

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K02292

研究課題名(和文)音響解析を用いたインドネシア・バリ島のガムランの変遷

研究課題名(英文)Changes of Balinese Gamelan in Indonesia by Acoustical analysis

研究代表者

塩川 博義 (SHIOKAWA, Hiroyoshi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：50187324

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず11セットのガムラン・プレゴンガンの音高について測定解析を行い、それらの音名'ding'における音高は、ほとんどC# からD# の間であることが明らかにした。そして、有限要素法によるガムラン音板の3次元固有振動解析を行った結果、ガムラン音板の台形断面形状は、限られた質量での振動数の向上に寄与する優れたバランスであることが確認され、反り高さは基本振動数への影響は小さいことがわかった。さらに、アンコール古代遺跡の浮彫に描かれたゴングの調査では、コブ付ゴングは13世紀中頃から16世紀中頃までの約300年間にカンボジアにおいて旋律音楽の発展とともに演奏され始めたという考察が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、詳細な音響分析と精緻な音楽演奏研究、文化コンテクスト研究の視点からガムラン音楽をとらえるという音響学と民族音楽学の学際的見地から、はっきりと判らなかつたバリ島のガムランの調律および製作方法や構成楽器の変遷を明らかにすることができ、さらには18世紀末から21世紀までのバリ音楽史を音響面から明らかにすることができる。このことは、従来、理工学的な方法を採用してこなかつたガムラン音楽の研究に大きく寄与するばかりでなく、国際的にも民族音楽学分野に対して大きな刺激となる。また、ガムラン音楽に対する伝統文化財としての保存や新たなガムラン音楽の創作等に対しても影響を与える意義あるものである。

研究成果の概要(英文)：11 sets of Gamelan Pelegongan were measured and their pitches calculated from frequency analysis of keyboard instruments were compared and examined. As a result, the pitch of the lowest tone in five keys, the pitch name 'ding', for the 10 sets of Gamelan Pelegongan was between C# to D#. The sound emitted by the sound bar originates in an inherent vibration characteristic, and thus the relationship between the shape of the sound bar and the fundamental frequency was examined. As a shape characteristic, it was confirmed that a trapezoid cross-sectional shape results in excellent balance that contributes to improved frequency at a limited weight, and the curvature had minimal impact on the fundamental frequency.

As the research of gongs carved in reliefs of Ancient Angkor Remains, it is considered that bossed gongs began to be played along with development of music with melody in Cambodia for approximately 300 years from the middle of 13th Century to the middle of 16th Century.

研究分野：音響工学

キーワード：音響解析 ガムラン・プレゴンガン ガムラン・スマルブグリンガン 基本周波数 音板の形状 アンコール古代遺跡 コブ付きゴング フラット・ゴング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

挑戦的萌芽研究(研究番号:22652020、平成22年度から24年度、研究代表者:塩川博義、研究題目:「音響解析を用いたインドネシア・バリ島のガムランの変遷」)および基盤研究(C)(研究番号:25370114、平成25年度から平成28年度、研究代表者:塩川博義、研究題目:「音響解析を用いたインドネシア・バリ島のガムランの変遷」)においてガムラン・ゴング・クビヤールを中心に測定解析し、まとめてきた。そのときにガムラン・プレゴンガンやガムラン・スマルプグリーンガンに関しても、いくつか測定を行っている。また、有限要素法により、青銅製ガムラン音板の3次元固有値解析も行った。そして、インドネシア・バリ島のガムランの起源や変遷を探るために、インドネシアの他の地域やインドシナ半島にある金属製打楽器についても調べる必要が出てきた。

## 2. 研究の目的

本研究は大きく3テーマに分けられ、それらの目的を以下に示す。

### (1) インドネシア・バリ島におけるガムラン・プレゴンガンの音高

バリ島で一般的に使われているガムラン・ゴング・クビヤールを中心に、日本とバリ島で、約100セットのガムランの測定解析を行ってきた。その結果、バリ島の教育機関 SMKI と ASTI と関わりのあるガムラン・ゴング・クビヤール11セットの音名 'ding' の音高はC#かDであり、特にASTIより新しいそれらは、いずれもC#であることが明らかにされた。

