

研究題目	振動履歴や経時変化による楽器用木材の音響的性質変化に関する科学的見地からの検証	報告書作成者	古田裕三
研究従事者	三好由華(大学院博士後期課程2年)、桐生智明(大学院博士後期課程1年)		
研究目的	<p>木材は、昔から様々な楽器の材料に使用されており、バイオリンやギターといった弦楽器の響板としても用いられている。しかしながら、これら楽器奏者の間では、これら木製の楽器を弾きこむと音が改善される、また、弾き込んだ後に楽器を放置すると、せつかく改善された音が元の状態に戻ってしまうということが知られている。申請者も楽器奏者であるが、このようなことは常日頃から感じている次第である。しかしながら、このような現象が生じる原因や機構については依然科学的に明らかにされていない。</p> <p>一方で、祖父江らは、木材に長期振動を与えると、木材の内部の分子レベルでの摩擦抵抗(以下、内部摩擦と称す)が減少し、振動効率が上昇することを報告し、その機構として、長期振動によって木材分子にエネルギーが加わり、それによって木材分子に生じていたひずみが解消されるためと報告している¹⁾。また、我々の近年の研究により、乾燥や調湿の仕方、その後の経過時間の差異などによって木材の振動特性は大きく変化し、その機構として、木材の分子レベルでのひずみの量や程度が変化するためであると報告している²⁾。これらの考えに基づくと、楽器を弾きこんだりその後に放置したりすることによる音の変化は、木材の分子レベルでのひずみの量や程度に基づくものではないかと推察されるが、科学的根拠に乏しく依然明らかでない。この機構が明らかになれば、弾きこみ時間、弾きこむタイミング、弾きこみ後の放置の仕方や時間的猶予などを、科学的根拠をもって予想しかつコントロールできるようになるとともに、バイオリンやギターなどの弦楽器の製造方法、使用時の注意点、保管の仕方などの手引きが科学的根拠をもって作成でき、さらには音色を制御したり改善したりする技術の基礎も構築できるため、極めて有用である。そこで、本研究では、<u>楽器奏者の間でいわれている、木製弦楽器を弾きこむと音が改善される、また、引き込んだ後に楽器を放置すると改善された音は元の状態に戻ってしまうという事実を、木材の分子レベルにおいて科学的根拠をもって説明するとともに、その成果を今後の弦楽器の製造、使用などの指針の基礎として確立することを最終目的とする。</u></p> <p>木材を取り巻く社会情勢に関しては、例えば、クラシックギターの裏響板に使用されるブラジリアンローズウッドは、森林保護に基づく輸出禁止措置により入手困難である。このような中、最近では、安価で入手可能な樹種が代替材として使用されているが、継続的に入手できるとは言い難い。また、その他楽器響板に適した木材も枯渇しており、良質な楽器用材の入手が困難な状況にある。その解決に向けて、弦楽器響板に用いられる木材の基本的な物理的性質の把握や、薬剤を用いた化学処理による木材の音響的性質の改良が試みられており一定の成果が出ている。<u>しかしながら、このことは、楽器業界に新たな流れを提案する一方で、これまでに培われてきた楽器業界の伝統や文化や技術の衰退に繋がりがかねないという意見もあり、広く実用されるには至っていない。社寺仏閣等の建立に最新建材を用いないのと同じ理屈であろう。一方で、本研究は、薬剤等を用いることなく、楽器用木材の最適な使用方法を科学的裏付けをもって提案しようとするものであり、伝統や文化や技術を継承・発展させるという観点からも意義深いものである。</u></p> <p>○引用文献：1)祖父江ら:材料, 41, p.164~169(1992). 2)例えば、神代ら:材料, 57, p.350~355(2008).</p>		

研究内容

木材の音響的性質については、これまでにいくつかの研究がなされており、それによると、音を左右する重要な物理量として、主として音量を表す比動的ヤング率と、音の伸びを表す内部摩擦が知られている。今回の研究では、弾きこみやその後の放置による音の変化に着目するため、主として重要となる物理量は内部摩擦である。また、内部摩擦は、木材分子の存在状態を表す指標となる。すなわち、木材分子が規則正しく整然と配列している場合は、隣接する分子が接近し振動が伝わりやすく内部摩擦が小さくなるが、不規則かつ乱雑に配列している場合には、隣接する分子に距離が生じ振動が伝わりにくく内部摩擦が大きくなる。

