研究概要報告書【音楽振興部門】

（　/　）

研究テーマ	中国古代編鐘の発音･調音に関する研究	報告書作成者	長澤　文彩
研究従事者	長澤　文彩		
研究目的	中国における音楽は儒教の「礼楽思想」の中で重要視され、思想的に大きな意味があった。その「楽」を奏でる楽器もまた、祖先祭祀に用いられる道具として特別な意味があった。特に、青銅製つり鐘形の楽器である「鐘」が複数で１セットを成す「編鐘」は、『周礼』や『史記』などの古典文献の記載から、当時の治世に関わる重要な役割を担っていたと考えられている。そのため、この編鐘という楽器の研究をすることは、中国古代の社会における楽の役割を考えるうえで有用であると考える。（説明書 図１参照）編鐘研究は 1978 年湖北省随州市擂鼓墩１号墓、通称曾侯乙墓から 65 点でセットを成す編鐘が発見されたことにより目覚ましい発展を遂げ、金文学、音楽学、考古学、音響学など多方面から注目を浴びることとなった（説明書 図２参照）。 曾侯乙墓編鐘の発見以降、中国では考古学的な発掘調査の際に、出土楽器対して音高測定が実施されることが珍しくなくなり、音高測定結果は編鐘研究において重要な研究材料となり、その測定結果に基づいた研究も多く見られる。ただし先行研究の中には、音高測定結果と中国古代の音楽理論を直ちに結びつけ「優れた音楽や音楽理論がいかに古くから中国にあったか」ということを文献の記述に当てはめる研究が多く見られ、楽器自体への検討がおろそかにされている傾向は否めない状況である。楽器の機能や役割、さらに当時の楽の実態を解明するためには、楽器自体に対して音楽学・音響学的な発音の分析、そして考古学的な形態分析など、詳細な検討を行なって初めて議論できるものであって、実物資料に基づいた詳細な検討が必要不可欠である。 申請者は修士課程における研究から一貫して中国古代における楽器の役割変化を考察し、当時の楽の実態を明らかにすることを試みてきたが、解明するためには、一方向からの検討だけではなく、多面的に検討することが不可欠であると考えている。これまで、鐘の出土状況・音高組成・紋様の変化・銘文の有無・鐘とその他の楽器との共伴関係、そして鐘の設計と構造の分析などの観点から検討を行なってきたが、本研究では、**鐘が音を奏でるための「楽器」である、という点に注目し、その発音構造と調音の方法に焦点を当て、下記の二つの点について明らかにすることを目的とする。** **①鐘の発音を決定づけている要素と、調音の方法を特定･解明すること。** 先行研究において鐘の発音･調音方法を探る手がかりとして「厚み」「法量」「質量」「調音溝の有無」などが指摘されているが、未だ研究者の間で統一的な見解はもたらされていない。従って、実物資料に基づいてこれらのうちどの要素が発音･調音に最も深く関連しているのか、その妥当性を検討する。 **②発音構造･調音方法の時期的･地域的差異の有無を明らかにすること。** 鐘の発音構造･調音方法について、①での実物資料に基づく考察結果を踏まえながら、出土した鐘について発掘報告書や現地資料調査により情報を収集し、それらに時期的な差異がみられる場合は、時代が下るにしたがってどのような変化がみられるのか、また地域的な差異がみられる場合は、それは当時の社会的な背景とどのように関連しているのかについて、検討する。		

研究内容	本研究では、前述の①②を解明するために、<u>（1）フォトグラメトリによる 3D スキャン技術を用いた考古学的な形態分析と、（2）音響実験による編鐘の発音・振動の音響学的な分析という、二つの方法を用いて検討を行なうこととする</u>。フォトグラメトリによる 3D スキャンでは、目視では確認できない細部の構造まで考察することが可能となるため、鐘の厚みや調音溝を検討する際に有用である。併せて鐘の音響実験を行ない、鐘の法量や規格が発音にどのように影響しているか検討を行ない、発音を決定づけている要素の特定・解明と、発音構造・調音方法における時期的・地域的差異の有無を明らかにすることを目指す。対象は、基本的に出土資料であるが、なるべく、時期的・地域的に広い視野での検討を行なうため、<u>鐘やそれに関連する青銅器やレプリカを所蔵している博物館：</u>国内では浜松市楽器博物館、国外ではロンドンの大英博物館、オックスフォードのアシュモレアン博物館で資料調査を実施し、以前資料調査を行った京都泉屋博古館での調査結果と比較検討した。（説明書図 5～図 10 参照） **（1）考古学的手法：鐘の形態分析・フォトグラメトリによる 3D スキャン技術を用いた分析** ・鐘の形態分析では、これまで行ってきた中国で実施された発掘の報告書データと、資料調査で取得したデータの両方を用い、鐘の質量や法量について傾向を分析することで、その設計の時期的・地域的変化の検討を進める。また、資料調査で出土資料を実見し、紋様や鐘の細部を観察することで、調音方法や地域・時期的な特色の分析を進める。また、鐘の発音を決定づけている可能性のある「厚み」や「調音溝」についても細部を観察し、その妥当性について検討する。 ・フォトグラメトリによる 3D スキャン、法量の測定、スケッチなど、デジタル・アナログの双方で記録を取り観察する。なお、3 Dスキャンについては考古学研究で使用される Metashape を使用する。 ・鐘の実物資料を 3D スキャンする際には、フルサイズカメラを用いて撮影し、精度の高い 3D モデルの作成を行ない、目視では確認しにくい細部の構造まで分析する。また、デジタル計測だけではなく、アナログ計測も同時に行い、実際の編鐘の寸法と 3 Dモデルのずれが最小限になるように注意を払う。（説明書 図 3～4、図 14～15 を参照） **（2）音響学的手法：音響実験による鐘の発音・調音の分析** ・博物館収蔵品のうち、音響実験が可能な資料を用いて鐘を叩いた際に生じる音の測定、録音、鐘の振動観察などの分析を行う。 ・音響実験の際は、室温・測定機器を含む測定環境を記録したうえで、SonicVisualizer 等の解析ソフトを用いて分析を行う。 ・鐘を叩いて鳴らす際には、マレットや木槌等、複数の道具を用いて打撃を加え、打撃を与える道具の違いによって、鐘の発音に変化があるのか分析する。また、打撃を加える強さや箇所によっても、変化があるのかについても注目して分析を行なう。なお（1）と同様に 2023 年度の時点で泉屋博古館所蔵の編鐘（3 点）については調査済であるが、今年度は実物資料では資料保存の観点から行うことができなかった音響実験を浜松市楽器博物館所蔵のレプリカ鐘を用いて行い、両者の比較検討を行った（説明書図 11～12、図 16～27 参照。）

