

## 研究報告

# 尺八、北簫、南簫、短簫におけるオクターブの伸縮量に関する研究

## Study of the expansion and contraction of an octave on Shakuhachi, Beixiao, Nanxiao, and Danso

グオン・ミンギョン, 中島 宏

Minkyung KWON, Hiroshi NAKASHIMA

尚美学園大学

Shobi University

## 概要

日本の尺八、中国の北簫、中国南部と台湾の南簫、および韓国の短簫はフィッフル（ブロック）を持たないエアリード楽器に分類される。これらは先祖を同じとする近縁の楽器であるが、音響的に比較検討された研究は殆どない。本研究では、これらの楽器のオクターブの伸縮量に関する実験を行った。オクターブの伸縮量は、同一運指における第一オクターブに対する第二オクターブの音高比の2倍からのズレのことである。実験の結果、尺八のオクターブの伸縮量が最も小さいことが示された。その要因は、尺八だけが近代的な設計技術を取り入れて、西洋化された楽器に生まれ変わったからであると考えられる。

Shakuhachi developed in Japan, Beixiao developed in China, Nanxiao developed in the southern part of China and Taiwan, and Danso developed in Korea are closely related woodwind instruments and are classified as air lead instruments that do not use a fipple (block). These are closely related instruments of the same ancestor, but there are few studies comparing them acoustically. In this study, we conducted experiments on the expansion and contraction of an octave on these instruments. Octave expansion and contraction is a deviation from twice the pitch ratio of the first octave to the second octave in the same fingering. As a result of the experiment, it has been shown that the expansion and contraction amount of an octave on the shakuhachi is the smallest. It is thought that the reason is that only the shakuhachi was reborn as a westernized musical instrument by incorporating modern design technology.

## 1. はじめに

尺八は中国から伝来した古代尺八を起源として、日本で独自に進化したフィッフル（ブロック）を持たないエアリード楽器である。尺八と近縁の楽器には、中国の北簫、中国南部（主に福建省）および台湾などの南簫、そして韓国の短簫などがあるが、これらの楽器の系統関係については諸説があって定説はない（山口 2005; 張 1969）。尺八に関する音響的な研究は数多くあるが、北簫、南簫および短簫を尺八と楽器音響的に比較した研究は殆どない。その理由は、これらの楽器は地域土着の楽器であるので、規格の標準化が不十分であり、音の特性を数値で規定するのが困難であるからと言われている（박 2016）。一般には、管楽器の音程はクント管などの気柱共鳴の理論によって理解される。しかしながら、エアリード楽器の音程に関しては、気柱共鳴の理論だけでは正しく理解できない。その理由は、エアリード楽器の発音原理は、管体が生み出す気柱共鳴と歌口が生み出すエッジトーンの協同現象によるものであるため、気柱共鳴の理論だけでは説明できないからである（安藤 1994; 安藤 1996）。本研究では、尺八、北簫、南簫および短簫について、同一の運指におけるオクターブの伸縮量を測定することによって、各楽器の構造原理と設計思想を考察することを目的とする。

## 2. 尺八の起源と構造

## 2.1. 尺八の起源

尺八の起源をたどると、古代ペルシャのネイという葦を素材としたエアリード楽器にまで遡る。ネイは周代に中央アジアを経由して中国に伝えられたとされているが、漢代には竹を素材とした洞簫に改造された。洞簫は唐代に雅楽のための古代尺八へと分岐したが、古代尺八は宋代に日本に伝えられた後に廃絶し、日本

でも平安時代には廃絶した。宋代以降には、洞簫は現代まで続いている北簫へと進化した。北簫は室町時代に中国から日本に再び伝来し、武家や上流階級のための一節切へと姿を変えて、江戸時代には虚無僧の法器として尺八に進化した。

## 2.2. 尺八の指孔の数

現在普及している尺八には、江戸時代から続く地無し尺八（古管尺八）と明治以降に西洋音階に対応すべく進化した地塗りに尺八（現代尺八）がある。古代尺八の指孔の数は表に5つと裏に1つの合計6孔であるが、尺八の指孔の数は表に4つと裏に1つの合計5孔しかない。伝統的な日本の音階は5音階であるので、尺八の指孔の数は6つであるのが妥当だと思われるが、5孔になった歴史的経緯はよく分かっていない。近年、尺八は洋楽などの12律の音楽に使用されることが増えてきたので、7孔あるいは9孔の尺八が職業演奏家の間で広く使用されるようになってきた。

