

Title	位相変化に対する音色知覚機構に関する研究
Author(s)	西澤, 雅人
Citation	
Issue Date	2000-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1342
Rights	
Description	Supervisor: 赤木 正人, 情報科学研究科, 修士

位相変化に対する音色知覚機構に関する研究

西澤 雅人

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2000 年 2 月 15 日

キーワード: 位相, 群遅延, 逆フィルタ, Auditory Image Model(AIM)[6].

1 はじめに

音色に関する研究として位相情報が扱われることは少ない。これは位相情報が聴覚的に重要ではないとされてきたからである。しかし, 位相が音色知覚に影響を及ぼすことは少数ながら報告されており, 位相と音色知覚との関連を明確にすることは聴覚系の時間情報処理, 音色の知覚機構を検討する上で重要視されている。

初めて位相変化による音色の変化に関する研究を行った Helmholtz は「位相変化による音色の変化はある母音が他の母音と知覚されるほど大きくない。」と結論付けた [1]。この結論は後に位相変化による音色の違いは無視できるとあまりに単純化されてしまった。

しかし, その後, Licklider[2], Shroeder[3], Plomp[4] などにより, 調波複合音を用いた実験が行われた結果, ある条件下では位相変化による音色の変化が知覚されることが, 報告されている。

また, Patterson は聴神経の発火を模擬したパルス列を用いた, パルスリボンモデル [5] を提案し, 位相変化に対する音色知覚特性の説明を試みている。これに対し安武ら [7] は, 実験機器の位相歪みを可能な限り除去して実験精度をあげた上で実験を行い, パルスリボンモデルの妥当性を検証している。

本研究では, 安武ら [7] により行なわれた, 位相補正法の精度を更に向上させることを検討した。その上で安武らの実験の追試 (実験 1), 位相知覚に対する高調波成分数の影響についての実験 (実験 2), 基本周波数と位相変化知覚についての実験 (実験 3) を行った。更に, パルスリボンモデルを発展させた Auditory Image Model[6] によるシミュレーションを行い, 聴覚系での音色知覚特性について考察した。

2 実験系

実験系において位相情報に大きく影響を及ぼす要因がいくつかある．ヘッドフォンアンプの電源は安定化電源を用いた．ヘッドフォンは振幅特性，群遅延特性ともになるべく平坦なものを使用した．その他のアナログ部の電気音響機器は電源による影響を受けないようにバッテリー駆動で使用した．

3 実験系の特性の測定

実験系の特性は Time-stretched pulse(TSP) 法によって得られるインパルス応答に基づいて測定した．TSP 信号を実験系に流し，ヘッドフォンから出力される音をカップラに取り付けられたマイクで取り込み，これを TSP 応答として，TSP 信号を時間反転させた ITSP 信号と畳み込むことにより実験系のインパルス応答を得る．得られたインパルス応答を，DFT して実験系の振幅特性や群遅延特性を計算した．

測定の結果，群遅延特性の細かいピークやディップの位置や値は測定毎に異なり，特に低域では安定しなかった．従って，位相補正により，全帯域にわたって群遅延特性を平坦にすることは困難であるため，安定して補正可能である帯域に制限して補正をすることにした．

位相補正は逆フィルタによって行う．予め TSP 法によって実験系の特性を計算しておき，その逆特性を持つ逆フィルタを作成する．逆フィルタと原波形を周波数領域で乗じ，更に逆 DFT して刺激音を作成する．すると，刺激音は実験系の位相特性と逆の位相特性を持つことになるので，刺激音が実験系に入力されると実験系の位相歪みを打ち消す．従って，本来の原波形により近いものが再生されることが期待される．

4 実験 1

安武ら [7] によって行われた実験は，基本周波数 125Hz と 250Hz の，31 成分調波複合音を用い，一つの高調波成分の位相を π 変化させたときの音色の違いを判断するものであった．本研究と同様に，刺激音は逆フィルタによる位相補正が施されていた．この実験の結果によると，基本周波数が 125Hz の場合，聴覚フィルタ内の高調波が 2-3 本になると音色の違いを判断できたが，基本周波数が 250Hz のときは判断が曖昧であったと報告されている．

この報告結果を確認するために，同じ条件でこの実験の追試を行った．結果，安武ら [7] の実験結果とほぼ同様な結果が得られた．

聴覚フィルタ内の高調波が 2-3 本になると音色の違いを判断できるという結果は聴神経の発火パターンを模擬したモデルであるパルスリボンモデル [5] の妥当性を支持するものである．

5 実験 2

基本周波数が低い場合，高調波成分を多くとらなければ，高域の高調波成分において位相変化による音色変化について調べることができない．従って，実験 2 では，位相変化による音色変化に対する高調波成分の影響を調べるため，基本周波数 125Hz の 31 成分調波複合音と 60 成分調波複合音について，予備実験 1 と同様な聴取実験を行なった．