研究概要報告書 【音楽振興部門】

研究のポイント	本研究は、中国古代の「楽」に重要な役割を担った「編鐘」という楽器について、未だ解明されていないその発音構造と調音の方法に焦点を当て、発音を決定づけている要素と調音の方法を特定・解明すること、発音構造・調音方法の時期的・地域的差異の有無を明らかにすることを目的とする。鐘の形態分析・フォトグラメトリによる 3D スキャン技術を用いた分析（考古学的分析）と、音響実験による鐘の発音・調音方法の分析（音響学的分析）により新知見を得ることを目指すものである。今年度は、国内では静岡県浜松市楽器博物館所蔵の編鐘レプリカへの音響実験・3D スキャンを実施し、実物の鐘との音響構造の違いについて検討を行った。また、国外ではロンドン大英博物館、オックスフォード大学付属のアシュモレアン博物館への資料調査を行い、鎛、鐃・甬鐘・鈕鐘・鎛の写真撮影・3D スキャン調査を行った。なお、国外調査では調査受入れの事情により、中国本土ではなく、博物館で古代楽器・中国青銅楽器を多く保有するイギリスにて調査を行うこととなった。
研究結果	国外調査では、大英博物館所蔵の鎛の 3 Dスキャンと写真撮影、実見調査を行った。この鎛は出土地については不明のようであったが、細部の観察を行った結果、紋様から河南省琉璃閣で出土している鎛と同様の紋様・施文方法である可能性があることが分かった（説明書図 5～6）。また、3D スキャンによって、鐘の場合は、横から見た際に上部から下部にかけて直線的な形をしているが、鎛の場合は丸みを帯びて曲線的な形をしていることが分かった。また、これまでの発掘報告書や資料調査の資料と比較した結果、この特徴は西周時代までの鎛には見られず、春秋時代後期以降にみられる特徴である可能性を指摘し得た。この差異が時期的なものであることはほぼ間違いないが、音響を考えてそのような形態へと変化したのかということについては、検討の余地がある。アシュモレアン博物館所蔵の鐃・甬鐘・鈕鐘・鎛鐘の細部の観察と、写真撮影を行った（説明書図 7～8）。それぞれの資料の細部を観察し、鐃については紋様から殷代後期～西周時代前期であり、法量からみても河南省殷墟遺跡周辺のものと類似することから、おそらくこの一帯で出土したものということが指摘し得た。また、甬鐘・鈕鐘・鎛鐘は鼓部の獣面紋様や法量が、山西省潞城潞河一帯から出土した戦国時代の鐘・鎛と類似することから、この周辺で発見されたものと推測された。音響構造は、鐃は開口部は折り返したような唇があるものの、調音溝を設けるほどの分厚さはなかった。翻って、甬鐘・鈕鐘・鎛鐘は調音溝が D5、B1 あたりに深さ 1～3mm 程度、長さ 3 ㎝程度の調音溝が設けられていることから、殷代には調音溝を施すことはなかったものの、戦国時代には確実に調音溝を施しているものがあることが分かった。 また国内調査では、浜松市楽器博物館所蔵の曾侯乙墓編鐘のレプリカ鐘の法量測定・実見調査・音響実験を行った（図 9～10）。とくに音響実験では、今回のレプリカ鐘の実験で得られた録音データと、以前泉屋博古館で行った実物資料、西周後期の虢叔旅鐘との比較検討を行った（図 11～17）。結果として、西周時代の鐘は厚みが分厚いものの調音溝の深さが浅いという形態特徴を持ち、また余韻が非常に短いという発音の特徴があり、一方で戦国時代前期の鐘の厚みは西周時代後期のものと同程度であっても、調音溝が深く長く作られているという形態的特徴があり、また余韻の長さが西周時代後期の鐘の 2 倍近くあるということが分かった（説明書図 18～26）。音響実験の際には複数の演奏道具を用いて、たたく道具の差異が鐘の発音にどのように影響を及ぼすのかを考察し、どのような道具を使用して演奏されたのか検討を行った。結果として、木槌（曾侯乙墓出土の木槌を参考とした）、鹿角製マレット（韓国の編鐘(ピョンジョン)を参考とした）、軟玉製マレット（二里頭遺跡出土銅鈴の舌を参考とした）、綿糸マレット、ゴム玉マレットなど様々なマレットを使用して実験を行った（説明書図 11）。軟玉などの比較的硬い材質のマレットで鐘を叩い

