

# 絶対音感保持者のピッチシフトとオクターブ感覚との関係

渡邊 栞<sup>†</sup> 津崎 実<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都市立芸術大学音楽学部 〒610-1197 京都市西京区大枝沓掛町 13-6

E-mail: <sup>†</sup> {s15821@st., minoru.tsuzaki@}kcua.ac.jp

**あらまし** 絶対音感とは参照音を用いずに特定の音高を同定・産出する能力のことである。加齢によって絶対音感保持者の音名判断が高い方へシフトするピッチシフトという現象がある。一方、相対音感とは音高と音高との関係として音の高さをとらえる能力である。加齢によって相対音感もシフトするかどうかを調べる前段階として、今回は比較的若い年齢層の参加者を対象に実験を実施した。被験者は経時提示される低い音と高い音の2つの音のペアを聞き、それらがオクターブの音程に聞こえるように調整した。刺激音の種類は純音、ミッシングファンダメンタル、両耳聴ピッチの一つであるハギンズ・ピッチの3種類であった。また、実験は3つの基本周波数範囲について行われた。刺激の種類と基本周波数範囲によってオクターブ等価性がどのように変化するかを議論した。

**キーワード** オクターブ伸張、絶対音感、相対音感、ピッチシフト

## The relation between pitch shift and octave sensation of absolute pitch possessor

Shiori WATANABE<sup>†</sup> and Minoru TSUZAKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Music, Kyoto City University of Arts 13-6 Kutsukake-cho, Oe, Nishikyo-ku, Kyoto 610-1197, Japan

E-mail: <sup>†</sup> s15821@st.kcua.ac.jp, ‡ minoru.tsuzaki@kcua.ac.jp

**Abstract** Absolute pitch (AP) is the ability to identify the names of musical pitch or produce specific pitch without reference. It has been reported that AP possessors' judgement on pitch name shifts upwards when they become old. On the other hand, relative pitch (RP) is the ability to identify the musical pitch intervals, i.e., to identify the ratio between two fundamental frequencies. The objective of the current research was to investigate the ability of the relative pitch judgement with relatively young listeners by measuring the octave matching. This will serve as a previous step to relative pitch to examine the relation between the relative pitch judgement and the AP pitch-shift by aging. Participants listened to pairs of tones, i.e., low and high tones in sequence. They were required to adjust higher tone until the pitch interval to be perceived as exactly one octave apart. Three type of stimuli were used; pure tone (PT), missing fundamental (MF), and Huggins pitch (HP) which is one of the dichotic pitches. The judgement were required to three F0 frequency ranges; the nominal frequencies of lower tone were 175, 350, 700 Hz. The difference of Octave equivalence due to type of stimuli and F0 ranges was discussed.

**Keywords** Octave stretching, Absolute pitch, Relative pitch, Pitch shift

### 1. はじめに

絶対音感とは参照音を用いずに特定の音高を同定・産出することのできる能力であり、日本では欧米諸国よりも絶対音感保持者が多いことが明らかとなっている[1]。絶対音感保持者に実施された実験によって明らかとなったピッチシフトという現象がある。これは、絶対音感による音名の判断が加齢に伴ってより高い方へシフトするというものであり、単に音名判断の精度が劣化するということではない。この現象とその他の加齢による聴覚の変化との関連を調べた結果では、加齢によって生じる聴力や耳音響反射[2][3]、基底膜フィルタの分解能の劣化[4]との関連は否定されている。

一方で、神経発火の時間間隔ヒストグラムが変容することによって生じる可能性が考えられる[4]。しかし、これらの機能低下は判断精度の劣化が生じることは予想可能であるものの、観察されたようなピッチ情報へのシフトを予測することは困難であり、決定的な原因は未だ明らかとはなっていない。

加齢とともに絶対音感判断が上方へシフトすることが明らかとなった一方、加齢によって相対音感が変容するかどうかについては明らかとなっていない。相対音感とは2つ以上の音高間の相対関係として音の高さをとらえる能力で、音楽の知覚において重要な役割を果たしている。例えば、1 オクターブの関係にある