そこで本研究では、さらにガムラン・ゴング・クビヤールよりも古く、レゴンダンスあるいはパロンダンスの伴奏のために使われるガムラン・プレゴンガン11セットの鍵盤楽器における基本周波数の音高を分析し、比較することを目的とする。

### (2) ガムラン音板の固有振動特性に及ぼす形状の影響

ガムランの鍵盤楽器類は発音体である音板が音階に従い配列され、パチで叩いて演奏する。これらの鍵盤楽器類で用いられる音板は、断面形状や反りなど特徴的な形状をしており、それら形状が音律の多様性や不協和な倍音構造、うなりの発生など様々な音響効果を生みだしていると考えられる。しかしながら、バリ島における楽器製作はモノ作りではなく音作りであり、各音階などに対して決められた形状がなく、パンデ・ガムラン(Pande Gamelan)といわれる楽器鍛冶の経験に基づき製作される。音板は断面形状が左右対称な台形であること、長手方向に山なりに反りを有するなど特徴的な形状を有するが、これらは経験に基づき設計されるものであり、工学的な意味は明確ではない。また、楽器編成ごとに音が決められるため、破損した音板を交換することが難しく、必要な音より復元する必要がある。そこで本研究では、要求される音からのガムラン音板設計・製作を目的とし、その基礎研究として音板形状と基音の固有振動数(基本振動数)との関係について調べることを目的とする。

### (3) アンコール古代遺跡の浮彫に描かれたゴングに関する一考察

東南アジアには、青銅製打楽器が広く分布している。特にインドネシアのジャワ島やバリ島では、青銅製ゴングが重要な楽器としてガムラン音楽で使用されている。中国やベトナムで紀元前に製作された銅鼓が発見されているので、青銅製打楽器は、東南アジアから長い年月を経て、インドネシアへ伝わったものと考えられることは容易に推測できる。しかし、いつ頃、何がどう伝わったのかは、はっきりとはわからない。また、現在、インドネシアのガムランで重要な楽器として使われるコブ付のゴングは、どこが発祥地でいつ頃製造されたのかははっきりとは分かっていない。そこで本研究では、カンボジアにあるアンコール古代遺跡、パプーオン寺院、アンコール・ワット寺院およびバイヨン寺院の浮彫に描かれたゴングの調査を行い、11世紀から16世紀までのゴングの変遷について考察することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) インドネシア・バリ島のガムラン・プレゴンガンの音高

現地に赴き、まず、ガムラン・プレゴンガンにおける楽器の音を録音する。測定対象のガムラン・プレゴンガンは11セットあり、いずれもバリ島南部に存在する。これは、レゴンダンスやパロンダンスがバ

リ島南部の発祥であることが理由と思われる。録音機には、DAT あるいは Wave Recorder (サンプリング周波数 44.1 あるいは 48kHz、録音モード 16 ビット)を用いる。基本的に周波数を測定するだけなので、暗騒音に気をつけながら周りが静かなとき、それぞれの楽器の鍵盤を一つずつ叩き、オーバーロードしないようにレベル調節を行い録音した。録音したデジタルデータを Wave ファイル形式でコンピュータのハードディスクに保存し、それらを B & K 製の FFT ソフトを用いて周波数分析を行い、各鍵盤の基本周波数における周波数を求める。さらに、A4 の音を 440Hz とし、各鍵盤の周波数  $f$  (Hz) をセント数値に変換し、各音高を西洋音楽の十二平均律で表示する。最終的に 4 オクターブ分の各 5 音階の音高を平均する。

(2) ガムラン音板の固有振動特性に及ぼす形状の影響

調査分析方法として、既存のガンサ・プマデの音板形状測定および音響解析を行い、形状パラメータが与える振動特性への影響について明らかにする。また、形状パラメータの影響を見るため任意の形状の音板を作成し音響測定を行う。さらに、音板設計の基本モデルとしてグロックンシュピールをはじめとした鍵盤打楽器音板の設計に用いられる両端自由梁を利用できるかの検討も行う。

