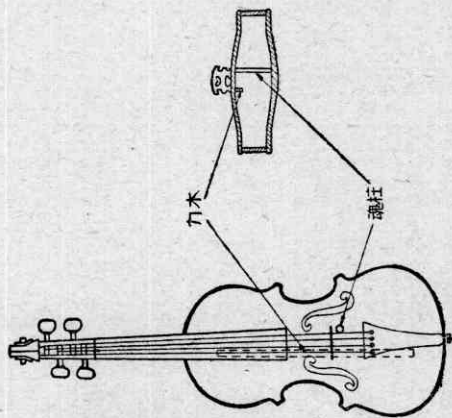
古來、世界的に有名で名器とされているのはストラデ

イバリウス、ガルネリ、アマチなどいずれもイタリアの手工もので製作者の名をもつてよばれ、中でもストラディバリウスがもつとも有名で珍重されている。ストラディバリウスは 1690～1750 年に伊太利に生存した非常な研究家で、立派な科學者でもあつたらしい。多くのヴァイオリンを試作し、作品は前期、中期、後期に分けられる。後期のものは珍しい試みのものが多く、そのために失敗作が多いともいわれている。その死に當つて製法の祕密を全部地中に埋めたという傳説があり、これ以降ヴァイオリン製法の祕密は地下に失われ、後世の人はいたずらに暗中摸索してストラディバリウスの後を追つている現状であるというのが今日の状態で價格の點でもこれらの古器と近代に作られるものの間には桁違いの差がある。

しかしながらこれを工業的にながめると、それ以後、300 年間の科學技術の進歩をもつてしても、なお一天才の作品におよばぬというのはおかしいことであり、骨と的美術品としての價值をのぞいても、なおまだストラディバリウスには抜きがたい音響的魔術が存在するかどうかは今日の科學技術者の大いに興味をそよめる問題である。いわゆる Ageing Effect（年代効果）として膠化や木質と資料の間の化學變化が起るのが差違であるならば、これらの反應を人工的に促進させる方法があり得る。また「弾きこみ」の効果をあげるならば、これも強制振動法で置換し得る筈である。それでもなおストラディバリウスやガルネリウスやアマチを無條件に珍重する一種の神秘主義に對して、當然科學のメスが加えられるはずで、Raman, Backhaus, Meinel, Abbott, Rohlf, Saunder などの研究が從來までに發展されてきている。（卷末文献参照）中でも Saunder を中心とするハーバード大學グループの研究は系統的で優れたものであるが、なお問題は多々残されている。

4. ヴァイオリンの構造と材料

ヴァイオリンの主要部は表板と裏板と、これを連絡す



第1圖 ヴァイオリンの構造

る側板とからなり、表板の裏側には第1圖のように弦の張力によつてかゝつてくる壓縮に對してバツクルしないための補強材として力木が張りつけられてある。この力木は近代になつてつけられたものでストラディバリウス當時には無かつたもので、年代とともに音の調子が高くなつたことに對照して發達してきたもので、この意味で今日残つてゐるストラディバリウスは完全な原形ではない。表板と裏板の間に魂柱が立つていてその上に駒がある。ヴァイオリンを一個の構造體として見ると、側板と裏板が架あるいは支えでこの上に表板を張つたことになる。桶の上面に一枚の膜を張つた小太鼓を考へて、桶の底が裏板に側板が側板に上の膜が表板に相當する。このヴァイオリン構造の基本概念は使用材料の選擇によく現れており、裏板と側板はモミデで固い材料、表板だけがエゾ松(天鹽松がよいとされる)。でよく振動する。

したがつて音波を空中に輻射させる主要要素は表板であるはずで、製作上もつとも苦心の多いところである。裏板からも微弱ではあるが高音域の音が輻射されることが Meinel などによつて報告されている。表板には左右ほぼ對稱にf字孔があてゐる。表裏板ともに中央部で突き合せにはぎ合せるのが普通で、左右の對稱性を保つために、一定の大きさの板を厚みを二分するようにさきこれを切り開いた格好でつぎ合せ、これからけずり出すもつとも裏板は一枚板で作つてあるものもある。素材の選定はかなりやかましく、由緒つきのが珍しくない。指板は黒たんがよいとされるが、他の木に黒い塗料を塗つた代用品も多い。