	たときは、余韻が短く、木槌や綿糸マレットなど、やわらかい材質のマレットで叩いたときは余韻が長く聞こえることが分かった。当時の人々が余韻の長い音を「良い音」としていたと仮定すれば、鐘の演奏道具としては柔らかい材質が使用された可能性が高いことが明らかになった。 　また、今回の音響調査の副産的な結果として、マレットの手入れについて知見を得ることができた。今回のレプリカを用いた音響実験や、そのまえの実物資料の音響実験を通して、チャイムマレットを使用したが、木材の中でも硬い樫材が使われているにも関わらず、音響実験で数回叩いた程度でも、マレットの表面にへこみや摩耗がみられた（説明書図 27）。これは青銅製の鐘を叩いた際に、マレット側が消耗してしまったからであるが、もし当時もチャイムマレットのような木槌を使用して演奏していたとするなら、マレットの手入れ方法として、ある程度摩耗してしまったら表面を削るか、あるいはそもそも摩耗しないように布などをかぶせて鐘を叩いていたか、もしくは摩耗してしまったらマレットのヘッド部分のみ外せるようにしておいて交換をしていた可能性もある。このあたりについては、鐘自体の音響構造と合わせて、演奏方法にも大きく関わる重要な観点であるが、現在に至るまで先行研究はほとんどなくないため、重要な視点として今度も検討を継続していきたい。
今後の課題	考古学的な手法の課題としては、とくに 3D スキャンや法量・質量測定で得られたデータを、これまで発掘報告書や図録で公開されている膨大な出土資料と照らし合わせて、どう位置づけることができるかということが課題であると認識している。自分自身の手でデータの収集を行ったものについては、基本的に同じ条件下となることを心掛けているが、発掘報告書や図録で公開されているデータについては、報告者がどのような条件で測定をしたのか、ということは記されていない。したがって、厳密な数値の比較には、この両者を同じ天秤にかけることに難しさを感じることとなった。そのため、法量や質量の数値は参考値とした上で、今後は検討していく必要があるかもしれない。 　音響学的な手法の課題としては、単純に音響実験結果を比較することが出来ないという難しさがある。レプリカ鐘の実物鐘との違い（内部の調音溝や、音梁と言われる盛り上がった部分の作り方など）をどう解釈したうえで実物鐘の参考とするか、鐘の音響実験環境の違い（開口部を下に向けるか、上に向けるか）部屋の広さ、マイクとの距離などをどう克服するか、さらに鐘を叩く強さの問題（一定となるようにより機械的にやるべきか。）、マレット自体の質量の問題（統一的な重さで実験するべきか。）などの課題があげられる。鐘の演奏道具については、中国現地でもほとんど先行研究はなく、注目されてこなかったこともあり、これらの課題があることを認識すること自体に意味があったとは考えられるが、より実験として客観性を持ったデータを収集することができるように工夫し、実験を行う環境を統一的にする努力をもっと行う必要があるると感じている。また、今回はピーク周波数の分析を中心に行ったが、今後は、倍音構造の分析も含めて検討する必要性があると考えているため、これらについては今後の課題として取り組んでいきたい。