## 2.3. 尺八の素材

古代尺八や北簫は竹の幹の部分素材として作られているが、尺八、南簫、および短簫は竹の根から上の部分を素材として作られている。尺八の素材として竹の根本の太い部分が使われるようになったのは、虚無僧が旅をするときに護身用の武器として好都合であったからという説が有力である。南簫および短簫の素材としても竹の根から上の部分が使われるようになった理由はよく分かっていないが、一説によると南簫は尺八を真似て作られたものだと言われている。

## 2.4. 尺八の歌口の形状

古代尺八と尺八の歌口は管の外側に向けて斜めに削られているが（図1）、北簫、南簫および短簫の歌口は内側だけがU字形に削られている。エアリード楽器に関して世界を見渡すと、尺八型の歌口は古代ペルシャから続くネイという葦笛の歌口に近く、北簫型の歌口は南米が発祥のケーナという葦笛の歌口に近い。



図1: (左から) 樹脂製の尺八と木製の尺八の歌口

## 3. 実験に使った楽器の特徴

### 3.1. 尺八

元来の尺八は真竹で作られているが、本研究では木製および樹脂製の2種類の現代尺八（D管）を用意して実験を行なった（図2）。全長は1尺8寸（約54センチ）であり、外径は太く厚肉である。管内形状は歌口から管尻にかけて狭まっており、管尻の部分では出口に向かって広がっている。指孔は表側に4つしかないが、メリとカリの奏法によって約2オクターブ強の音域の全ての音を出すことができる。歌口は完全に開口しており外側に向けて斜めに削られている。



図2: (左から) 樹脂製の尺八と木製の尺八

### 3.2. 北簫

一般的に北簫は紫竹で作られている。本研究では長さ約80センチと約60センチの2種類の北簫（G管）を用意して実験を行った（図3）。前者は、管頭から約60センチの長さの部分に出音孔があるので、前者と後者の筒音は同じである。外径は細くて薄肉であり、管内形状は円筒である。伝統的な北簫の指孔の数は6つであるが、本研究で使用した北簫の指孔の数は8つである。音域は2オクターブ半である。長さ約60センチの北簫については、実験のために歌口の節を完全に削り取って実験を行った（図4）。



図 3: (左から) 80 センチの北簫と 60 センチの北簫



図 4: (左から) 北簫と蓋を削り取った北簫

### 3.3. 南簫

本研究では、孟宗竹で作られた南簫（G 管）を用意して実験を行った（図 5）。全長は尺八と概ね同じである。外径は尺八よりも細く薄肉である。管内形状は円筒である。伝統的な南簫の指孔の数は 6 つであるが、伝統的な南簫の指孔の数は 6 つであるが、本研究で使用した南簫の指孔の数は 8 つである。音域は 2 オクターブ半である。南簫は中国の福建省を発祥とする南音という室内楽で主に使われることが多い。南音は近代になってから人々の移住に伴い、台湾や東南アジアなどにも広まった。



図 5: 南簫

### 3.4. 短簫

短簫は中国から朝鮮に伝えられた北簫が朝鮮中期以降に姿を変えたものであるといわれている（송 2000）。本研究では、黄竹製および樹脂製の 2 種類の短簫（G 管）を用意して実験を行なった（図 6）。全長は約 40 センチであり、外径は細く薄肉である。管内形状は円筒である。指孔は表側に 4 つと裏側に 1 つあり、5 音階で 2 オクターブの音を出すことができる。韓国では初等学校の音楽教育に使われており、韓国出身者なら誰でも一度は吹奏したことのある楽器である。



図 6: (左から) 竹製の短簫と樹脂製の短簫

#### 4. 予備実験

予備実験として、2本の尺八、2本の北簫、1本の南簫および1本の短簫（竹製）について音程の音高偏差を測定した。ここでの音高偏差とは、同一の運指での吹鳴可能な最低の音高と最高の音高差のことである。音高は、呼気の流速、吹き出し口から歌口エッジまでの距離、歌口エッジに対する呼気流の厚み方向の偏心率および唇が歌口を塞ぐ面積の値の組合せを変えることによって以下のように調節することができる（安藤 1970）。