音は 1:2 の物理的な周波数比を持っており、同じピッチクラスの音として知覚される。この相対音感の知覚ができるからこそ、日常場面で我々は移調した旋律であってもそれは「同じ」旋律の絶対音高を変えただけのものと知覚できると考えられる。音楽的な音階システムはまさにその相対関係に数学的あるいは物理的な関係性を見出すことによって生み出されてきている。

しかし、心理物理的測定法を用いた実験によって、我々が感じる主観的なオクターブは物理的オクターブよりも若干広くなり、さらに音高が高くなるほどより広くなることが示されている[5]。このオクターブ伸長には聴神経発火の不応期を考慮して説明できるとするモデルが提案されている一方で、両耳聴ピッチのような蝸牛よりも高次の処理を必要とする刺激でもオクターブ伸長が生じる事が報告されている[6]。

加齢とともに絶対音感判断が上方へシフトするのに伴って、この主観的オクターブはより広くなるのだろうか。もしそうでなければ、知覚される音と音の相対関係が変容、もしくは劣化している可能性があり、ひいては音楽知覚能力も変容・劣化している可能性がある。

## 2. 目的

本研究では、オクターブ伸張現象を利用し、絶対音感保持者の相対音感が加齢によるピッチシフトとともに変化するかどうかを調べる探る前段階として、まず比較的若い絶対音感保持者のオクターブ感覚を調査し、加齢によるピッチシフトとの関係を検討した。

## 3. 方法

### 3.1. 刺激

用いたテスト刺激は 2 つの音のペアであり、それらを経時提示した。1 番目に呈示される音(以下  $F_L$  とする)はより低い音とし、2 番目に呈示される音(以下  $F_H$  とする)はより高い音とした。音の持続時間はそれぞれ 300 ms であり、50 ms のリニアな立ち上がりと減衰を持った。1 番目の音と 2 番目の音の間の時間間隔は 1100 ms であった。 $F_L$  の基本周波数は、175, 350, 700 Hz からそれぞれ  $\pm 1$  半音以内の 3 つの範囲を持った。

以下、刺激の種類について説明する。図 1 は刺激の種類について概念的に表したものである。

(1) 純音(以下 PT とする)

上記の基本周波数を周波数とする正弦波。

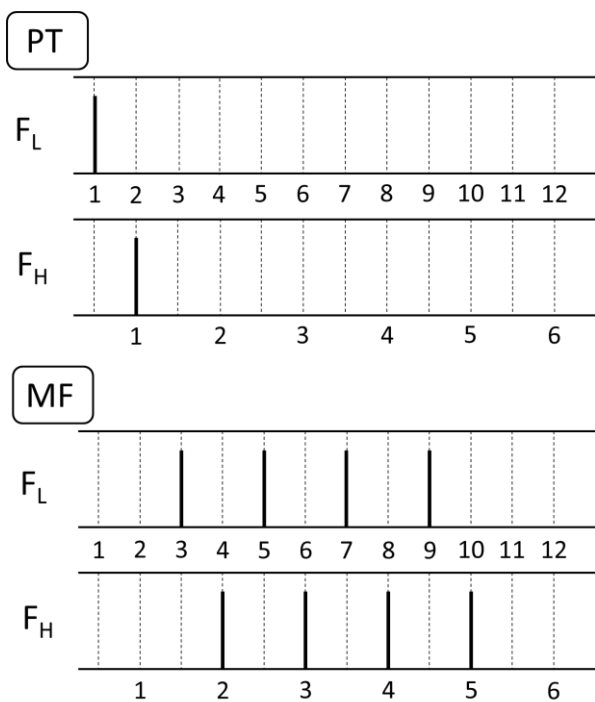
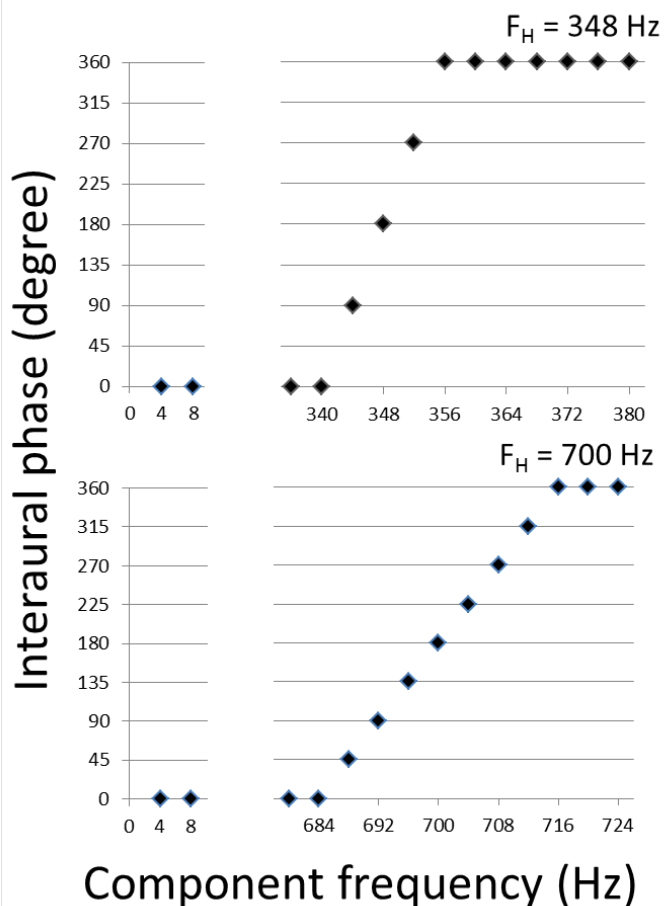


