

「歌う雑音」： Phantom Skeleton 方式による多層動的バンドノイズ音声

内田 照久^{1,a)} 森勢将雅²

概要：音の高さの知覚を説明するためのピッチ知覚の聴覚モデルが提案されている。ここでは、音の時間的な周期性が重要とする時間説と、高調波成分を検出する感覚器に軸足を置く周波数説（場所説）とが、長年、議論を戦わせてきた。今回、本研究では声のピッチ知覚の研究のための実験用音声の生成を試みた。音声分析合成 vocoder: WORLD を改変し、通常音声から抽出したスペクトルを白色雑音で駆動した多層動的バンドノイズ音声を生成した。これは周期性が存在しない雑音であるが、調波構造状のスペクトルを備えた動的な帯域雑音となる。評価実験で素材に歌声を用いて、(1) 単純再合成音声、(2) スペクトル包絡を雑音駆動した疑似ささやき声、(3) 調波構造状の多層動的バンドノイズ音声、(4) 基本周波数を移調した歌声を元にした多層動的バンドノイズ音声を準備した。そして、聴覚実験によって調波構造状のエネルギーの集中からピッチを感じるかどうか検証した。

キーワード：ピッチ、スペクトル、調波構造、雑音駆動音声、帯域雑音

“Singing Noise”: Multilayer Dynamic Band Noise Speech with Phantom Skeleton Method

Abstract: An auditory model of pitch perception has been proposed to explain the perception of sound pitch. For decades, a significant debate has raged between the temporal theory, which asserts the temporal periodicity of sound as crucial, and the frequency theory (place theory), which is grounded in the sensory organs that detect harmonic components. In this study, we attempted to generate experimental voices to study voice pitch perception. A voice analysis synthesis vocoder, WORLD, was modified to generate a multilayer dynamic band noise voice with a spectrum extracted from ordinary speech and driven by white noise. This noise has no periodicity, but a dynamic band noise with a harmonic structure-like spectrum. In the evaluation experiment, we used singing voices as materials. We prepared (1) a simple resynthesized voice, (2) a pseudo-whispering voice with noise-vocoded spectral envelope, (3) a multilayered dynamic band noise voice with the harmonic structure preserved, and (4) a multilayered dynamic band noise voice based on singing voices transposed by a constant multiplication of the fundamental frequency. Subsequently, we conducted auditory experiments with the aim of confirming whether pitch perception is influenced by the concentration of energy in the harmonic structure.

Keywords: pitch, spectrum, harmonic structure, noise vocoded speech, band noise

1. はじめに

1.1 音のピッチの知覚

音の高さの知覚を説明するために、従来からピッチ知覚の聴覚モデルがいくつも提案されてきた。ここでは、音の時間的な周期性が重要であるとする時間説と、高調波成分を感知する感覚器官に根拠を置く周波数説（場所説）との間で、大きな論争が繰り返されてきた^[1,2]。近年、この

¹ 大学入試センター 研究開発部
Research Division, National Center for University Entrance Examinations, 2-19-23 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8501, Japan

² 明治大学 総合数理学部
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University, 4-21-1, Nakano, Nakano-ku, Tokyo 164-8525, Japan

^{a)} uchida@rd.dnc.ac.jp

議論の中でも、聴覚実験で使用される人工的で特殊な音に留まらず、人が普段から耳にするような、生態学的に妥当な音を扱う必要性が提起されている [3].

1.2 言語情報を伝達する声

人が生きていく上で不可欠な音を考えた場合、言語情報を伝達する「人の声」が重要であることは言をまたない。この言語音声での声の高さの変化は、基本周波数 (fundamental frequency: f_0) の軌跡パターンとして観測される。そして、この f_0 パターンは、日本語ではアクセントとして単語を区別する役割を担っている。また、文末の上昇調は疑問文である、といった文法的な機能も伝えている。

1.3 楽音としての人の声

音の高さそのものが、より本質的な役割を担っているのが音楽である。音楽における楽音の音の高さは、メロディやハーモニーを構成するための最も主要な属性である。そして、その楽音としての機能を担っている人の声が「歌声」である。

1.4 歌声によるピッチ知覚の検証可能性

ピッチ知覚研究を進める上で、一定の生態学的妥当性を担保できる人の歌声を材料とすることを考える。歌声であれば、音の高さの変化に聞き手の注意が自ずと向くことになるので、実験素材としても有用性が期待できる。