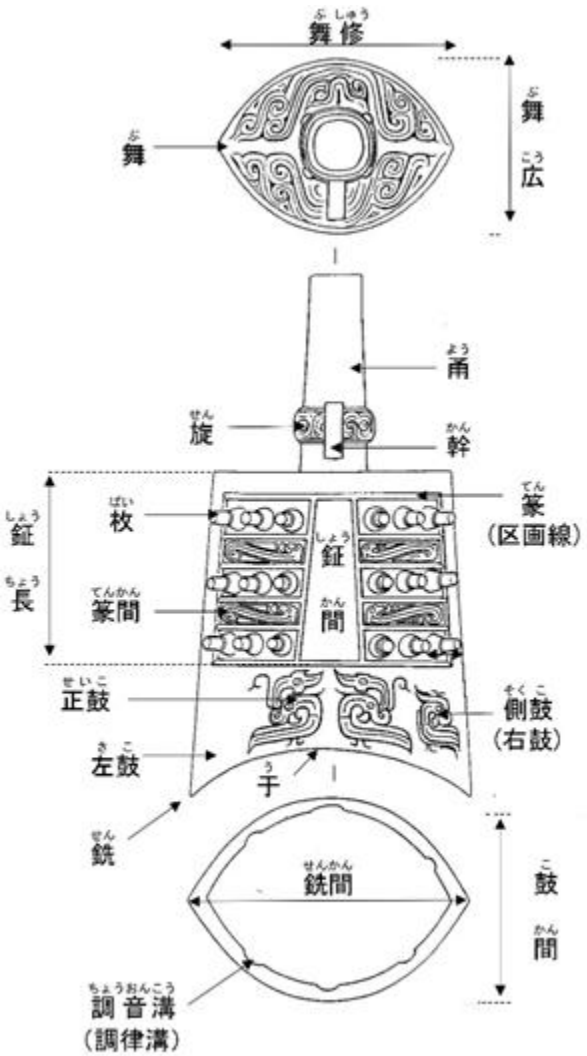


図1　鐘の各部名称（申請者作成）

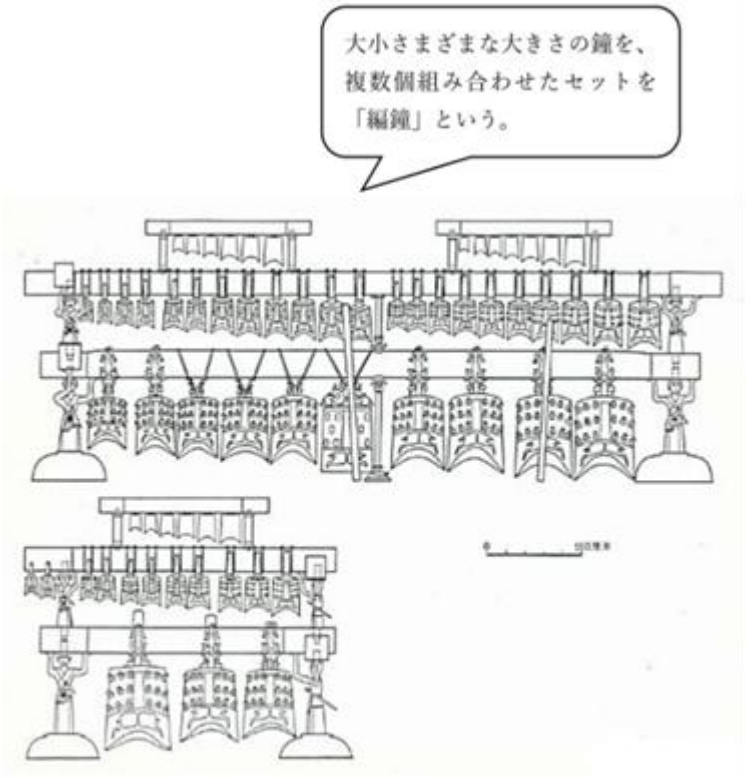
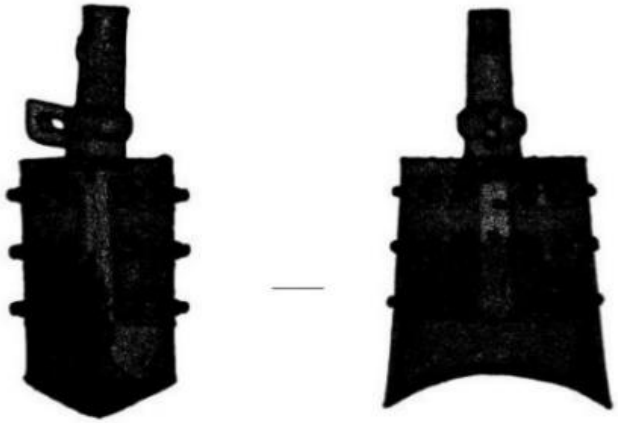


図 2　曾侯乙墓出土の編鐘

（湖北省博物館『曾侯乙墓』文物出版社、1989 年）

図 3　編鐘の 360 度 3D スキャンの一例 （申請者撮影）



側面　　正面

断面図と調音溝の位置

図4　フォトグラメトリソフトを活用した鐘の 3D モデル作成と構造分析の一例 （申請者作成）

【資料調査】

図 5　ロンドン　大英博物館での資料調査

図 6 大英博物館所蔵の鎛

図 7 オックスフォード　アシュモレアン博物館での資料調査

図 8 アシュモレアン博物館所蔵　鐃・甬鐘・鈕鐘・鎛鐘

図 9 浜松市楽器博物館での音響実験調査

図 10 浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘の音響実験

【鐘の音響実験】

鐘の開口部から3cm程度の高さで表(ここでは幹が見える側を表とする)、表側に合計5か所の印(D4/A1/A3/A5/B2)に印をつけ、それぞれの箇所をたたいた音を録音した。**(図13)**
打撃はなるべく一定の強さになるようにしながら、5種類のマレットでたたいた時の鐘の発音の変化を考察した。

●音響実験に使用した道具 **(図11)**

【マレットの種類】

② 木製チャイムマレット:YAMAHA CHM-601

②鹿角製チャンチキ用マレット:太鼓センター社 鹿角製(大)

※レプリカ鐘のみ

③軟玉(ネフライト)製の棒

※レプリカ鐘のみ

④綿糸巻マレット:YAMAHA MV-5020

⑤硬質ゴム玉マレット:YAMAHA MR-1110

⑥ウッドマレット:PLAY WOOD MTT-35M

※実物資料のみ

⑦エナジーチャイム用マレット:ツリーワークス TRE03M

※実物資料のみ

図11 音響実験に使用したマレットの種類

●録音に使用した機器 **(図12)**

①業務用フィールドレコーダー:Zoom F3

② ペンシル型コンデンサーマイク:Zoom ZPC-1(単一指向性)