図 1. 刺激の概念図。左図は MF, PT の概念図を表している。実線が刺激に含まれる成分であり、下部の数字は基本周波数に対する成分の次数を表す。右図は HP に含まれる成分の両耳位相差を  $F_L=348\text{Hz}$ ,  $F_H=700\text{Hz}$  の刺激を例として部分的に表したものである。



## (2) ミッシングファンダメンタル(以下 MF とする)

$F_L$  では基本周波数の 3,5,7,9 次、 $F_H$  では 2,3,4,5 次の高調波を持つ調波複合音。このような次数を用いたのは、 $F_H$  と  $F_L$  を構成する周波数成分を重複させず、かつその帯域が大きく変わらないようにするためである。

なお基本周波数の点に非線形ひずみが生じることによる影響を防ぐために、 $F_L$  と  $F_H$  両方の基本周波数をマスクするようなローパスノイズを同時に提示した。カットオフ周波数は 400,800,1600 Hz であり、基本周波数の 3 範囲に対応して切り替えた。マスキングノイズはテスト音に対して 250ms 先行して提示を開始し、テスト音が終了した後 250ms まで継続した。

## (3) ハギンズ・ピッチ(Huggins pitch)音(以下 HP とする)

HP[7]とは両耳聴ピッチの 1 つであり、片耳ではピッチを感じないが、両耳で聞くことによってピッチを感じる刺激である。左右の耳に提示される刺激は両方とも広帯域ノイズであり、それぞれに含まれる成分は大分が同じ位相を持つが、ある狭い周波数範囲の位相のみ 0 から 360 度まで遷移される。位相の異なる周波数範囲の中心にあたる周波数は左右で 180 度異なる位相を持ち、HP ではこれを基本周波数とするようなピッチが感じられる。本研究の HP の刺激は Hartman[6] で用いられた刺激を参考に作成した。左右の耳に提示されるのは、4 Hz から 4000 Hz まで 4 Hz ごとに、それぞれ同じ振幅とランダムな位相を持つ正弦波を足し合わせたノイズである。 $F_L$  では中心となる周波数から  $\pm 4$  成分の位相を、 $F_H$  では  $\pm 8$  成分の位相を、左右間で 0 度から 360 度まで遷移させた。