表板には天鹽松がもつともよいといひ傳へられ、繪で代えたものもあるが、子供用の小型ヴァイオリンでは一應成功したが普通型のもでは成功しない。

木材を使用するために問題が多く、多量生産を不可能にさせるのであるから、他の人工材料や金屬でできないかが、すぐ考えられるところでプラスチックのものも試作され、米國ミシガン大學の Maddy 教授のところでアルミニウム製のものも試作されたが、低音に缺陷があつてもものにならなかつた。これは表板を過大の厚みをもつた木材板で作つた場合と似た現象で、必要な弾性と強度を有し、その上比重の小さい點で木材におよばぬためと考えられる。將來木材より輕く(アルミニウムは木の5倍ある)弾性と強度もある人工材料ができるまで、木材が使用されるであらう。

5. 工作と塗装

機械化された場合ではスライサーで板を薄く切り、これを型で切り、加熱成型する。手工の場合は厚い板からカンナ、ノミ、ノコギリを使つて彎曲した板をけずり出し、最後に紙ヤスリで仕上げる、平板を無理に曲げて彎曲を永久歪として殘したものと、最初から彎曲板の形

にけずりだす差があるわけである。側板だけは薄い平板を加熱成型して彎曲させる。接着はもつぱら膠が用いられている。木材を單に接着する目的からはもつと近代的な人工樹脂系の接着劑ができてゐるが、ヴァイオリンの場合は調整、修理などのために、始終分解する必要があるので分解不能の程度に強固な接着は敷設される。多少の濕氣を與えてチーフを入れただけで分解できるところが膠の利點である。

ヴァイオリン全體の形狀をはじめ、表板の平面形、厚みと厚みの分布、彎曲の度合、その曲線、裏板の厚み、曲り具合などの、いわゆる設計線圖はすべて経験と勘できめられており、多くは古器の追従と模倣である。これに合理性を與えるのが研究の主題になるわけである。

ペーパーで仕上げた後の塗装は、科學的には二つの觀點から考えられる。一つは防濕、一つは音質の改善であるが、商品としてはさらに美術的價値が大きい。防濕の點からは表側だけでなく、胴の内側の面にも塗装すべきであるが古來内側に塗装したものはない。これは音質に悪影響をおよぼすものと信じられてゐるが、これについては後述する。塗料はアルコール系ニスと油系ニスに大別され、速乾性でアルコール系が優り、音質ではオイル系が重んじられる。油は良質の亞麻仁油がよいとされている。これに色素を混ぜて美しい色合ひを出す。オイル系ニスが乾くのは數年から數十年といわれており、これがヴァイオリン研究上に大きな障害の一つになつてゐる。

ヴァイオリンとしての良否はヴァイオリンの本體だけでなく、これにつける駒、弦、の質と、駒の設計、取付け位置、魂柱の位置、などの組み合せて微妙に影響されるので、最後の調整がなかなか面倒であるが、一應問題を單純にするために本稿ではアクセサリーと調整の問題を除外する。

5. 音響機器としてのヴァイオリン

およそ發音體には三つの要素がある。第一に振動部、第二にこれを傳達す可き傳達系でこれには共振系、漚波系をふくむのが普通で、第三に音波を空中に輻射する輻射部である。マグネチック、スピーカーの例では、可動鐵片が振動系、レバーが傳達系でペーパーコーンが輻射體であり、空氣の音響インピーダンスが非常に小さいところから、インピーダンス整合によつてエネルギーをなるべく潭山空中に傳へるために一定の大きさの面積が必要になり、このためにペーパーコーンが必要になる。ヴァイオリンの場合には表板がこれに相當し、弦が振動體、駒が傳達系および漚波作用をつかさどり、胴の中の空氣と表板、裏板がおのおの共振系を形成する。胴の中の空氣は表板のf字孔によつてヘルムホルツ共鳴器を形成する。