そこで、本研究では、弾きこみやその後の放置を想定した履歴(振動の履歴や放置による水分の変化など)を木材に与えた後の木材の内部摩擦を様々な音階(周波数)において測定【手法①】し、その結果を音の伸びの指標とするとともに、木材分子の存在状態を、分子の配列の仕方の観点から明らかにする。さらに、分子の配列の仕方が変化した場合、なぜそのような変化が生じたのかについての原因を明らかにするため、その原因となるであろう木材分子の結合や官能基のエネルギー状態の測定【手法②】を、履歴前後あるいは履歴を与えている過程について行い、変化の機構について明らかにする。なお、弾きこみやその後の放置による楽器の音の変化が木材特有のものであるかについての情報も得るため、近年弦楽器響板の材料として用いられているアクリル樹脂やアルミなどについても同様の検討を行う。これらの検討を行う具体的な手法は以下に示す2つである。

【手法①】:内部摩擦の測定

両端自由たわみ振動法という手法を用いる。この手法は、これまでに行われてきた楽器用木材の音響的性質に関する研究に用いられてきた方法としては一般的なものである。この手法は、図のように、振動の節となる部分に木材試験体の両端が自由になるように糸をかけ、様々な振動モードにおける共振周波数で試験体を強制的に振動させ、振動を止めた後の減衰を測定するものである。えられた減衰曲線から動的弾性率や本研究で重要となる内部摩擦という物理量が得られる。

【手法②】:木材分子の結合や官能基のエネルギー状態の測定

フーリエ変換型赤外分光光度計(FTIR)を用いる。この手法からは、図のように、木材分子の結合や官能基のエネルギー状態に関する知見が得られ、その知見から、木材分子の結合や官能基に関して、その結合の強弱や官能基の自由度など、これらの存在状態に関する情報が得られる。したがって、木材研究のみならず、多くの材料の分子レベルでの構造の研究などに広く用いられている。本研究では、木材分子の存在状態に特に大きく影響を与える結合や官能基(炭素と炭素の結合や第1級水酸基など)のエネルギー状態に特に着目して検討を行い、その結果から木材の分子の存在状態を把握し、音響的性質の変化を説明する。

<p>研究のポイント (※説明書も参照のこと)</p>	<p>【検討Ⅰ】楽器を弾き込むと音が改善される現象を分子レベルで科学的に説明する。木材は乾燥条件によりひずみの蓄積の程度が異なる。祖父江らの考察を元に乾燥ひずみの解消と長期振動の関係を解明するため、木材に 6 時間長期振動を与えた時の内部摩擦について検討を行った。乾燥ひずみの程度とそれを解消するのに必要な振動エネルギーの関係を解明を試みた。本研究では、乾燥条件を、40℃、105℃、140℃、160℃に振り分け、スギ、スプルー、マホガニーを 6 時間長期振動試験に供試し、内部摩擦を測定した。また、長期振動による分子の存在状態の変化と内部摩擦の対応をみるため、振動前後で赤外吸収スペクトルの測定を行った。</p> <p>【検討Ⅱ】木材以外での弾き込み効果を確認するため、アクリルとアルミニウムで 6 時間長期振動を与え、内部摩擦の変化を測定した。</p> <p>【検討Ⅲ】弾き込んだ後に、楽器を放置すると、改善された音が元に戻る現象を科学的に説明する。長期振動により内部摩擦が低下した木材を振動時と同一環境(20℃、65%RH)で 10 日間放置した時や、一時的に高湿度環境(93%RH)で吸湿させた後に、再び振動時と同一環境で放湿させて含水率を上下させた時の、調湿前後での内部摩擦の測定を行った。また、含水率変化の弾き込み効果への影響の詳細を探るため、湿度条件を変化させた試料を再度長期振動に供試し、内部摩擦を測定した。</p>
<p>研究結果 (※説明書も参照のこと)</p>	<p>【検討Ⅰ】105～160℃乾燥したスギ、スプルーの一部試料にて内部摩擦が低下したが、マホガニーでは全ての乾燥条件で低下しなかった。乾燥温度が高温である程、乾燥ひずみは解消すると言われており、今回の結果でも、ある程度乾燥ひずみが解消された試料のみで、微弱な振動エネルギーによって内部摩擦が低下したと考えられる。また、樹種によっても、あるいは同一樹種間でも個体によって、蓄積する乾燥ひずみの程度に差が生じることが示唆された。なお、IR スペクトルは 160℃乾燥のスギのみ、高波数側へのピークシフトが確認された。この結果から、内部摩擦の低下には、分子間の距離の増加や官能基同士の干渉の低下が関わっていることが示唆された。</p> <p>【検討Ⅱ】両試料ともに、長期振動では内部摩擦の低下は見られず、弾き込み効果は木材特有のものである可能性が示された。</p> <p>【検討Ⅲ】振動時と同一環境で 10 日間放置した試料は、内部摩擦、IR スペクトルに変化が見られなかったが、実験条件が楽器保管の最適条件に近かったからとも考えられる。一方、高湿度環境を経た試料は、含水率上昇に伴い、内部摩擦も上昇し、IR スペクトルのピークも低波数側へ移動した。つまり、含水率上昇に伴い、官能基間の干渉が強くなり、内部摩擦が上昇したと考えられる。また、調湿後に再度長期振動させた場合には、内部摩擦は低下しなかった。これは、調湿後の放置が低温での乾燥に相当し、調湿の操作により、程度の大きな乾燥ひずみが蓄積されたことが原因であると予測される。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>内部摩擦は木材の振動特性の指標の1つでしかないため、長期振動を与えた木材に関して、音に関与すると予想される他の因子についての検討も必要と考えられる。また、本実験では、与える振動エネルギー量が一定であったため、これを変化させての検討や、【検討Ⅰ】に関して、は樹種による組織構造の違いを踏まえた検討、試料の繊維方向を変化させての検討、【検討Ⅲ】については、振動時および放置時の湿度条件、温度条件、試験時間を変えて検討を行うことにより、木材の振動特性の変化機構の更なる解明が期待できる。</p>

