

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25370114

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：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90セットのガムランの測定し音響解析を行ってきた。その結果、それらの音高はバリ島における地域や時代によって異なることがわかってきた。特に、教育機関に関わりのある11セットのガムラン・ゴング・クビヤールを測定した結果、それらの音名1(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#であることを明らかにした。また、ガムラン・ゴング・クビヤールよりも古いガムラン・プレゴンガン7セットの音高を分析した結果、音名1における音高は、いずれもC#からD#の間であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：About 90 sets of Gamelan, mainly Gamelan Gong Kebyar which is generally used in Bali, in Japan and Bali of Indonesia were measured and analyzed. As a result, it has been definitely shown that their pitches were differences on the regions and periods in Bali. 11 sets of Gamelan Gong Kebyar were measured and their pitches calculated from frequency analysis for keyboard instruments are compared and examined. Their pitches of the pitch name 1 (ding) for 11 sets of Gamelan Gong Kebyar are C# or D. Especially, those which are newer than that of ASTI are C#. And also eight sets of Gamelan Pelegongan that is older than Gamelan Gong Kebyar were measured and their pitches calculated from frequency analysis for keyboard instruments are compared and examined. As a result, their pitches of the pitch name 1 (ding) for seven sets of Gamelan Pelegongan are between C# to D#.

研究分野：人文学・芸術学・美学・芸術諸学

キーワード：音楽学・音楽史 インドネシア・バリ島 サウンドスケープ ガムラン・ゴング・クビヤール ガムラン・プレゴンガン 音高 有限要素法

### 1. 研究開始当初の背景

インドネシアのバリ島は、神々の島として知られ、インドネシア・バリ島のガムランは、多数の青銅製楽器のアンサンブルであり、儀礼や舞踊の種類などによりさまざまな編成あるいは楽器が存在する。大きな特徴として、どの編成においても楽器2台が一組を成しており、西洋音楽と異なり、それらは一組が生じるように調律されている。研究代表者は、音響解析によって、このように周波数が5Hzから10Hzの間で調律されていることを明らかにした(2011年および2012年のジャーナル騒音制御に発表)。

また、ガムラン・ゴング・クビャールを中心に5音のペログ音階のガムラン楽器43セットを測定し分析をした結果、それらは、同じ編成の楽器でも、その音程や音高は地域や村によって異なっており、5音階の一番下の音高が西洋音階のH(シ)からF(ファ)まで様々あることが分り、これらは、だいたい4つに分類されることがわかってきた。しかし、それらを時代や地域別に分類するまでには、さらにデータを収集する必要があり、体系化するまでには至っていなかった。

そして、バリ島の楽器工場で作成したガムランの音板をモデリングして、有限要素法を用いて3次元固有値解析を行い、実験から求めた周波数と数値計算から求めた2次モードの周波数がほぼ近似していることを確認した。

### 2. 研究の目的

本研究では、19世紀から21世紀までにおけるインドネシア・バリ島のガムランの変遷について、それら楽器の音響解析とバリにおけるガムラン演奏者あるいは所有者、楽器製作者および調律師へのインタビューを通して明らかにすることを最終目的としている。

そこで、引き続き、さらにデータの収集を行い、ガムラン・ゴング・クビャールを中心とした5音のペログ音階のガムラン楽器を時代や地域別に分類し、体系化することを試みる。そして、有限要素法を用いて、ガムランの音板の形状の違いによる音高の変化を解析して、調律方法を検証することを研究の目的としている。

### 3. 研究の方法

(1) フィールドワーク調査の研究方法はガムラン楽器の音響測定 現地での聞き取り調査 音響データの解析と整理 音響データおよび聞き取りデータの分析に大別できる。

ガムラン楽器の音響測定は、基本的に測定対象ガムランのところに赴き、まわりの暗騒音が測定対象レベルに影響がないことを確認して、WAVEレコーダーを用いて録音する。基音および倍音の周波数やうなり周波数が調査目的なので、特に、絶対レベルを押さえて測定する必要はなく、録音レベルがオーバーし

ないように注意しながら録音する。ガムラン・ゴング・クビャール1セット(図1)を例にとれば、最低でも、ジェゴガンが5鍵で2台、ジュプラーグが5鍵で2台、プマデが10鍵で2台、カンティランが10鍵で2台、ウガール10鍵で1台、トロンボン10個、レヨン12個、ゴング1台、クンプール1台、合計で94種類の音を録音する。ほかに、ウガールがもう一台、グンデル・ランバットなどがあれば、それ以上である。



図1 ガムラン・ゴング・クビャール

測定対象ガムランの所有者や演奏者から、そのガムランの歴史、再調律の時期などをインタビューする。また、調律師には、調律の方法、歴史そして、最近の楽器に対する考え方などをインタビューする。