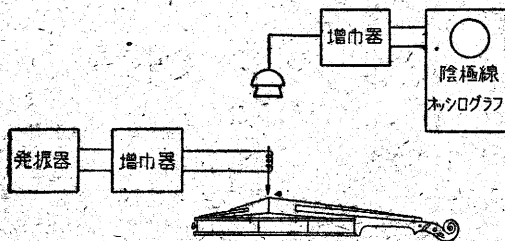
このように考えるヴァイオリンも一個の發音音響機器として考えられるので、その性質も全く通常の音響機器の性能と同じに考えられるはずで、すなわち、

- (i) 周波数特性
- (ii) 音質 (スペクトル構成)
- (iii) 過渡現象に対する特性
- (iv) 効率
- (v) 指向性

に分解される。

6. 周波数特性

ヴァイオリンがだし得る最低音は 'G' で 196 サイクルであるが、これから最高音 3000~ 位迄の間で各音の強さがどう變るか、これをしらべるのにまず厄介なのは「弾くこと」Bowling の問題で、人間が弾いたのでは一定の力が保ちがたし、使用する弓や演奏者の個性が入る。従来行われているのは Raman 以來セルロイドの圓板を廻してこれを弓の代りに弦にある方法で、最近では Saunder が金屬線を弦の代りに張り、これを電磁的に勵振させる方法を行つてゐるが、いずれも弦の振動特性が混入するので、筆者等は駒の側面にバイブレータを接し、ここから弾性波として音をヴァイオリンに送り込む方法を探つて (第2圖) これが駒から表板、魂柱、裏板、胴、空氣と

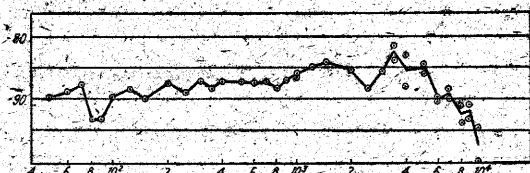


第2圖 周波数特性測定装置

振動させて音をヴァイオリンの正面駒の直上 50cm. のところの音壓で測定し、周波数特性を求めた。使用した増幅器の特性は第3圖のようで完全に平らかである。マイクロフォン-

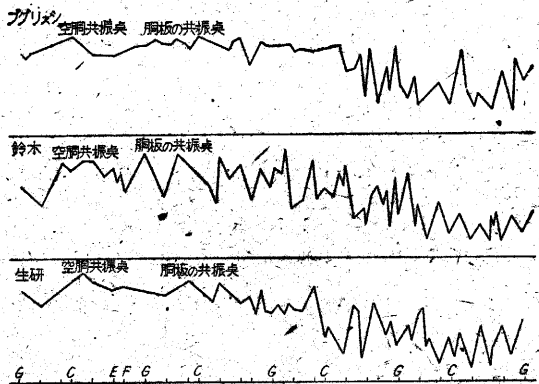
はベロシティ型で、第4圖の校正曲線を有する。勵振は、周波数振振器で連続的に周波数を変え、ピークと谷を

第3圖 増幅器 (電圧増幅部) 特性とつた伊太利 Puglisi のヴァイオリン (時價數萬圓) と



第4圖 ベロシティマイクロフォン特性

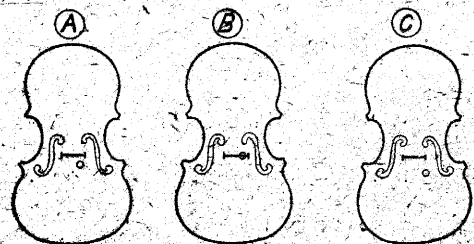
鈴木ヴァイオリン (數千圓) および當所で試作したヴァイオリン Seiken の三種について結果を第5圖に示す。この中 Seiken は板どまりから設計、加工、組立、塗装、調整までの全工程を筆者の一人熊谷の手で行つたもので試作第1號である。