③ ハンドヘルド型2トラックレコーダー:Zoom M2 MicTrak

図12 録音に使用した機器

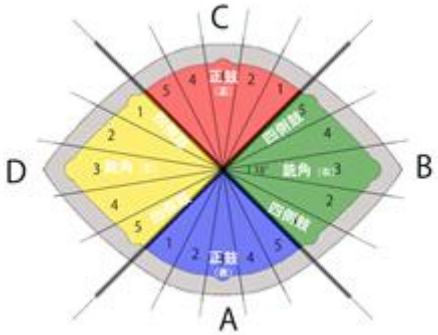


図13 鐘のたたく位置

①浜松市楽器博物館所蔵　レプリカ鐘

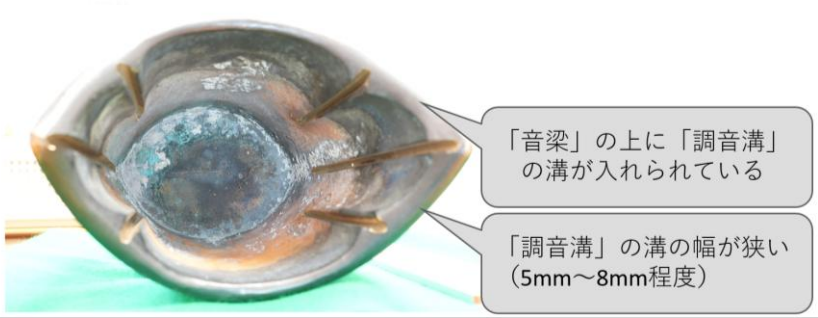


図 14　鐘の内部構造と特徴（浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘）

②泉屋博古館所蔵　虢叔旅鐘

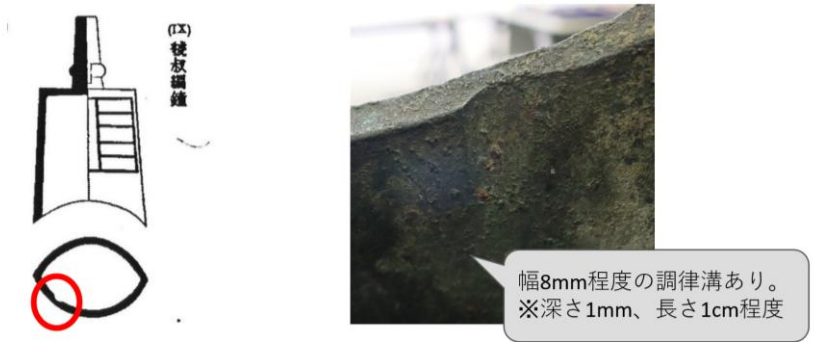


図 15　鐘の内部構造と特徴（泉屋博古館所蔵　虢叔旅鐘）

・場所
　レプリカ鐘：浜松市楽器博物館　地下１階　体験ルーム
　虢叔旅鐘　：泉屋博古館　１階　会議室・資料庫

・音響実験方法
　レプリカ鐘：架台に掛かった状態で鼓部の中心を叩く
　虢叔旅鐘　：開口部を上に向けて鼓部の中心を叩く

浜松市楽器博物館での音響実験

泉屋博古館での音響実験

図 16　音響実験の環境

・　余韻の長さ：音の持続時間
・　音色：周波数成分の強さ
　→演奏道具（マレットごと）にどのような差異があるか？
　　取得した音のデータを、音響解析ソフトSonic Visualizerで分析。

●スペクトログラム　Spectrogram
縦軸：音の高さ（単位：Hz）
横軸：時間（単位：Sec）
色の違い：強くなっている部分（単位：dB）

●ピーク周波数　Peak Frequency Spectrogram
縦軸：音の高さ（単位：Hz）
横軸：時間（単位：Sec）
色の違い：強くなっている部分スペクトログラムのうち、特に強く出ている周波数を示す。（単位：dB）