<手法①両端自由たわみ振動法>

加振器 受信器

振動を与える 振動を受信し、振動の減衰曲線を得る

図) 測定装置イメージ

減衰

内部摩擦を算出

図) 減衰曲線

<手法②FT-IRの測定原理>

光源 赤外線 吸収 検出

(イメージ図) 薄い試料

官能基の存在情報などが得られる

①官能基同士が近い場合

官能基A 近 官能基X

AがXから受け取るエネルギー大⇨官能基の結合強さ小

②官能基同士が遠い場合

官能基A 遠 官能基X

AがXから受け取るエネルギー小⇨官能基の結合強さ大

①→低波数側の値 ②→高波数側の値 (イメージ図)

<実験手順>

樹種: スギ、スプルース、マホガニー

1時間煮沸 24時間飽水状態で静置

乾燥条件

40°C乾燥	105°C乾燥	140°C乾燥	160°C乾燥
--------	---------	---------	---------

大 ← 乾燥ひずみ → 小

20°C, 65%RHにて、恒量に達するまで約1週間静置

両端自由たわみ振動法、FT-IR

<研究結果>

【検討Ⅰ】 <内部摩擦変化>

160°C乾燥スギ

tanδ [%]

振動時間 [h]

内部摩擦が低下した

乾燥温度、樹種、同一樹種間で変化に差異蓄積する乾燥ひずみの程度に差が生じることが示唆

<IRスペクトル>

1470 1460 cm⁻¹ 1450 1440

CH₃、CH₂の変角振動

振動後ピークが高波数側へ移動

160°C乾燥スギでピークシフトを確認

側鎖と周囲の分子構造との距離が大きくなったことが示唆された

【検討Ⅱ】

アクリル、アルミニウムともに内部摩擦低下は見られず

→弾き込み効果が木材特有のものである

【検討Ⅲ】 <10日放置による内部摩擦変化>

105°C乾燥スプルース

tanδ

0 0.0069 0.0067 0.0065 0.0063 0.0061

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 (日)

長期振動前の内部摩擦

20°C、65%RH環境での放置では内部摩擦は振動前の値に戻らず

弦楽器にとっての保管条件に近い事に起因するのでは

最適環境 温度：20°C前後 湿度：20~40%

<高湿度環境を経た試料>

調湿スケジュール

低温乾燥に相当し乾燥ひずみが蓄積の可能性

①6時間連続振動：振動前→振動後

②再度6時間連続振動：調湿後→振動後2

内部摩擦および平衡含水率が増加

高湿度環境での調湿の影響あり

内部摩擦は低下せず

調湿後の静置が低温乾燥に相当し程度の大きい乾燥ひずみが蓄積したと予測

	含水率 (%)	tan δ	変化率 (%)
① 振動前	9.15	0.0053	100.0
① 振動後	9.15	0.0050	93.1
② 調湿後	10.93	0.0058	109.1
② 振動後2	10.93	0.0058	109.4

※エラーバーはその時間に5回測定した時の標準偏差を示す

(注:フローチャート図,ブロック図,構成図,写真,データ表,グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)