すべての刺激音は、44.1 kHz のサンプリング周波数、16 ビット量子化でデジタル合成した。

### 3.2. 手続き

実験参加者は簡易防音室内のヘッドフォンで音のペアを聞き、GUI 上の「上げる」または「下げる」ボタンをマウスでクリックして、両者がオクターブの音程に聞こえるまで  $F_H$  の音高を調整した。ボタンを 1 回押すごとに  $F_H$  の基本周波数は  $\pm 1/6$  半音(約 16.6.cents)変化した。 $F_H$  の調整の上限・下限は、 $F_L$  に対する物理的オクターブから  $\pm 9/6$  半音( $\pm 150$  cents)であり、 $F_H$  は 19 段階で調節することができた。実験参加者は 1 試行の間に何度でも「再度聴く」ボタンをクリックして音のペアを聞きなおすことができたが、絶対音高を判断の手がかりとせず相対音高のみに基づいて判断してもらうために、聞きなおすたびに  $F_L$  の周波数を変え、参加者が直前に設定した音程に合わせて  $F_H$  の周波数を設定し、提示した。聞きなおす際の  $F_L$  の周波数は 13 段階と設定し、各基本周波数範囲の中心周波数から  $\pm 1$  半音以内を  $1/6$  半音ずつ刻んだ。提示する

$F_L$  の周波数は、この 13 段階の中から擬似ランダムに選択した。実験参加者が音のペアを調整し、オクターブの音程に聞こえるところまで調整できたところで OK ボタンをクリックし、次の試行へ進んだ。

ここで注意すべき点がある。HP は上述の通り 4 Hz から 4000 Hz まで 4 Hz ごとに正弦波を足して作った刺激であった。それゆえ、提示すべき基本周波数が 4 の倍数でない場合、それが HP の成分に含まれていないことがあった。そのような場合、提示すべき基本周波数との周波数差が最も少ない成分を基本周波数として扱った。しかし、低い周波数範囲では隣り合う段階の周波数差が 4Hz に満たない場合があり、隣り合う段階間の周波数差が 3Hz 以下であった場合、それらの基本周波数が同一の成分にまとめられてしまうことがあった。つまり、場合によっては段階が異なるにも関わらず同一の基本周波数の音が提示されてしまった。

刺激の基本周波数範囲 3 種類  $\times$  刺激 3 種類の全 9 種類の刺激について、それぞれ上昇・下降系列を 10 回ずつ行い、試行数は合計で 180 試行であった。全 180 試行について提示順をランダムにし、90 試行ずつに分けて 2 日間に渡って実験を行った。また、30 試行ごとに 2 分間の休憩を取った。1 日の実験にかかった時間は約 1 時間であった。

実験は簡易防音室で行われ、ラップトップ計算機(Apple, MacBook Pro)と、それによって制御される DSP システム(Symbolic Sounds, Pacarana + Kyma; M-Audio, ProFire2626)によって実施した。刺激音はヘッドフォン・アンプ(Luxman, P-1)を経てヘッドフォン(Sennheiser, HD-650)で両耳に提示した。

### 3.3. 実験参加者

京都市立芸術大学の学生および卒業生の絶対音感保持者である MU, MI, SW, ST の 4 名が実験に参加した。各年代の人数は 20 代以下 3 名(MU, MI, SW)、30 代 1 名(ST)であった。SW は著者である。MI, ST は 90 試行、MU は 60 試行のみ実験を実施した。それゆえ MI, ST は上昇・下降系列の提示数に偏りが生じた可能性があり、MU はそれに加えて刺激の種類によって提示回数も異なった。また、ST は他の参加者よりも小さな刺激提示レベルで実験を実施し、さらに実験機材の不具合により刺激提示レベルが左右の耳で異なった可能性がある。参加者には実験協力に対する謝礼を支払った。