この歌声は、楽音として機能させるために、音高変化が明確に伝わるように発声される。そのため、 f_0 パターンも安定して観測されることが多く、倍音も豊かで調波構造もはっきりしている。また、音声波形には時間的な周期性が明瞭に見られる。

このことは、ピッチ知覚の時間説を検討する際には利点となる。しかし、このままでは高調波成分の役割に主眼をおいた周波数説 (場所説) を検討していくのは難しい。

1.5 ささやき声：スペクトル包絡が刻まれた雑音

人の声の中で、ささやき声は、基本周波数や調波構造を持たない。それは、雑音成分からできており、スペクトル包絡の概形のみを音響情報で言語的な情報を伝えている。そして、完全に無声化したささやき声では、音声波形上に時間的な周期性は見られない。音声のスペクトルの特徴に強く依存した声のバリエーションであると言える。

このことはすなわち、人は、時間的な周期性を伴わない雑音で言語情報を伝達しており、日常的にそれを行なっていることを意味する。雑音成分からなる音が、人の声のバリエーションとして存在するということは、歌声にも雑音由来の音を想定して考えていく上での足がかりになり得る。これまでに、音声や歌声からささやき声を生成する試みが行なわれている [4,5]。これらの技術の拡張も期待できる。

1.6 調波構造を模したバンドノイズ音声

歌声の音響分析によって、 f_0 パターンや調波構造を映し出すスペクトルを抽出することができる [6]。その調波構造に対応した部分にエネルギーを持つ雑音を生成できれば、高調波成分に主眼をおいた周波数説 (場所説) の検証に利用できる可能性がある。

すなわち、雑音なので音声波形としては時間的な周期性は存在しない。その一方で、スペクトルには調波構造状のエネルギー分布が維持された音になる。見かけ上は、多層の帯域雑音であり、元々が歌声であるので時間方向に動的に変化する音となる。

1.7 多層動的バンドノイズ音声の生成とその評価

本研究では、ピッチ知覚研究の実験用音声として、歌声での調波構造を模した多層動的バンドノイズ音声の生成を試みる。ここでは、通常音声を疑似ささやき声に変換する Phantom Silhouette 方式 [4,5] をベースとする。その上で、歌声から抽出した調波構造を持つスペクトルを白色雑音で駆動することで、多層動的バンドノイズ音声を生成できるように拡張した Phantom Skeleton 方式を提案する。

そして、生成した実験音声を用いて評価実験を行なう。歌声素材から、(1) 単純再合成音声、(2) 疑似ささやき声、(3) 多層動的バンドノイズ音声、(4) f_0 変換で移調させた歌声からの多層動的バンドノイズ音声を生成する。

そして、各条件の実験音声について、ささやき声らしさ、歌声らしさ、旋律性の認知、声の自然性について、実験で主観評価を行なって検討する。

2. 方法

2.1 原音声

歌声を収録している音声コーパス JVS-MuSiC [7] から、男女各 6 名の計 12 名による歌声を原音声として使用した。歌声データの内容は、12 種類の童謡の出だしの部分とし、24 kHz サンプリング、16 bit 量子化で収録されたものを用いた。表 1 に、話者や音域、歌名を示す。

2.2 歌声の変換

歌声の各種変換、及び f_0 の操作には、音声分析合成型 vocoder の WORLD ver. 2.4 [8,9] を用いた。

2.2.1 実験条件 1：単純再合成

後段の実験条件では、各種音響属性を WORLD で変換した音声を評価する。そこでの条件をふまえて基準となる無変換の条件については、原音声をそのまま WORLD で単純再合成したものを使用した。

まず、原音声の歌声を WORLD で分析して f_0 パターン、スペクトル包絡、非周期性指標をもとめた。それらをそのままの形で使用して、歌声を再合成した。図 1 に、F4 の歌声のスペクトル包絡の例を示す。

表 1 実験に使用した歌声の音声データ (M: Male, F: Female)

Table 1 Material songs for Experiment (M: Male, F: Female)

No.	Singer	Key	Song
M1	jvs046	low	茶摘み
M2	jvs086	low	ゆき
M3	jvs042	mid	うさぎとかめ
M4	jvs080	mid	はるがきた
M5	jvs009	high	あめふり
M6	jvs099	high	かごめかごめ
F1	jvs017	low	ふるさと
F2	jvs039	low	われは海の子
F3	jvs026	mid	うさぎ
F4	jvs056	mid	桃太郎
F5	jvs051	high	げんこつやまのためきさん
F6	jvs062	high	ちょうちょう