録音されたデジタル音源データをWAVEファイル形式でコンピュータに保存し、それらをFFT変換し、周波数分析を行い、各楽器の基本周波数における周波数  $f$  (Hz) を求める。さらに、A4の音を440Hzとして、各周波数  $f$  (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音階の音高を平均して、音高や音程をセット毎に表やグラフにまとめ整理をする。

各ガムランのセットをそれぞれ整理された音響データと聞き取りデータをもとに比較しながら分析する。

(2) 現地調査とは別に、ガムランの鍵盤楽器の音板をモデリングし、コンピュータ・シミュレーションを用いて、その音板が持つ振動の共振周波数を解析して、ガムランの形状の違いによる音高の変化を検証する。

### 4. 研究成果

(1) バリ島でいちばん一般的に用いられている編成ガムラン・ゴング・クビャールを中

心に日本およびインドネシア・バリ島において、90 セット近くガムランを測定し、音響解析を行った。

20 世紀後半においてバリ島で製作された多くのガムラン・ゴング・クビヤールに影響を与えた教育機関が所有しているガムラン・ゴング・クビヤールを中心に、11 セットのガムラン・ゴング・クビヤールを測定して、その鍵盤楽器における基本周波数の音高を分析した(表 1)。11 セット中 4 セットは、イ・ワヤン・プラタ氏によって作られ、そのうち 2 セットは、バリ島の教育機関 SMKI と ASTI が所有するものである。他の 2 つの 20 世紀初頭に作られ、そのうちの 1 つは、プラタ氏の父親であるイ・マデ・レゴツ氏によって調律された。残りの 5 セットは、イ・ニョマン・スタルナ氏とイ・ワヤン・スカルタ氏によって作られた。それらガムラン・ゴング・クビヤール 11 セットの音名 1 (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# であることを明らかにした。これらを日本大学生産工学研究所報 100 号にまとめた。

表 1 ガムラン・ゴング・クビヤールの音高

Set	Owner	Year	Tuner	1 (cent)	2 (cent)	3 (cent)	5 (cent)	6 (cent)
A	KOKARI(SMKI)	1962	Beratha	D-14	E +16	F-41	A-36	B -23
B	Abiankapas	1963	Beratha	C#+50	D#-33	E+25	G#-1	A+23
C	ASTI(ISI)	1969	Beratha	C#+43	D#-30	E+26	G#-20	A+12
D	Shizuoka Univ.	1985	Beratha	C#+11	D+48	E-8	G#-8	A+12
E	Belaluan	1929	Reoq	D-18	E +21	F+7	A-11	B +8
F	Ringdikit	1912		D-19	E -16	E+25	G#+31	A+33
G	Gita kencana	1992	Sudama	C#+36	D#-34	E+35	G#+14	A+32
H	Okinawa Univ.	1999	Sudama	C#+18	D+42	E+20	G#+5	A+26
I	Osaka College	2007	Sudama	C#+27	D+49	E+16	G#+2	A+19
J	Taman	1970	Sukarta	C#+4	D+42	E-13	G#-13	A-11
K	Suanda	1990	Sukarta	C#+32	D#-25	E+31	G#+30	A+41

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バ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 8 セットの鍵盤楽器における基本周波数の音高を分析した(表 2)。8 セット中 3 セットは、トロンポンがあるガムラン・スマルプグリーンガンでもある。これらを分析した結果、8 セットの音名 1 における音高は、一部を除き、いずれも C# から D# の間であることを明ら

表 2 ガムラン・プレゴンガンの音高

Set	Owner	1 (cent)	2 (cent)	3 (cent)	5 (cent)	6 (cent)
A	ISI	C# +47	D# -38	E +16	G# +20	A# -49
B	Blah Kluh	C# -34	D +12	E -18	G# -46	A -37
C	Carik Tista	C# +45	D# -31	F -40	G# +11	A +31
D	Tunjuk(Leko)	D +34	E♭ +42	F +0	A -21	B♭ +8
E	Ketewel	D# +18	F +5	G# -34	B +25	C# +15
F	Teges Kanginan	D# +14	F -8	G -9	A# -25	B +10
G	Bongan Jawa	D# +1	E +37	F +2	A +49	B -4
H	Taman	F -9	G♭ +41	A♭ -26	C +3	D♭ +27
I	ISI(Gong Kebyar)	C# +43	D# -30	E +26	G# -20	A +12

かにした。これらを日本大学生産工学研究報告 A (理工系) 50 巻 1 号にまとめた。

(2) ガムランの鍵盤楽器の音板をモデリングし、コンピュータ・シミュレーションを用いて、その音板が持つ振動の共振周波数を解析して、形状の違いによる音高を比較検討した。