その結果，基本周波数 125Hz の 60 成分調波複合音複合についても，ほぼ同様な結果が得られた．従って，位相変化が音色知覚に及ぼす影響は，高調波成分に依存しないと考えられる．

6 実験 3

実験 3 では，高調波成分の位相変化による音色の変化と，基本周波数との関係について調べる実験を行なった．調波複合音の基本周波数は 62.5Hz から 250Hz まで，2 オクターブを約 $1/4$ オクターブ毎に設定した．また，各々の調波複合音の高調波成分は全ての基本周波数で，最低 5kHz 以上の成分を含むように，高調波成分を設定した．

実験の結果，基本周波数が 200Hz 以下では，安武らが示唆した結果 [7] と同様に，聴覚フィルタ内に高調波成分が 2-3 本あると，音色の違いがわかるという結果がでた．基本周波数が 200Hz を越えると判断は曖昧になり，音色の違いは，はっきりとはわからない．実験結果を最小 2 乗法で近似し，音色の変化を知覚できる高調波成分の検知限を求めた結果，2.24 であった．

また，音色の判別率が高いとき，調波複合音とは別に純音のような音が分離して聞こえるという現象が起こっていた．この現象については Duifhuis[8] も報告している．

7 Auditory Image Model(AIM)[7] によるシミュレーション

聴神経の発火パターンのモデルであるパルスリボンモデルを更に発展させた, Auditory Image Model(AIM)[6] により, シミュレーションを行った．AIM は Gammatone フィルタを用いて聴覚系の処理機構を模擬したモデルである．Gammatone フィルタの出力をその中心周波数に対応した基底膜上の位置での振動パターン (Basilar Membrane Movement:BMM) として捉え，これに内有毛細胞のモデルを付け加えることにより聴神経の発火パターン (Neural Activity Pattern:NAP) を計算する．

本研究では位相変化による NAP の変化を調べた．その結果，基本周波数が 200Hz より低い場合では実験結果と NAP はよい対応を示したが，基本周波数が 200Hz より高い場合は実験結果と対応せず，更に議論が必要である．

8 まとめ

- 本研究では、実験系の位相歪みを厳密に補正した上で心理実験を行ない、主に、位相特性の異なる調波複合音の音色の違いと基本周波数の関係について調べた。その結果、過去の報告の妥当性を示すとともに、基本周波数が 200Hz よりも低く、聴覚フィルタ内の高調波成分の本数が 2-3 本以上である場合には、位相変化による音色の違いが知覚されることを示した。
- AIM によるシミュレーションを行い、位相変化による聴神経の発火パターンと実験結果の対応を調べた結果、基本周波数が 200Hz より低いならば、良く対応していることがわかった。基本周波数が 200Hz より高い場合には実験結果と AIM のシミュレーション結果は対応していなかった。これについては更に議論が必要である。

参考文献

- [1] von Helmholtz, H.L.F.: “Ueber die Klangfarbe der Vocale,”
Ann.Physik.Chem., 18, 280-290, (1859).
- [2] Licklider, J.C.R.: “Effects of Changes in the Phase Pattern upon the Sound of a 16
Harmonic Tone,” J.Acoust.Soc.Am., 29, Suppl.O3, 780, 53rd meeting, (1957).
- [3] Shroeder, M.R.: “New Results Concerning Monaural Phase Sensitivity”
J.Acoust.Soc.Am., 31, Suppl.J5, 1579, 58th meeting, (1959).
- [4] Plomp, R. and Steeneken, H.J.M.: “Effect of Phase on the Timbre of Complex Tones,”
J.Acoust.Soc.Am., 46, 2, 409-421, (1969).
- [5] Patterson, R.D.: “A pulse ribbon model of monaural phase perception,” J.Acoust
Soc.Am., 82, 5, 1560-1568, (1987).
- [6] Patterson, R.D. and Allerhand, M.H.: “Time-domain modeling of peripheral
auditory processing: A modular architecture and a software platform”
J.Acoust.Soc.Am., 98, 4, 1890-1894, (1995)
- [7] 赤木, 安武: “時間方向情報の知覚の検討 - 位相変化の音色知覚に及ぼす影響について” 信学技報, EA98-19 (1998-06).
- [8] Duifhuis, H.: “Auditory of high harmonic in a periodic pulse” J.Acoust
Soc.Am., 48, 888-893, (1970)
- [9] Duifhuis, H.: “Auditory of high harmonic in a periodic pulse II” J.Acoust
Soc.Am., 49, 1155-1162, (1971).