●波形　Wave Form
縦軸：音の大きさ（単位：Hz）
横軸：時間（単位：Sec）

図 17 音響分析で注目した要素

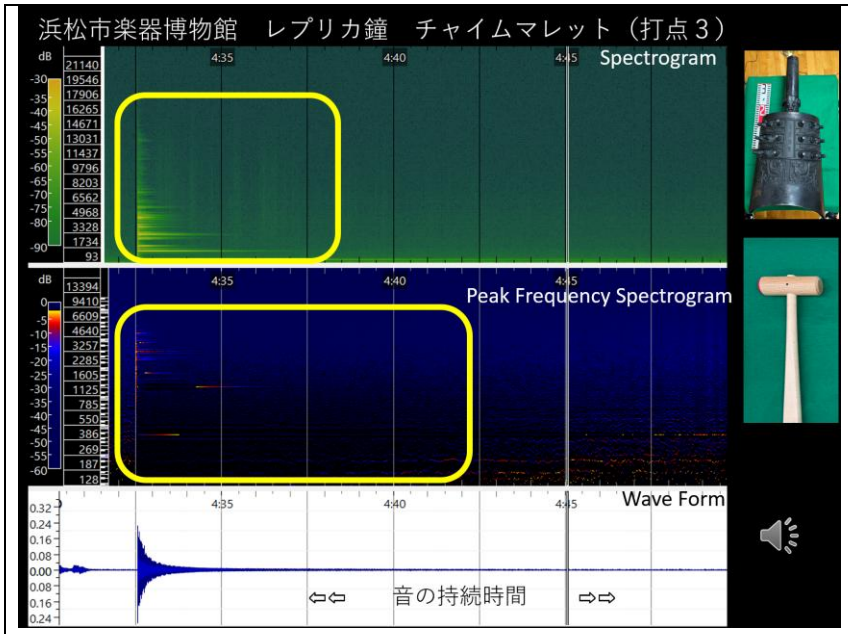


図 18　浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘　チャイムマレット(打点 A3)

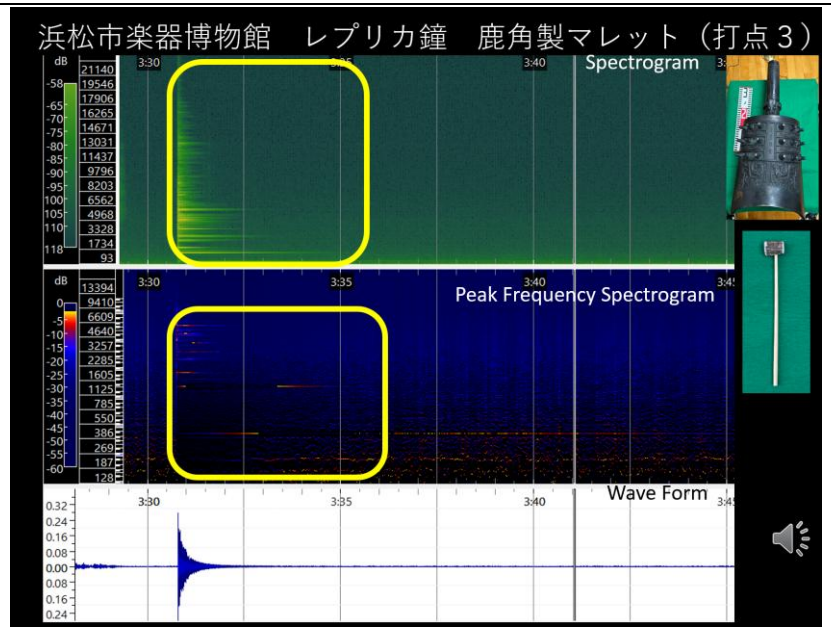


図 19　浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘　鹿角製マレット(打点 A3)

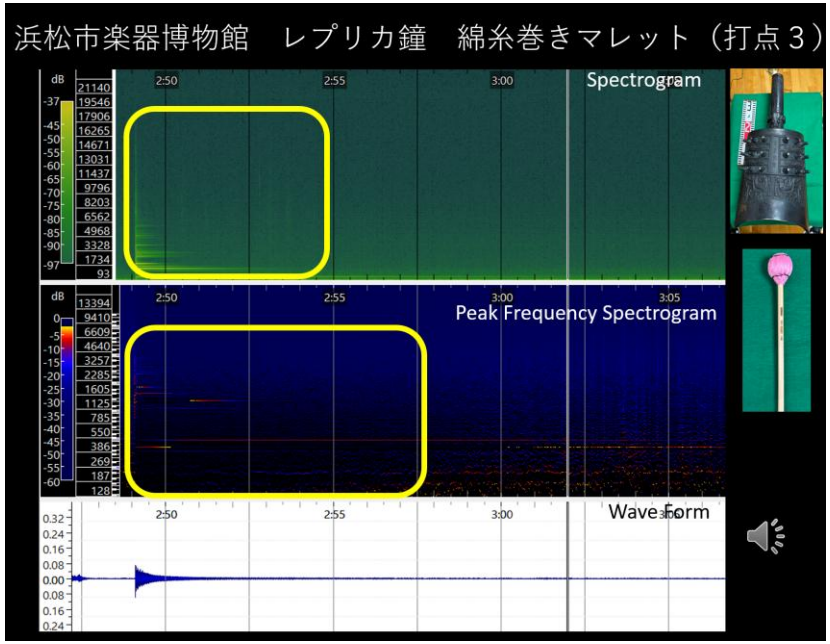


図 20　浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘　綿糸巻きマレット(打点 A3)