(1) エッジトーン の発振周波数  $f$  はブラウンが半経験的に導いた以下の式で与えられる（土田ほか 2003）。

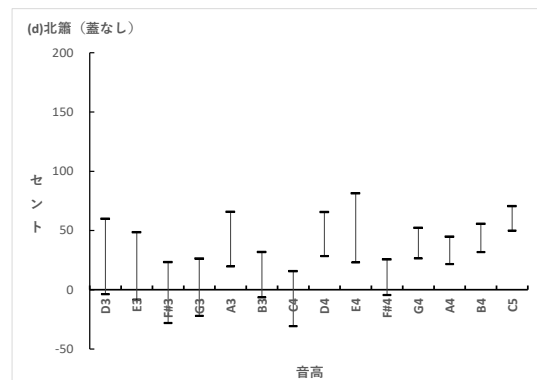
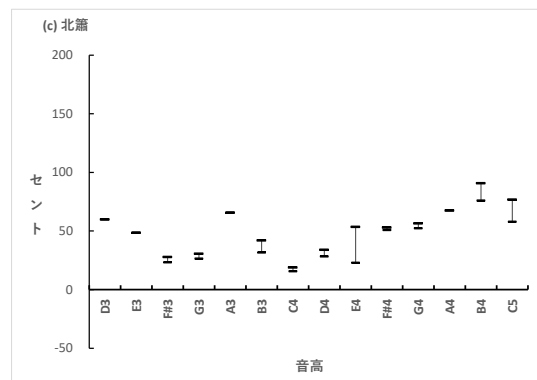
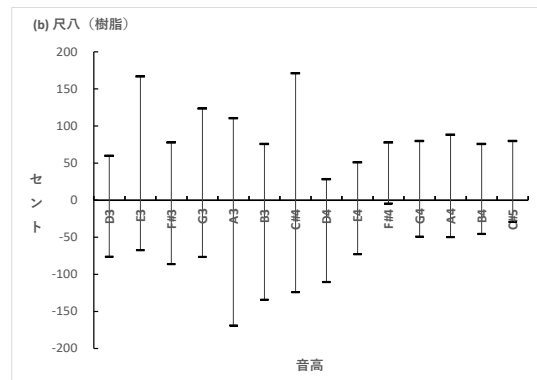
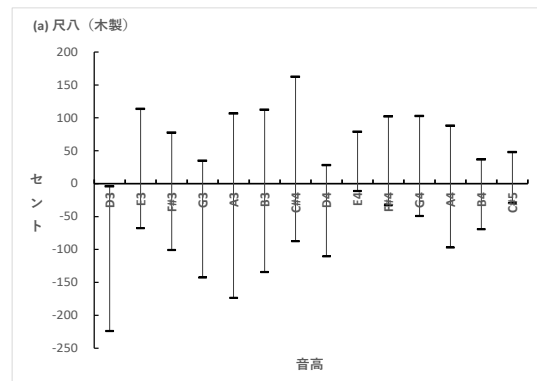
$$f = 0.466j(100V - 40)(1/(100L) - 0.07) \quad (1)$$

ここで、 $V$  は呼気の流速、 $L$  は呼気の吹き出し口からエッジまでの距離、 $j$  は振動の次数によって決まる非整数の係数であり、 $j = 1$  が基音である。たとえば、発振周波数  $f$  を大きくするには、 $V$  を大きくするか  $L$  を小さくするかのどちらでも実現可能であるが、実際の吹奏ではどちらかという  $L$  を小さくすることによって実現させる。

(2) 歌口エッジに対する呼気流の厚み方向の偏心率の値によって、低音域における呼気流の流速の吹鳴可能上限値が大幅に変わる。低音域においては、偏心が適度な値でなければ強く吹こうとすると直ぐにオクターブの跳躍が起きてしまうので、実際の吹奏では偏心を変化させることで低音域と中音域を吹き分ける（安藤 1988）。

(3) 唇で歌口を塞ぐ面積を変えると、歌口部分のインピーダンスが変わる。たとえば、歌口の開口面積を小さくすると歌口の部分のインピーダンスは上がるので、管の実効長は長くなり音高は下がる。

図7は尺八、北簫、南簫、短簫について音高偏差の実験結果を示している。縦軸は、ピッチを440Hzとした場合の平均律からのズレである。北簫の音高偏差が最も小さく、尺八の音高偏差が最も大きいことが見て取れる。北簫の音高偏差が著しく小さいのは、歌口の開口面積が蓋によって固定されているからである。尺八の音高偏差が非常に大きいのは、独特な歌口の形状によるものだと考えられる。