音板の断面形状の違いによる音高を比較した。断面形状は長方形と傾斜部分を設けた台形の 2 種で検討を行った。

解析した結果、長方形断面の固有値は 2 次モードで 2062Hz であった。これに対して断面積は同じであるが、傾斜部分を設けた台形断面の固有値は 2275Hz であり、これらから、台形断面にすることによって、1.1 倍程度、固有値が高まることを明らかにした。これらを日本音響学会で発表した(日本音響学会 2013 年度秋季研究発表会で発表)。

ガムランの音板は西洋の鉄琴などの音板と違い、長手方向に直線ではなく山なりに反った独特の形状をしている(図 2)。この反りの度合いは音板により異なっており、この反りも音板の固有値に影響を与えていると考えられる。このガムラン特有の反りの度合いによる固有値への影響を検証するため、3 種類の基本周波数の異なる音板を元に反りの度合いを変えた 3D モデリングを複数個作成し、3 次元有限要素法解析を行い検証した。その結果、反りの度合いを大きくしていくと固有値が高くなるという事を確認した。また、固有値の変化は、高音の音板のほうが大きくなるが、高音の音板は厚さがあるため周波数の変動幅が大きくなるという事も明らかにした(図 3-5)。これらも日本音響学会で発表した(日本音響学会 2016 年度秋季研究発表会で発表)。

今後は調律で行われる音板を削ることによる固有値の変化について明らかにする予定である。

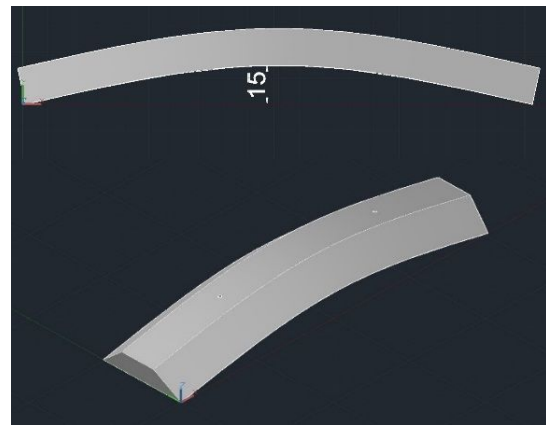


図 2 反りの度合いが大きい音板

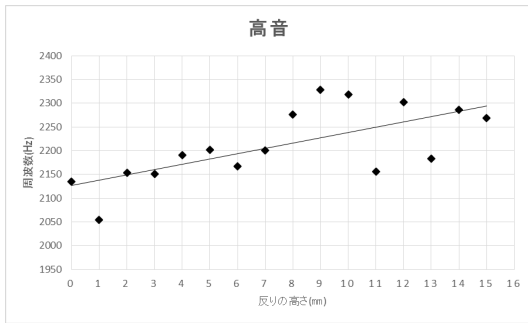


図3 反りの高さの違いによる固有値の変化（高音域用音板）

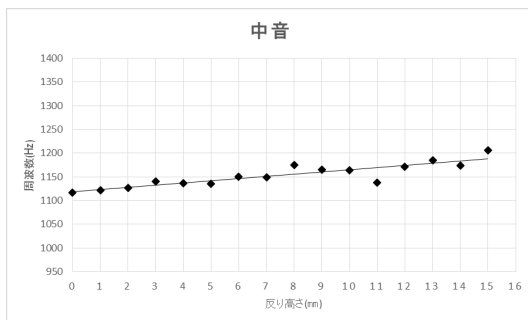


図4 反りの高さの違いによる固有値の変化（中音域用音板）

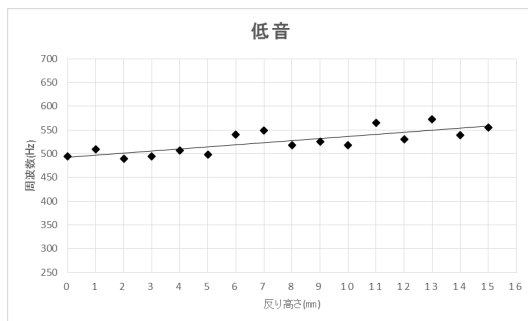


図5 反りの高さの違いによる固有値の変化（低音域用音板）

以上により、ガムランの鍵盤系楽器に関してはかなり体系化された。

今後、さらに同じペロググ音階を持ち、ガムラン・プレゴンガンよりも古いガムラン・スマルブグリンガンやガムラン・ゴング・ゲデについても解析を行い、地域や時代によるガムランの音高および音程の変遷について調査していきたい。