第5圖 胴の周波数特性

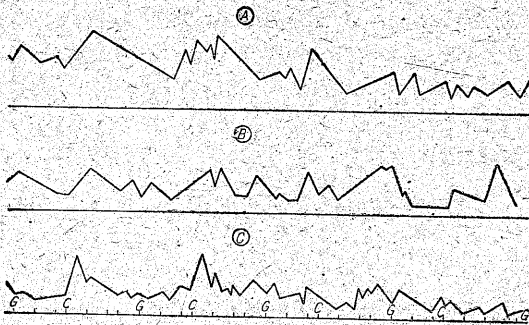
結果は驚く程不規則でピークや谷が相次いで現れる。實際の演奏では始終音が強くなつたり弱くなつたりしてゐるわけである。これは Saunder がしらべた數個のストラディバリウスでも同様に Saunder はオクターブ毎に音の強さをまとめて、大ざつばな傾向をしらべてゐるが、この結果では、ストラディバリウスの特徴は大體フラットであるが中音部で低目にする。大體について餘り高低のはげしいものは悪く、とくに高音部に異常なピークがでるのは安ものの特徴である。ピークの中最低部にあるのは胴内の空氣のヘルムホルツ共鳴器の作用で説明され、f 字孔を近似の精圓でおき換えて理論計算から出した周波数とよく一致する。次に現れるピークは表板の基準振動である。

魂柱の位置によつてヴァイオリンの特性がデリケートに變ることが信じられてゐるので、これを検討する目的で Seiken について第6圖のような三つの位置に魂柱をお



第6圖 魂柱の位置

きかえて、周波数特性を測つた結果が第7圖で、これからわかることは、一般に魂柱が偏向に近い高い方のピークが増す。したがつて高音がよくでるようになる。これは駒から魂柱までの音の傳達経路の大小によつて減衰が違ふためであらう。また空洞のピークはもちろ胴板のピークも魂柱の位置によつては動かないことがわかる。これは魂柱の位置による調整の限界を示すものである。

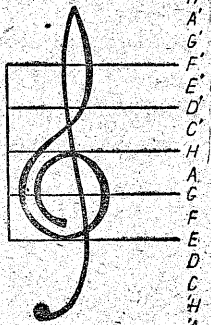


第7圖 いろいろな魂柱の位置
による胴の周波数特性

7. 演奏上もつとも頻繁に現れる音はなにか

ヴァイオリンでだし得る音は第8圖のように 'G から E''' あたりにわたつており、これが前述のようにおの強さが違つてでもものとすると、音色もちろん各音が違うものと考えられる。そこでヴァイオリンの設計上、すべての音に對して最良の強さと音色を與え得ないとすれば、重要な音に對してまづ條件を満足させる方針を採らないわけにはいかなない。

ヴァイオリンの各音に對する演奏頻度を筆者らは下のようにしてし

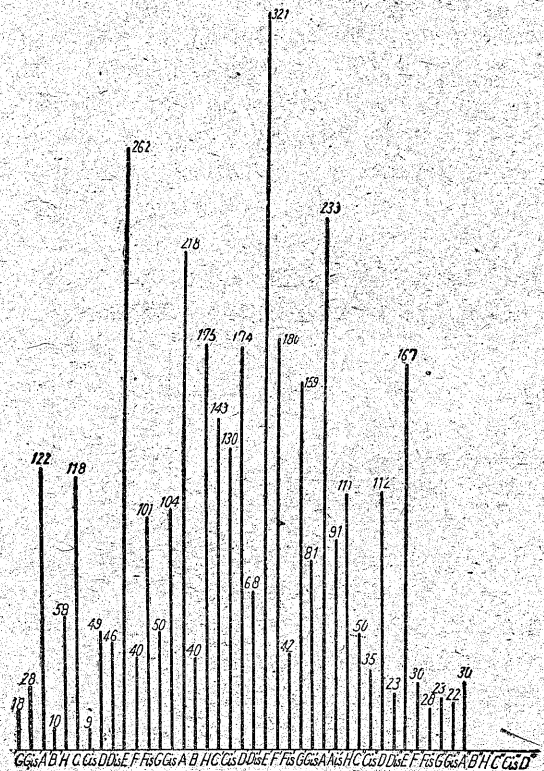


音名	周波数
G ²	313.6
F ²	279.3
E ²	263.7
D ²	234.9
C ²	209.3
B ¹	197.5
A ¹	176.0
G ¹	156.7
F ¹	139.6
E ¹	131.8
D ¹	117.4
C ¹	104.5
B ⁰	98.7
A ⁰	88.0
G ⁰	78.3
F ⁰	69.8
E ⁰	66.0
D ⁰	58.7
C ⁰	52.3
B ⁻¹	49.3
A ⁻¹	44.0
G ⁻¹	39.2
F ⁻¹	34.9
E ⁻¹	32.9
D ⁻¹	29.3
C ⁻¹	26.7
B ⁻²	24.6
A ⁻²	22.0
G ⁻²	19.6