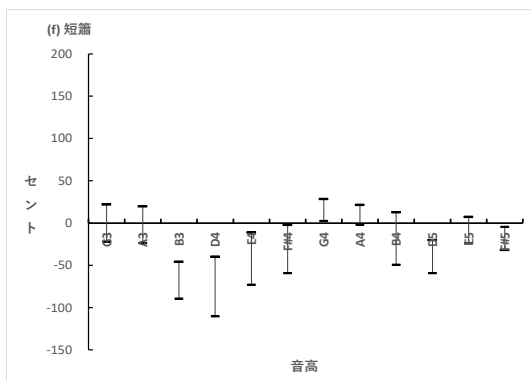
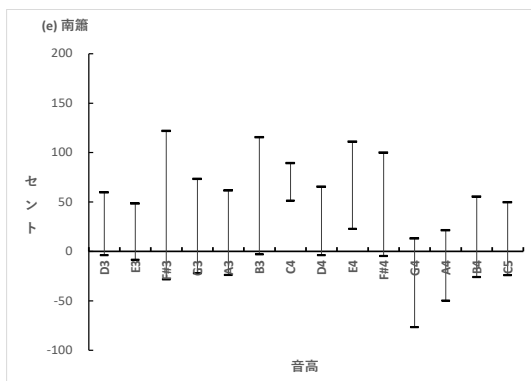


図 7: (a) 木製尺八 (b) 樹脂製尺八 (c) 北簫 (d) 北簫 (蓋なし) (e) 南簫 (f) 竹製短簫の音高偏差

### 5. エアリード楽器の音高

エアリード楽器の音高は、歌口部分のエッジトーン発振現象と管体の共振現象によって競合的に決まる。高橋らの理論モデルによると、エアリード楽器における呼気の流速と発振周波数の関係は以下ようになる(高橋ほか 2012; 高橋ほか 2010; 高橋ほか 2010)。運指を固定しておいて、音源となる呼気の流速を徐々に大きくする場合を考える。ただし、吹き出し口から歌口エッジまでの距離、歌口エッジに対する空気流の厚み方向の偏心および唇が歌口を塞ぐ面積の条件は固定しておく。すなわち呼気の流速の変化だけで音高を変えることを考える。呼気の流速が十分に小さいときはエッジトーンによる発振が支配的であり、発振の周波数は呼気の流速にほぼ比例する。しかしエッジトーンの周波数が管体の基音の周波数に近くなると、エッジトーンの発振は管体共鳴に同期するようになる。さらに呼気の流速をあげてエッジトーン本来の発振周波数が管体の第二倍音の共鳴周波数に近くなると、基音への同期が外れてエッジトーン本来の発振周波数で発振するようになる。本論文では、第一オクターブから第二オクターブに跳躍が起こるときの直前と直後の周波数比の2倍からのズレのことをオクターブの伸縮量とよぶ

ことにする。エッジトーンの周波数が管体の基音の周波数よりも大きくなったときにエッジトーンの発振が管体共鳴に同期する場合は、オクターブの伸縮量は正の値となる。それとは逆に、エッジトーンの周波数が管体の基音の周波数より小さいときにエッジトーンの発振が管体共鳴に同期する場合は、オクターブの伸縮量は負の値となる。

### 6. 実験方法

本章では、東洋と西洋のエアリード楽器のオクターブの伸縮量について比較検証する。そのために1本の尺八(木製)、2本の北簫、1本の南簫、1本の短簫(樹脂製)に加えて1本のモダン・フルートと1本のバロック・フルートについて、オクターブの伸縮量を測定した。モダン・フルートはムラマツ製、バロック・フルートはアウロス製(D管・現代ピッチ仕様)を使用した。ここでは、図8のように初心者のための補助具を各楽器の歌口に取り付けて実験した。補助具を歌口に取り付けることによって、呼気流の吹き出し口から歌口エッジまでの距離、歌口エッジに対する空気流の厚み方向の偏心および唇が歌口を塞ぐ面積の条件を固定しておく。すなわち、呼気の流れの速さの速いだけでオクターブの跳躍を引き起こすようにした。補助具として、尺八用、北簫用、短簫用の3種類の市販品を用意した。南簫用、モダン・フルート用およびバロック・フルート用の補助具は市販されていないので、北簫用のものを南簫用、モダン・フルート用およびバロック・フルート用として転用した。オクターブ間の遷移にはヒステリシス現象を伴うので、第一オクターブ(甲音)から第二オクターブ(乙音)への遷移が起こる直前の音高と直後の音高の比をオクターブの伸縮量とした。音高の測定については、スペクトルアナライザーを利用し、基音の値を目視で読み取りそれを音高とすることにした。