## 4. 結果

刺激の種類ごとの調整の結果を平均し、基本周波数範囲に対する関数として被験者ごとにプロットしたものを図 2 に示す。

全体を見ると、個人差はあるが MF と HP は全体的に山型の線を描いており、低い・高い周波数の範囲よ

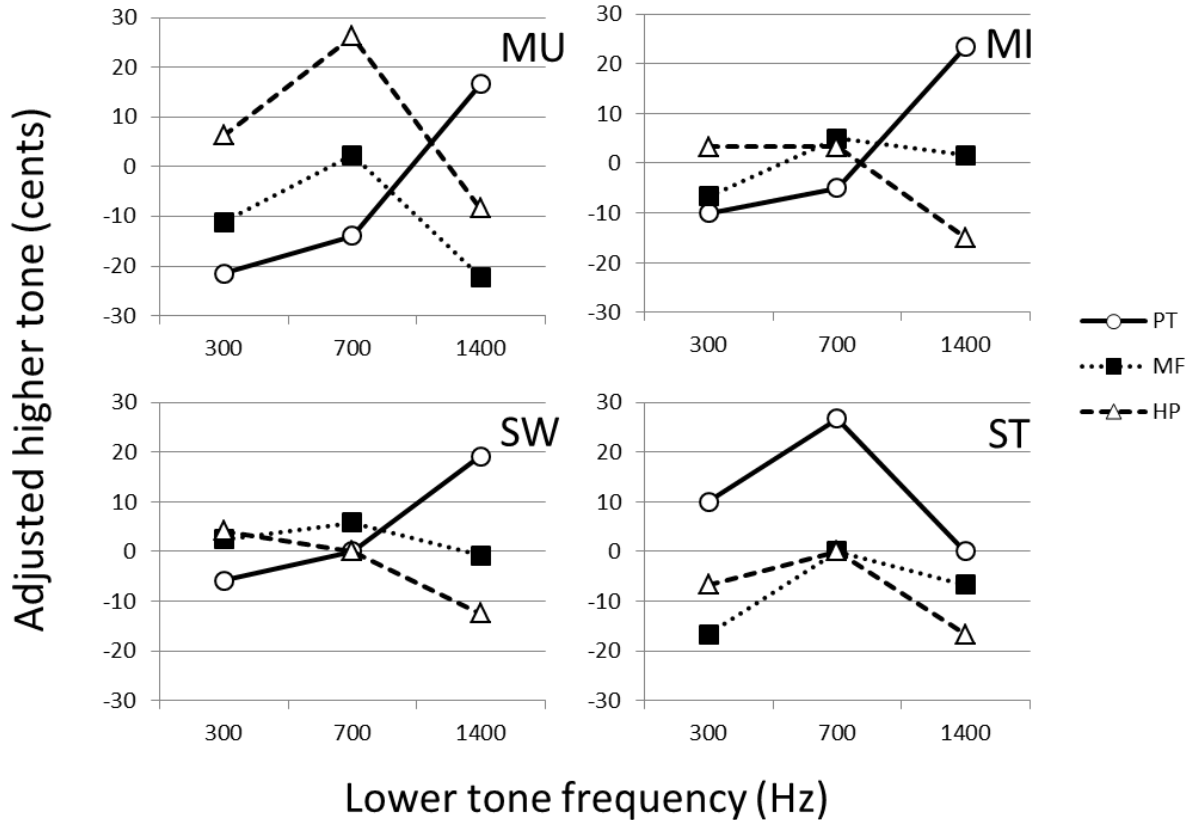


図 2. 各被験者の調整の結果の平均値

りも中程度の周波数範囲でオクターブがより広く調整された。HP では特に高い周波数範囲におけるオクターブが最も狭く調整されている。

一方、PT では 20 代の実験参加者全員が、周波数範囲が高くなるにつれてオクターブを広く調整する傾向にあった。さらに、周波数範囲が低い・中程度の範囲では他の刺激と同じかそれよりも狭くオクターブを調整し、高い周波数範囲では他の刺激よりも最も広くオクターブを調整している。一方、30 代の実験参加者である ST の判断は他の刺激の種類の場合と同様山型となっており、中程度の周波数範囲ではオクターブがより広く調整されているものの高い・低い周波数範囲での調整はより狭いものであった。ただし、ST はどの周波数範囲においても PT を他の刺激よりも広くオクターブを調整した。また、PT の高い周波数範囲では、全ての実験参加者が他の刺激よりも広くオクターブを調整した。

### 5. 考察

本実験から、PT は周波数範囲が高くなるに連れてオクターブが伸張しており、先行研究と類似の結果が得られた。また、MF では時間的手がかりの有用な範囲でオクターブ伸張が起きる可能性が示唆された。HP では、少なくともピッチを強く感じる周波数範囲では

他の周波数範囲と比較してオクターブ伸張が生じたと考えられる。また、HP と MF は周波数範囲に対して類似した変化をしているように見えるが、必ずしも同じ原因による変化ではないと考えられる。