第8圖 ヴァイオリンの音域

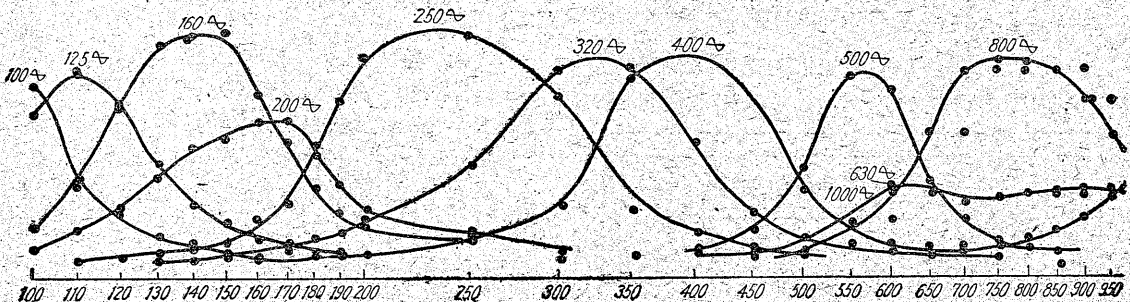
K. から昭和 23 年度に放送されたヴァイオリン曲目を全部集め、この一つ一つについて楽譜から音を拾ひだし

四分音符を 1, 八分音符を 1/2 というようにかきだし、これにメトロノーム記號から緩速に應じて演奏秒時を計算し、これを全曲を通して通算する。例えば第9圖はこのようなして得られたベートベン「クロイツェルソナタ」に現れる各音の演奏頻度である。次いで昭和 23 年度の演奏曲目、全部についての總和を求めると、第10圖が得られ、これが一應ヴァイオリンの各音に對する演奏頻度を與えると思われる。圖に見るように D', E' が最高を示し、次いで A 及び A' になる。少くともこの四音はヴァイオリンにとつて重要な音といつてよいであろう。そこで音量音質ともに、これらの重要な音にはとくに留意が必要である。