図8: 補助具を取り付けた (a) 木製尺八 (b) 南簫 (c) 樹脂製短簫 (d) モダン・フルート

本実験において吹鳴は筆頭著者が行った。筆頭著者は短簫の演奏の経験はあったが、それ以外の楽器の演奏は未経験であったので、それ以外の楽器については一年間の練習を積んでから本実験に取り組んだ。

### 7. 実験結果

図9に尺八、北簫、南簫、短簫、モダン・フルートとバロック・フルートのオクターブ伸縮量についての実験結果を示す。横軸は第一オクターブの音程であり、縦軸は第一オクターブに対する第二オクターブの音高比の2倍からのズレである。短簫に関してはG調であるので、G3、A3、B3についてのみをグラフ化した。モダン・フルートとバロック・フルートのD3とそのオクターブについては、本来は同一の運指ではないが、本章の実験では同一の運指で吹き分けることにした。

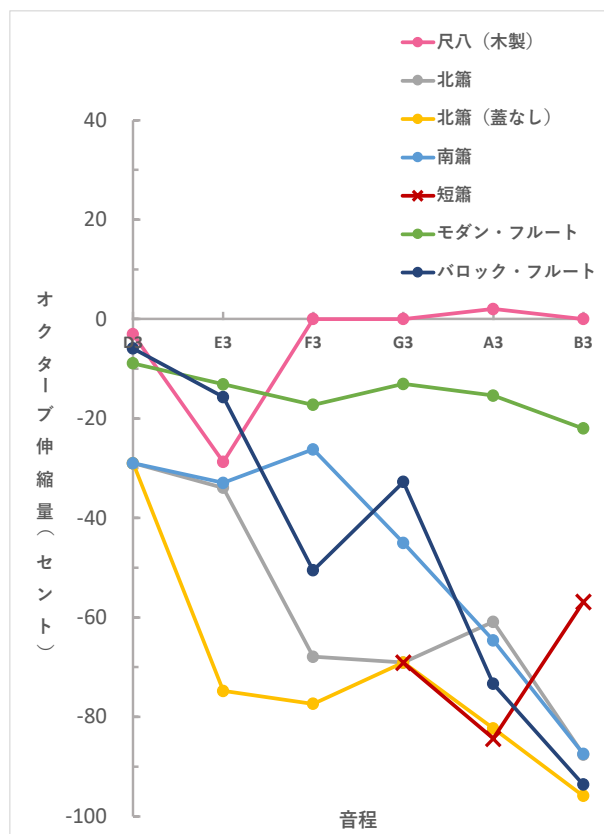


図9: 尺八 (木製)、北簫、北簫 (蓋なし)、南簫、短簫 (樹脂製)、モダン・フルート、バロック・フルートのオクターブの伸縮量

図9のグラフを見ると、尺八とモダン・フルートの折れ線を除いて、オクターブの伸縮量は高い音程ほど大きい傾向にあることが分かる。尺八の折れ線においてE3のみオクターブの伸縮量が高いのは、E3のみ孔を半分閉じる変則的な運指であるからと思われる。モダン・フルートのオクターブの伸縮量が小さいのは、頭部管の内径が上流から下流に向かって逆円錐台型に作られていることが起因していると考えられる (安藤 1996)。そして尺八のオクターブの伸縮量が少ないのは、管内径の管軸方向の形状の変化が特殊であることが起因していると考えられる (安藤と前田 1986; 安藤と田上 1988)。北簫、南簫および短簫の管内形状は円筒であり、バロック・フルートの管内形状は上流から下流に向かって円錐台になっている。管内形状が円筒や円錐台のエアリード楽器については、最大で半音近くもオクターブが縮むことが明らかになった。