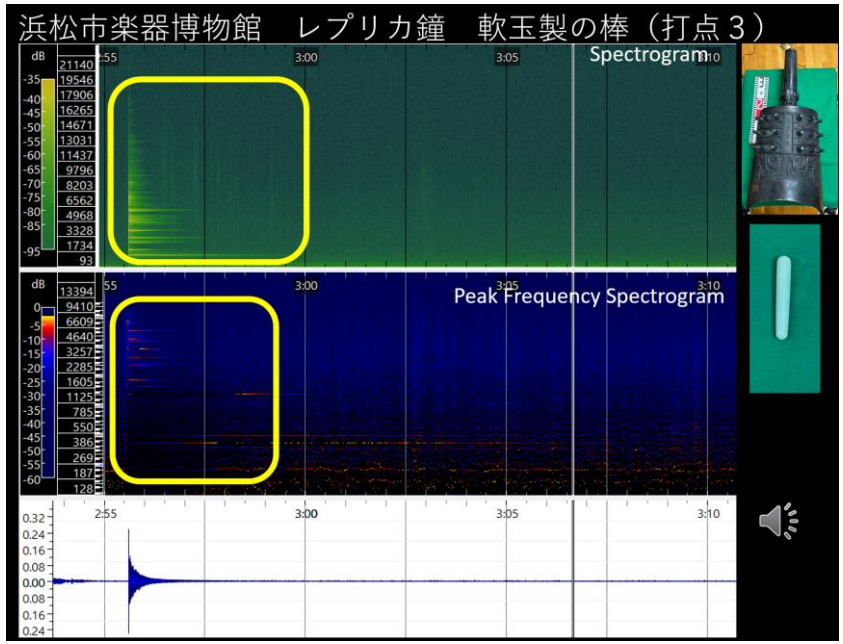


図 21　浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘　軟玉製の棒(打点 A3)

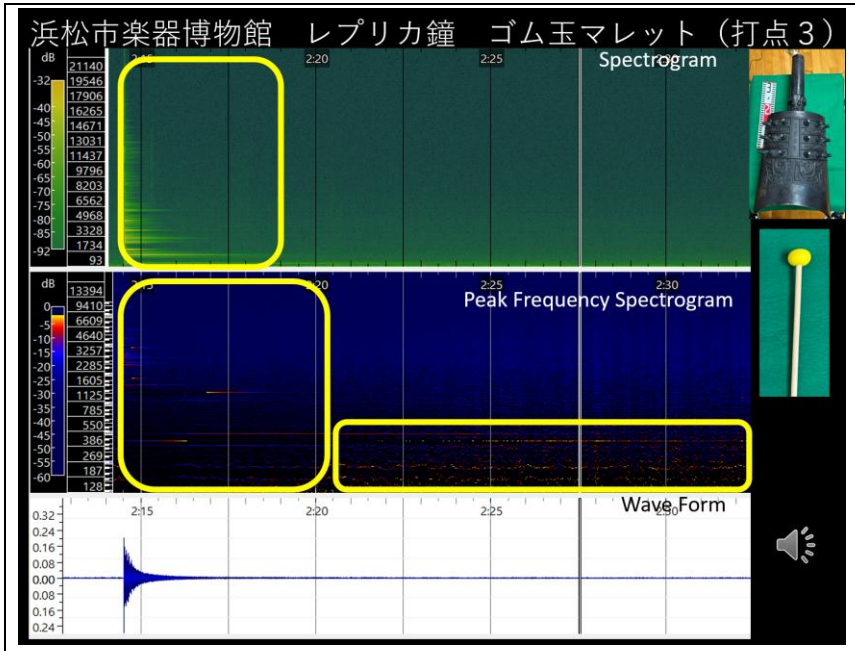


図 22　浜松市楽器博物館所蔵レプリカ鐘　ゴム玉マレット(打点 A3)

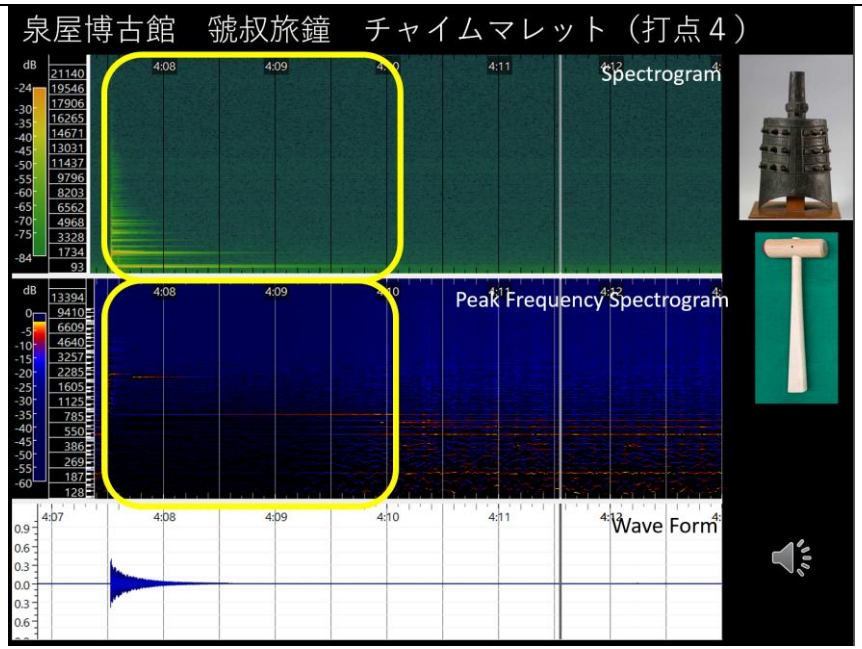


図 23　泉屋博古館所蔵　號叔旅鐘　チャイムマレット(打点 A3)