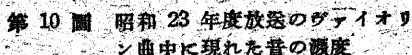


第9圖 各音の演奏頻度

ヴァイオリンソナタ第9集 (クロイツェルソナタ) イ長調
第1樂章アダチオソステマト (1=120) ペートベン

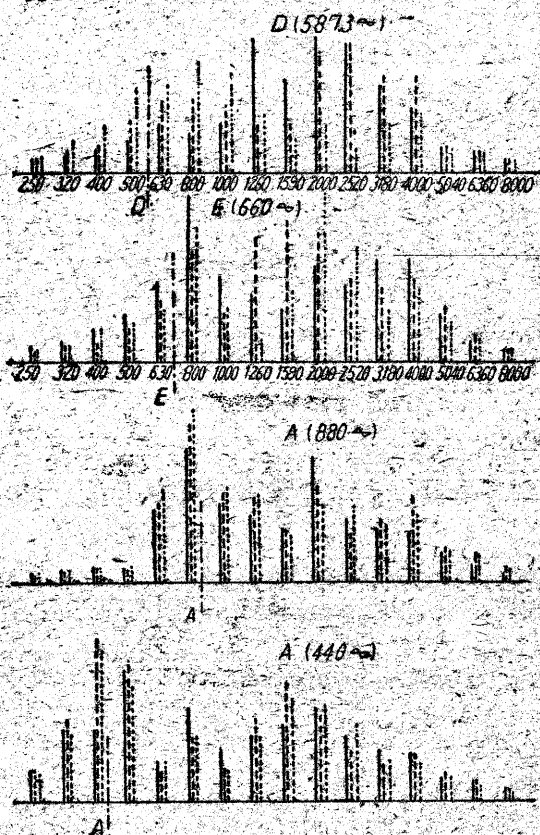


第12圖 スペクトロメータ

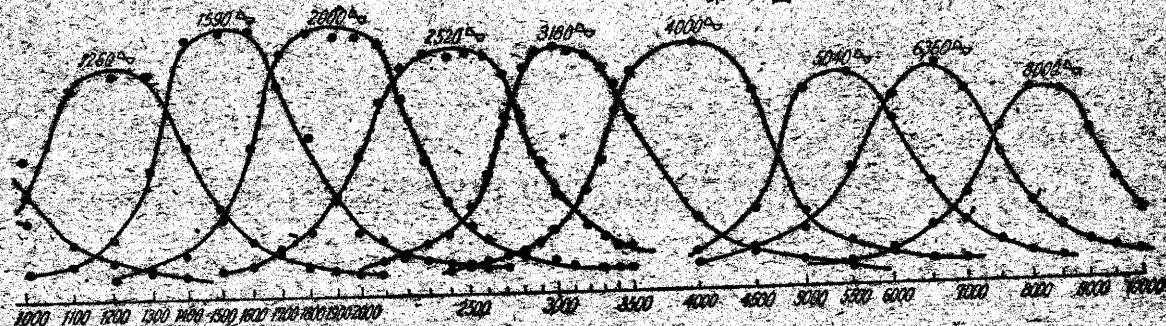


音質をしらべるには前記のような機械的勵振をやらずに人間が弓で演奏し、これをマイクでうけて増幅し、第12圖のような20個の帯域濾波器に通じて各バンドの出力を求めた。演奏者は専門家として多久興氏、アマチュアとして熊谷が行い、音はE線上でのA、A線開放弦のA、A線上のD、E線開放のE、E線上のH、について行い、グイフラートをかけた時とかけぬ時の比較の他に、ヴァイオリンで同じ音をだしたときの分析をも行つた。グメイオリンは鈴木、Puglisi, Spiken の他にフランス製ドイツ製、など数個のものをえらんだ。その結果の一部を第13圖に示す。いずれも基準音は意外に小さく、高い方の部分音に多くのエネルギーが集つてゐる。これ

第 13 圖のスペクトル構成の結果をこの理論によつて解釋するときに當然起る疑問は、ある調子の音を作る場合に二つの方法がある。第一は基準音に力を入れる場合、第二は差音を主とする場合で、例えば A の音をだすのに、440 への單純音でもよいし、880 へ 1320 への二つを混じたものでもよい。前者では原音そのもので A とな



第 13 圖 スペクトル分析の結果



あ、後者者では差音で A となる。いずれが人間によいヴァイオリンの音として感じられるか？

筆者らの行った実験の結果によれば、未だ決定的なことはいえないが、よいヴァイオリンは差音に頼る率が少く、原音が比較的大きい。このヴァイオリンの特色は遠く離れても、あるいは物のかげで聴いても音質が變らぬことで、演奏上重要な性質である。上記の結果が真とすると、下のように解釋できる。差音を主役にするヴァイオリンでは差音を搬送するための搬送波の周波数が高いので、遠方で減衰しやすいし、また廻折しがたい。また高い周波数の搬送波のために耳に不快を與える。この理論を確立するには、なお多くの実験が必要であろう。