(3) アンコール古代遺跡の浮彫に描かれたゴングに関する一考察

パプーオン寺院、アンコール・ワット寺院第一回廊およびバイヨン寺院の壁面浮彫に描かれている金属製打楽器ゴングについて調査して、撮影してきた写真に描かれているゴングを比較検討して考察する。

4. 研究成果

(1) インドネシア・バリ島のガムラン・プレゴンガンの音高

ガムラン・プレゴンガン 11 セットの音高を Table 1 に示す。

11 セット中 3 セットは、トロンボンがあるガムラン・スマルプグリンガンでもある。ガムラン・プレゴンガンは、ガムラン・ゴング・クビヤールと同様、ペログ音階を持っている。これらを分析した結果、10 セットの音名 'ding' における音高は、いずれも C# から D# の間であることが明らかにされた。ガムラン・スマルプグリンガンに分類されるトロンボンがあるガムラン・プレゴンガン 3 セットのそれは、いずれも D# である。トロンボンがないガムラン・プレゴンガン 7 セットのそれは、D か C# である。特に、1930 年以降に製作されたもののそれはすべて C# である。これらから、当初、器楽演奏用のガムラン・スマルプグリンガンとして製作されたガムラン・プレゴンガンの音名 'ding' は、基本的に D# で製作されて、20 世紀に入り、レゴンダンスやパロンダンスなどの踊りの伴奏に使われるようになるにしたがって、ガムラン・プレゴンガンは音高を下げ製作されるようになっていったという傾向がみられる。

Table 1 The Pitches for the 11 sets of Gamelan Pelegongan and one set of Gamelan Gong Kebyar

Set	Owner	YEAR	1(cent)	2(cent)	3(cent)	5(cent)	6(cent)
A	ISI	ca. 1990	C# +47	D# -38	E +16	G# +20	A# -49
B	Blah Kiu	pre.1950	C# -34	D +12	E -18	G +46	A -37
C	Abian Nangka Kaja	pre.1936	C# -1	D +45	E -3	G# -15	A -3
D	Meranggi	ca. 1935	C# -45	D -15	E +33	G +19	A +20
E	Klandis	early 1930s	C# +47	D# -21	F -19	G# +30	A +37
F	Carik Tista	ca.1937	C# +45	D# -31	F -40	G# -5	A +31
G	Tunjuk(Leko)	pre.1925	D +34	E +42	F +0	A -21	B +8
H	Ketewel	18-19th cent.	D# +18	F# +5	G# -34	C -41	C# +15
I	Teges Kanginan	19th cent.	D# +14	F -9	G -9	A# -24	B +10
J	Bongan Jawa	pre.1950	D# +1	E +37	F# +2	A# -40	B -4
K	Taman	pre.1930s	F -9	G +41	A -26	C +3	D +27
L	ISI(Gong Kebyar)	1969	C# +43	D# -30	E +26	G# -20	A +12

(2) ガムラン音板の固有振動特性に及ぼす形状の影響

Fig.1 に理論値と実測値を示す。これによると、グロッケンシュピールの測定結果と同様に実測値に比べ理論値が若干高い値を示す。音板 8 は理論値と実測値がほぼ同一であり、他の音板では差が 10%以内であるのに対し、音板 9 では 20%となるなど調律の影響も見られる。音響測定する際に、打撃音によるノイズを軽減する弱い力で打撃し音響測定および解析を行った結果、音板 1 から 10 の基本振動数は演奏者が打撃した結果と同一であったが、音板 11 では 345Hz、音板 12 では 324Hz と高い値を示す。これは音板 11 および 12 は薄いため、打撃時に断面形状が変形した可能性が考えられる。以上のことから、ガムランにおいても両端自由梁によるモデル化は妥当であるが、いずれの音板でも 10%程度低い値を示す。しかしながら、それらの差異は調律できる範囲であること、また、加工工程が複雑であるため高精度の製品を得ることが難しいことから、両端自由梁と仮定した際の基本振動数の差異は許容範囲であると考えられる。