Hartman[6]で用いられた HP の刺激は、2 音のうち低い方の音の基本周波数が 300 から 500 Hz という狭い範囲に限られていたものの、周波数が高くなるにつれ主観的オクターブがより広がる傾向が見られた。今回の実験で用いた中程度の周波数範囲の中心にあたる  $F_L$  が 350 Hz であり、Hartman[6]で用いられた刺激に近い周波数範囲であるといえる。今回の実験では、低い周波数範囲よりも中程度の周波数範囲でオクターブがより広く調整される傾向が数名の被験者で見られ、この点では Hartman[6]に近い結果が得られたとも考えられる。しかし、HP は 500 から 600 Hz で最もピッチを感じやすく、それよりも基本周波数が高くなり 1500 Hz 以上になるとピッチが消失し、200 Hz 以下になるとピッチが弱くなる[6]。今回高い周波数範囲で提示した HP の  $F_H$  の基本周波数は 1212 から 1616 Hz であり、低い周波数範囲の  $F_L$  の基本周波数は 164 Hz から 184 Hz であった。それゆえ、低い周波数から中程度の周波数にかけてオクターブが広がったのは、ピッチ感の弱い周波数範囲ではオクターブが狭く感じられ、ピッチがより明確な周波数範囲ではオクターブが広く感じ

られたことが原因である可能性もあり、必ずしも Hartman[6]と同様の原理でこの結果が生じたとは言いきれない。

MF・HPでは、中程度の周波数範囲で最もオクターブが広く調整され低い・高い周波数範囲ではオクターブがより狭く調整されると言う類似の結果が生じている。MFの高い周波数範囲の $F_H$ には3000から4000Hz以上の時間的手がかりが有効とならない成分が半数以上含まれていた。時間的手がかりの希薄な周波数範囲になるとオクターブがより狭くなり、一方時間的手がかりが有用となる周波数範囲では周波数範囲が高くなるに連れオクターブがより広くなるというPTと類似の傾向を見せた可能性がある。HPの結果が上記のようなピッチの明瞭さと関連する問題で生じた可能性を考えると、MFとHPはそれぞれ異なる原因によって偶然類似の結果を生じた可能性がある。

PTでは周波数範囲が高くなるにつれてオクターブをより広く調整するという傾向が20代の参加者全員で見られたのに対し、30代の参加者STでは見られなかった。しかし、STは純音でのピッチシフトが生じておらず、この結果が加齢によるピッチシフトと関係するかどうかについては現時点では判断しがたい。

今回の実験のデータは試行数や機材の不具合、刺激の問題により信頼性が高いとは言いがたい。今後は被験者と試行数を増やすことでより正確なデータを獲得し刺激の種類と周波数範囲との関連を明確なものとする。さらに、様々な年齢層に対してオクターブ調整実験を行うことで、加齢によるピッチシフトとオクターブ感覚との関係性を明らかにしていく。

## 6. 謝辞

この研究は、日本学術振興会科学研究助成金 No. 24243070 の助成を受けた。

## 文 献

- [1] K. Miyazaki, S. Makomaska, and A. Rakowski, "Prevalence of absolute pitch: A comparison between Japanese and Polish music students," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.132, no.5, pp. 3484-3493, Nov. 2012.
- [2] 津崎実, 松井淑恵, 入野俊夫, 竹島千尋, "加齢に伴う絶対音感のシフト - 気導聴力検査結果との関係 -," *日本音響学会 2014 年春季研究発表会講演論文集*, no.2-3-1, pp.459-522, March 2014.
- [3] 津崎実, 松井淑恵, 入野俊夫, 竹島千尋, "加齢による絶対音感シフトと耳音響反射との関連性について," *日本音響学会 2014 年秋季研究発表会*, no.3-Q-37, pp.489-482, Sep. 2014.
- [4] 津崎実, 田中里弥, 園田順子, *日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集*, no.3-6-13, pp.1473-1476, March 2016.
- [5] W. D. Ward, "Subjective musical pitch," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 26, no.3, pp.369-380, May 1954.
- [6] W. M. Hartmann, "On the origin of the enlarged melodic octave," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.93, no.6, pp.3400-3409, June 1993.
- [7] E. M. Cramer and W. H. Huggins, "Creation of pitch through binaural interaction," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.30, no.5, pp.413-417, May 1958.