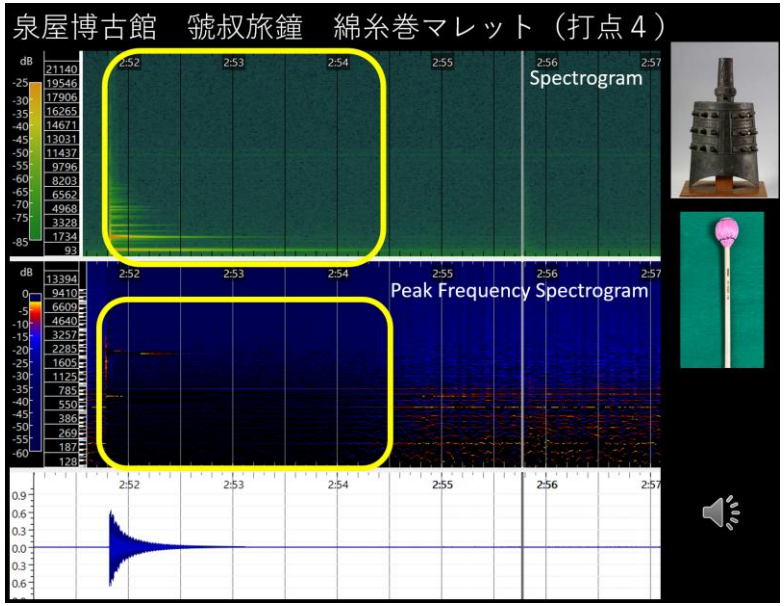


図 24　泉屋博古館所蔵　號叔旅鐘　綿糸巻マレット(打点 A3)

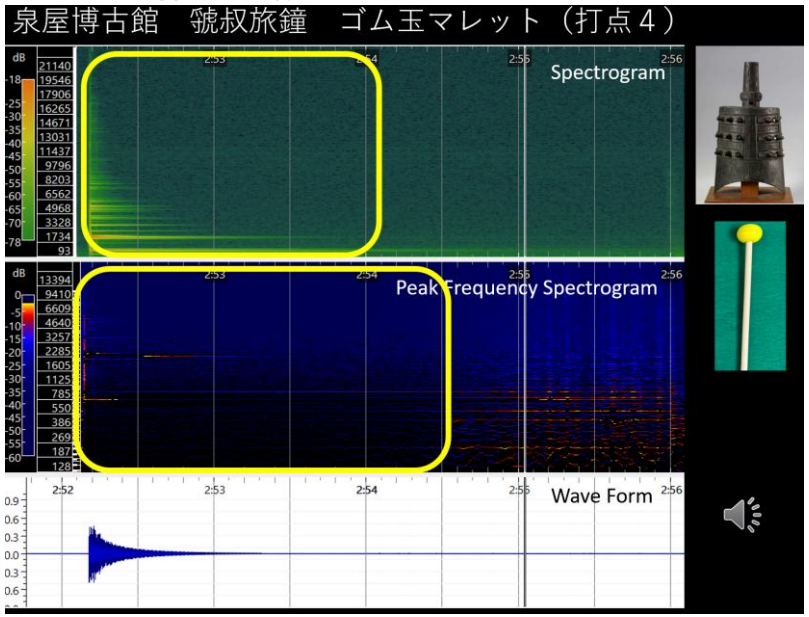


図 25　泉屋博古館所蔵　號叔旅鐘ゴム玉マレット(打点 A3)

マレットの種類	レプリカ鐘（浜松） ※戦国時代	実物鐘（泉屋博古館） ※西周後期
チャイム	特定周波数の持続：11 秒/15秒 ピークの変化　　：高➡低➡高	特定周波数の持続：11 秒/6秒 ピークの変化　　：高➡低
鹿角	特定周波数の持続：5 秒/15秒 ピークの変化　　：高➡低➡高	×
綿糸	特定周波数の持続：8 秒/15秒 ピークの変化　　：高➡低➡高	特定周波数の持続：11 秒/6秒 ピークの変化　　：低➡高
軟玉	特定周波数の持続：4秒/15秒 ピークの変化　　：高➡低➡高	×
ゴム	特定周波数の持続：7秒/15秒 ピークの変化　　：高➡低➡高	特定周波数の持続：11 秒/6秒 ピークの変化　　：低➡高

図 26　音響分析結果のまとめ

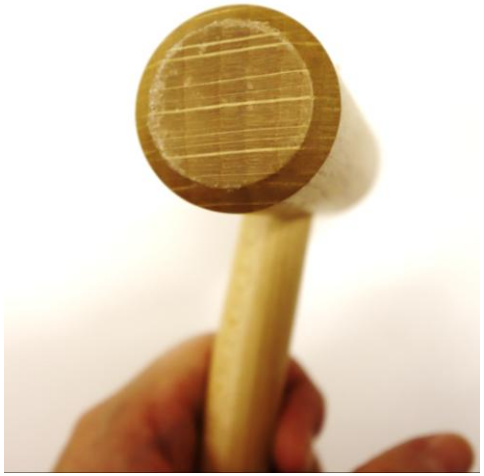


図 27　音響実験後のチャイムマレットの摩耗状況

（注：写真，データ，グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。）