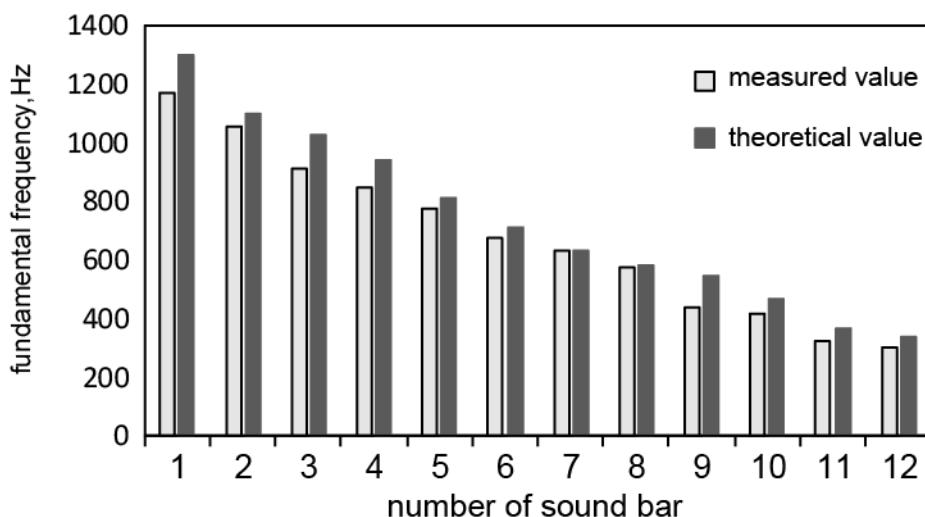


Fig. 1 Comparison of measured fundamental frequency value of each sound bar with theoretical value

以上より、音板の基本振動数には断面形状の影響が強く、他の鍵盤打楽器にない特徴を示すことがわかり、基本振動数を両端自由梁と 1 次モードと仮定することにより、目的の音から音板の設計は可能であることを明らかにした。

また、製作した音板の詳細および調査分析結果を示す。設計製作した音板は実験に用いたガンサ・プマデにさらに 1 音上および下に音板があると仮定し、基本振動数が(a)音板 1 より 50Hz 高い 1200Hz および(b)音板 12 より 50Hz 低い 250Hz とした。設計および制約条件として

質量：900g

楽器の美観を目的として線形的に変化させるため、長さは隣接する音板より 5mm 差とし、幅は長さの 1/4 とする。

$W_2/W_1$  (台形の上幅 ( $W_2$ ) と下幅 ( $W_1$ ) との比) 0.45, 4) 曲げ半径は 800mm とする。

Fig.2 にガムラン音板の測定位置を、Table 2 に作製した音板の形状寸法および基本振動数を示す。目標値と比較すると製作した音板の基本振動数は(a)では 35Hz、低音である(b)では 24Hz 高い値を示すなど差が見られる。しかしながら、実際の音板製作では成形後に裏面の切削などで調律され、調律による基本振動数変化量を測定した結果、変化量が大いところでは約

50Hzの増減が認められた。このことから本実験で作成した音板の振動数差は許容の範囲と考える。

これらの結果から、形状の特徴として、台形の断面形状は限られた質量での振動数の向上に寄与する優れたバランスであることが確認され、反り高さは基本振動数への影響は小さい。しかしながら、条件が与える機械的性質への影響が大であったため、精度の設計を行うためには、板の厚みに応じた機械的性質の変化を考慮したモデルの作成が必要である。

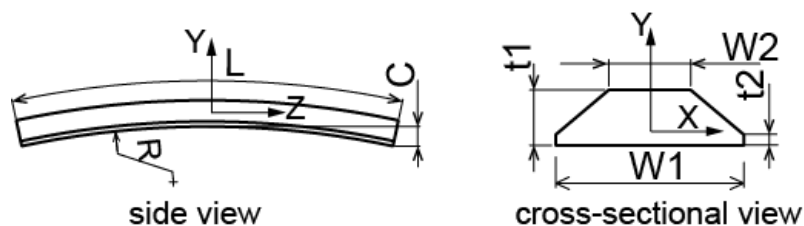


Fig. 2 Measurement position of sound bar

Table 2 Result of shape and acoustic measurement of manufactured sound bars

	shape of sound bar ( mm )						weight ( g )	fundamental frequency ( Hz )
	L	W1	W2	t2	t1	C		
a	199.0	49.1	25.6	1.1	14.5	5.8	904	1235
b	206.0	47.0	21.0	4.2	13.3	6.5	896	274