また、銅鑼系楽器に関しては、まだ、音響的解析がほとんど行っていない。ガムラン・ゴング・クビヤールの銅鑼系楽器は、いずれも中央にひとつコブを持つ銅鑼である。これら銅鑼系楽器には、直径が大きく単独に竿に吊るされる垂直の銅鑼（以下ゴング属と呼ぶ）と、小型で音階頂上木枠の上で水平に並べられている銅鑼（以下ボナン属と呼ぶ）の2種類がある。まず、これらボナン属

の音高は、うなりを生じさせるためにピッチが高い音板と低い音板が存在するガムランの鍵盤系楽器のどちらに合わせるかで調律するのか、あるいは両者のピッチの真ん中に合わせて調律するのかは明らかにされていない。また、ゴング属は単体でうなりが生じるように製作されるが、このゴングのピッチおよびうなり周波数はどのくらいなのか、時代や地域によって差があるのかは明らかにされていない。なお、青銅製の直径が大きいゴング属は現在バリ島では製作されておらず、ジャワ島から輸入し、うなりを再調律されて使用されている。さらに、バリ島デンパサール特別地区のレノン村にはガムラン・ゴング・ペリという古いガムランが存在する。このガムランの青銅系楽器には鍵盤系楽器が存在しない。そして、ゴングはコブ付きゴングだけでなく、コブのないフラットなゴングも使用している。このガムランを所有する村人はヒンドゥー教ではなく、道教を信仰しており、演奏ではほら貝を吹く。おそらく、カンボジアやベトナムなどのインドシナ半島の音階と近いと考えられる。研究代表者らは、鍵盤系楽器のない楽器編成だったために、このガムラン・ゴング・ペリに関する調査はまだ行っていない。すなわち、今後は、ジャワ島やインドシナ半島までフィールドを広げてガムランのルーツについても、並行して調査を行ってみたい。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計3件)

塩川博義、梅田英春、皆川厚一、イ・マデ・カルタワン、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-、日本大学生産工学部研究報告A(理工系)、査読有、50巻1号、2017、(掲載決定)

Hiro Yoshi SHIOKAWA, Hideharu UMEDA, Koichi MINAGAWA, I Made KARTAWAN, Changes of Balinese Gamelan in Indonesia -Pitch of Gamelan Gong Kebyar Relating to Educational Institutions, REPORT OF THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY NIHON UNIVERSITY, 査読有、100、2016、pp. 1-11

<http://www.cit.nihon-u.ac.jp/2016/pdf/research/100.pdf>

塩川博義、梅田英春、皆川厚一、インドネシア・バリ島の教育機関に関係のあるガムラン・ゴング・クビヤールの音高、日本大学生産工学部研究報告A(理工系)、査読有、47巻1号、2014、pp.17-23

[http://www.cit.nihon-u.ac.jp/laboratory/data/kenkyu/publication/journal\\_a/a47.1.3.pdf](http://www.cit.nihon-u.ac.jp/laboratory/data/kenkyu/publication/journal_a/a47.1.3.pdf)

〔学会発表〕(計5件)

塩川博義、梅田英春、皆川厚一、イ・マデ・カルタワン、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-、日本サウンドスケープ協会 2016 年度秋季研究発表会、熊本大学、2016/12/18、pp. 7-12  
原澤悠、塩川博義、豊谷純、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3 音板の反りによる固有値の変化 日本音響学会 2016年度秋季研究発表会、富山大学、2016/09/14、pp.687-690

塩川博義、梅田英春、皆川厚一、インドネシア・バリ島のガムランの変遷 - 教育機関に関係のあるガムラン・ゴング・クビャールの音高、日本サウンドスケープ協会秋季研究発表会、金沢工業大学、2014.12.6、pp.25-30

豊谷純、塩川博義、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2 鍵盤形状の違いによる比較 -、日本音響学会 2013年度秋季研究発表会、豊橋技術科学大学、2013.9.26、pp.895-896

塩川博義：インドネシア・バリ島のガムラン・ゴング・クビャールの音高について 日本音響学会 2013年度秋季研究発表会、信州大学、豊橋技術科学大学、2013.9.26、pp.897-898

〔その他〕

ホームページ：

[http://home.h03.itscom.net/shio\\_lab/research.htm](http://home.h03.itscom.net/shio_lab/research.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

梅田 英春 (UMEDA, Hideharu)

静岡文化芸術大学・文化政策学部・教授

研究者番号：40316203

皆川 厚一 (MINAGAWA, Koichi)

神田外語大学・外国語学部・教授

研究者番号：60337748

### (3) 連携研究者

豊谷 純 (TOYOTANI Jun)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：70459866

### (4) 研究協力者

イ・マデ・カルタワン (I Made Kartawan)

杉山 昌子 (SUGIYAMA Masako)