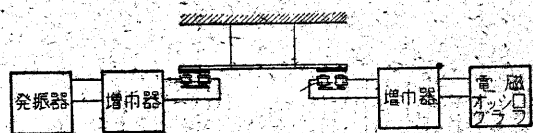
19. 名演奏家はどんなヴァイオリンを好むか

以上多種の周波数特性と音質をもつたヴァイオリンの中から名演奏家はどれを選ぶか。アメリカで Saunders 一派が 1940 年に Jascha Heifetz と Sascha Jacobson によつて行つた Heifetz テストの結果を一言でまとめると（実験の詳細は略す）この兩名によつて最終的に選ばれたヴァイオリンは三つの特性を有する。第一に強力な音のでること。第二に周波数特性の平たんなこと、第三に「弾きやすさ」である。第一の大きな音は安ものでもでるが音を大きくすると同時に音質がくずれる。音質をよく保つたまま大きな音がでるヴァイオリンとは、振動學的にいえば、大きな振幅まで直線性が保たれる直線性の範囲が広いということであろう。第二に周波数特性のフラットなことは常識的な結論ということができ、第三の弾きやすさは過渡的現象に對する特性である。弾き易いといわれる特性で、これは矛盾した要求でストラディバリウス等の名器は減衰が少なく、音がなかなか消えないが同時に、弾き初めの音の立上り、にも時間がかかる。これは「弾きがたさ」の方に近くなるのでむずかしい要求になる。過渡的特性は演奏家にもみ感じられるもので、聴衆にはほとんどわからない。それだから聴衆の好むヴァイオリンと、演奏家の好むヴァイオリンには差があり、聴衆は定常的な特性さえよければよいヴァイオリンと判断をくだす。

10. 塗料の功罪

塗料は演奏家にも楽器商にもはなはだ重大視されている。ヴァイオリンの良否は塗料だけできまると極言する向きもあるくらいである。色合いの美的價值を離れて、純物理的には防濕、板の弾性強度の増加、比重の増加、減衰率に影響をおよぼすはずで、はたして一般に評價されているような大きな役割をもつかどうかは疑問である。筆者等は第 14 圖に示すような装置で Seiken 試作の時に使用した材料（エゾ松）の残りから試験片を作り、これに (i) ラックニス (ii) エステルゴム溶液 (iii) エス

テルゴム、短油性ワニス (iv) フェノール樹脂短油性ワニスなどを塗り、塗装前後においての振動減衰率の差を測定した。その結果によると對數減衰率は塗装前 1.37×10^{-2} であつたものが片面装によつて 1.67×10^{-2} となり 20% 増加となつた。質量の増加は 5~10% で弾性率の變化と相殺して自己振動数は餘り變化しないものと推定され、これは Meinel 等の結果とも傾向的に一致している。



第 14 圖 減衰率測定装置

減衰率の増加は共振點の鋭さ (Q) を低下させるので、周波数特性に現われるピークの頭を平らにする効果が期待される。事實 Seiken について塗装前の周波数特性と塗装後の特性を比較するとこの推定はよく裏書きされるよいヴァイオリンに要求される特性の一つである周波数特性の flat さに對しては好結果をおよぼすが、同時に減衰が大きくなるための「弾きやすさ」や音量の低下という好ましくない結果をまねく。この適量のところを押える點に問題があるらしく、それ以外に塗料の効果は考えられない。

11. 結 語

名器に要求される特性がおおよそ見當がつき、一方ヴァイオリンの特性を科學的に characterize する可能性もついたので、問題はどこをどうするかという理論的結合をつけることになる。これらについては次の機會に發表できることと思う。筆をおくに當つて、この研究に御援助いただいた篠崎弘嗣氏、服部助一氏、N. H. K. 牧田忠氏、多久興氏、多久尙氏らに深謝の意を表する。

〔カットは測定に用いたヴァイオリン。左より試作ヴァイオリン（生研製）、Puglisi（イタリア製）、鈴木氏製。〕

文 献

- (1) C.V. Raman: Phil. Mag. 39. 1920.
- (2) C.V. Raman: Hand. d. Phys. Bd. 8. 1927 (S 381).
- (3) H. Backhaus: Z.f. Phys. Bd. 62. (1930) S. 381.
- (4) R.A. Abbott: J.A.S.A. 7. 111 (1935).
- (5) R.B. Abbott: J.A.S.A. 3. 1. (1941)
- (6) H. Meinel: Akust. Zeits. 2. 22. 462 (1937)
- (7) E. Rohloff: Ams. d. Phys. 38. 177 (1940).
Zeit. f. Phys. 177. 64. (1940)
- (8) F.A. Saunders: J.A.S.A. 19. (1932).
- (9) F.A. Saunders: J. Frank. Inst. 229. 1. (1940).
- (10) F.A. Saunders: J.A.S.A. 17. 3. (1946).
- (11) H. Fletcher: Speech and Hearing P 247.
- (12) 河合平司: 振動 1 巻 5 號. (1947).
- (13) 秋田 順: 理工學研究所報告 1 巻 3, 4 號. (1947).