(3) アンコール古代遺跡の浮彫に描かれたゴングに関する一考察

以下のふたつの結果が得られた。

フラット・ゴングは、11世紀中頃にはすでに存在し、いずれも13世紀初頭までは、軍隊の行進に伴い士気高揚のために打ち鳴らされる楽器として、単体で描かれている。

コブ付ゴングの浮彫は13世紀初頭まで出現していないが、16世紀中頃に制作されたアンコール・ワット第一回廊北壁面東側にある浮彫に他の旋律を演奏する楽器とともに現れる。このことから、コブ付ゴングは13世紀中頃から16世紀中頃までの約300年間に、カンボジアにおいて旋律音楽の発展とともに演奏され始めたものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hiroyoshi SHIOKAWA, Hideharu UMEDA, Koichi MINAGAWA, Yoshie SUZUKI, I Made KARTAWAN	4. 巻 53
2. 論文標題 Changes for Gamelan Pelegongan in Bali of Indonesia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本大学生産工学部研究報告A	6. 最初と最後の頁 11-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 塩川博義	4. 巻 52/ 1
2. 論文標題 アンコール古代遺跡の浮彫に描かれたゴングに関する一考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本大学生産工学部研究報告A	6. 最初と最後の頁 11-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中川一人, 竹島正博, 塩川博義	4. 巻 Vol.54 No.2
2. 論文標題 ガムラン音板の固有振動特性に及ぼす形状の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 jsde 設計工学	6. 最初と最後の頁 99-110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14953/jjsde.2018.2816	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 塩川博義, 梅田英春, 皆川厚一, イ・マデ・カルタワン	4. 巻 50巻1号
2. 論文標題 インドネシア・バリ島のガムランの変遷 - ガムラン・プレゴンガンの音高	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本大学生産工学部研究報告A	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中川一人、竹島正博、塩川博義
2. 発表標題 コブ付きゴングの振動音響特性に関する研究
3. 学会等名 日本設計工学会2020年度秋季研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川一人、塩川博義、竹島正博、星野和義
2. 発表標題 青銅の音響特性に及ぼす組織の影響
3. 学会等名 日本鑄造工学会第173回全国講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川一人、鈴木良枝、塩川博義
2. 発表標題 ガムラン音盤の振動特性に及ぼす形状の影響
3. 学会等名 日本図学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原澤悠、塩川博義、豊谷純
2. 発表標題 有限要素法による青銅製ガムラン用鍵盤の3次元固有値解析 その4 音板を削ることによる固有値の変化
3. 学会等名 日本音響学会2017年度秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

音響解析を用いたインドネシア・バリ島のガムランの変遷  
[http://home.h03.itscom.net/shio\\_lab/research6.html](http://home.h03.itscom.net/shio_lab/research6.html)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梅田 英春  (UMEDA HIDEHARU)  (40316203)	静岡文化芸術大学・文化政策学部・教授   (23804)	
研究分担者	皆川 厚一  (MINAGAWA KOUICHI)  (60337748)	神田外語大学・外国語学部・教授   (32510)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	カルタワン イ マデ  (Kartawan I Made)		
研究協力者	鈴木 良枝  (SUZUKI YOSHIE)		



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	小島 陽子  (KOJIMA YOUKO)		
連携研究者	豊谷 純  (TOYOTANI JUN)  (70459866)	日本大学・生産工学部・教授   (32665)	
連携研究者	中川 一人  (NAKAGAWA KAZUTO)  (90523986)	日本大学・生産工学部・専任講師   (32665)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インドネシア	Indonesian Institute of Arts in Denpasar			