### 8. おわりに

本論文では、尺八、北簫、南簫および短簫について、オクターブの伸縮量を比較検証した。実際の吹奏では、呼気流の速度、呼気流の吹き出し口から歌口エッジま

での距離、歌口エッジに対する空気流の厚み方向の偏心の値の組み合わせを変えることによって第一オクターブと第二オクターブを吹き分けるが、本実験では呼吸流の速度の違いのみで第一オクターブと第二オクターブを吹き分けた。その結果、北簫、南簫および短簫のオクターブの伸縮量は最大で半音近くにもなるが、尺八のオクターブの伸縮量はそれと比較して非常に小さいことが明らかになった。オクターブの伸縮量が小さいということは、実際の吹奏において第二オクターブの音程を正しく取ることが比較的容易であることを意味する。北簫、南簫および短簫については、竹の素材をそのまま利用して作られているので、管内形状は必然的に円筒となる。したがって第二オクターブを正確に調律することは不可能ということになる。現代尺八については、竹の素材をそのまま利用するのではなく、砥の粉で管内を整形することによって第二オクターブを正確に調律することを可能にしている。木製や樹脂製の現代尺八については、竹の個体差に影響を受けることがないので、より正確な調律で作ることが可能である。以上をまとめると、東洋のエアリード楽器の中では、尺八のみが近代的な設計技術を取り入れたことで、西洋化された楽器に生まれ変わっていると見える。

## 9. 参考文献

- 山口正義. 2005. 『尺八史概説』 出版芸術社, 26-28.
- 張師勛, 他. 1969. 『韓國樂器大觀』 韓國國樂學會, p.35.
- 박상지. 2016. 「관악기 취구가 음색에 미치는 영향」 『한국악기학』 12, 193-211.
- 安藤由典. 1994. 「フルートとリコーダの発音に関する諸現象と楽器構造について (音響系・光学系におけるカオス, 研究会報告)」 『物性研究』 62(5), 612-619.
- 安藤由典. 1996. 『新版 楽器の音響学』 音楽之友社, p.72.
- 송혜진. 2000. 『韓國 樂器 = Korean musical instruments』 悅話堂, p.171.
- 安藤由典. 1970. 「フルートの駆動条件と発生音圧レベルおよび基本周波数との関係 (フルートの実験的研究 I)」 『日本音響学会誌』 26(6), 253-260.
- 土田潤, 伊東聰, 藤澤智光, 矢川元基. 2003. 「エアリード楽器の発音ミカニズムの数値流体力学」 『日本機械学会論文集 (B 編)』 69(678), 32-37.
- 安藤由典. 1988. 「エアリード楽器の研究を振り返って」 『日本音響学会誌』 44(12), 943-948.

高橋公也, 宮本真孝, 伊藤泰典, 岩崎拓也, 高見利也, 小林泰三, 西田晃, 青柳睦. 2012. 「3次元エアリード楽器の流体音源と発振特性」 『数理解析研究所講究録』 1776, 100-114.

高橋公也, 宮本真孝, 伊藤泰典, 高見利也, 小林泰三, 西田晃, 青柳睦. 2010. 「圧縮性 LES を用いたエアリード楽器の発音機構の数値解析 (数値解析と数値計算アルゴリズムの最近の展開)」 『数理解析研究所講究録』 1719, 26-36.

高橋公也, 宮本真孝, 高見利也, 小林泰三, 西田晃, 青柳睦. 2010. 「エアリード楽器の発音機構: 流体と音の相互作用の解析」 『数理解析研究所講究録』 1697, 31-45.

安藤由典, 前田雅一郎. 1986. 「尺八における音律修正のための寸法変化について」 『日本音響学会誌』 42(7), 510-518.

安藤由典, 田上亮. 1988. 「尺八における音律修正のための寸法変化について (その2)」 『日本音響学会誌』 44(8), 556-565.

## 10. 著者プロフィール

### グオン・ミンギョン (Minkyung KWON)

1998年韓国生まれ、音楽プロデューサーを志して2017年に渡日。2020年に尚美ミュージックカレッジ専門学校を卒業。尚美学園大学に学部生として在学中。専門学校時代より現在にかけてコンピュータを用いたポップス楽曲の制作を行なっている。現在、尚美学園大学芸術情報学部音楽応用学科にてアジアの民族楽器の音響について研究中。

### 中島 宏 (Hiroshi NAKASHIMA)

青山学院大学大学院理工学研究科物理学専攻博士後期課程単位取得済退学。元青山学院大学理工学部物理学学科助手。アナログ音源をデジタル化するビジネスを手がける。現在尚美学園大学芸術情報学部音楽応用学科准教授、明治薬科大学非常勤講師。博士 (理学)



この作品は、クリエイティブ・コモンズの表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> をご覧くださいか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。