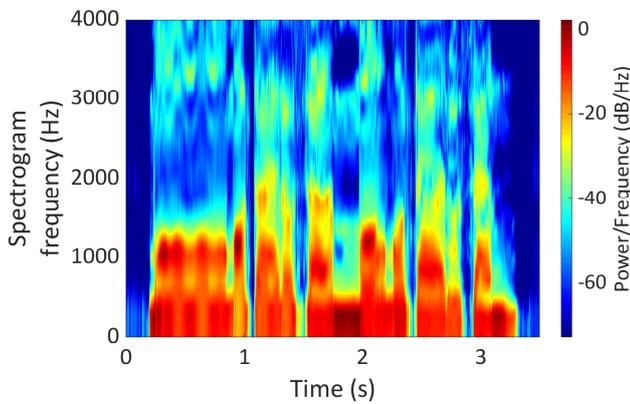


図 1 WORLD で抽出されたスペクトル包絡 (F4: 桃太郎「桃太郎さん 桃太郎さん」)

Fig. 1 The spectral envelope analyzed by WORLD. (F4)

2.2.2 実験条件 2: 疑似ささやき声

WORLD での音声合成時に、通常であれば f_0 パターンを描く声帯音源を模した音源信号で駆動させるところを、白色雑音で差し換えて合成する。すると、 f_0 や調波構造が存在しない雑音駆動音声を得られる^[10]。それを元にして、自然なささやき声を模して低域を抑圧して疑似ささやき声として使用した。この疑似ささやき声の生成法を Phantom Silhouette 方式と呼ぶ^[4,5]。

ここでは、雑音駆動音声で音韻の了解性に重要とされる 570Hz~1,370Hz の帯域の範囲^[11]に留意して遮断の遷移域に設定して低域抑圧を行う。具体的には (1) 式の w 値でスペクトルに直接重みづけをして、低域を抑圧した。

$$w = [(f - 550)/(1350 - 550)]^e \quad (1)$$

2.2.3 実験条件 3: 多層動的バンドノイズ音声

通常、WORLD の分析合成では、調波構造が観測されるスペクトルから f_0 の影響を取り除いて平滑化した図 1 のようなスペクトル包絡を抽出する。しかし、本研究では、調波構造状のエネルギー分布を備えた雑音の生成を目指し

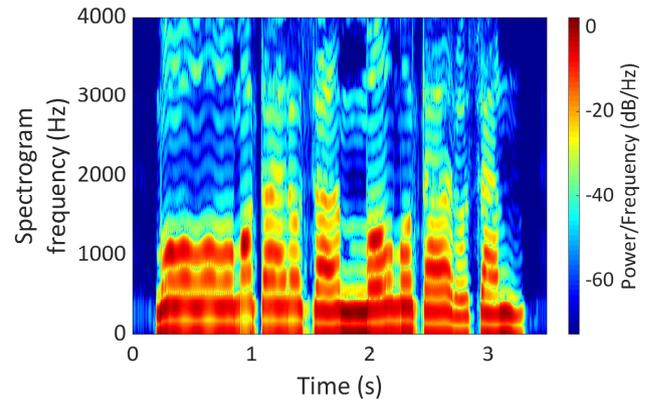


図 2 多層動的バンドノイズ音声の生成に用いるスペクトルの原形 (F4: 桃太郎「桃太郎さん 桃太郎さん」)

Fig. 2 The original spectrum for multilayer dynamic band noise speech generation. (F4)

ている。そこで、WORLD 中でスペクトル包絡をもとめる関数である Cheap Trick を改変して、原音声での調波構造が維持されたスペクトルをそのまま出力するようにした。その出力段階で得られるスペクトルの例を図 2 に示す。

次に、その調波構造状のスペクトルに対して、Phantom Silhouette 方式と同じように低域抑圧を行なう。その上で、白色雑音で駆動し、多層動的バンドノイズ音声を作成する。ここでは、スペクトルの概形に相当するシルエットではなく、元々の調波構造の骨格のような形状を用いることから、この変換方式を Phantom Skeleton 方式と呼ぶことにする。

2.2.4 実験条件 4: f_0 を移調させた歌声からの多層動的バンドノイズ音声

多層動的バンドノイズ音声には、時間的な周期性は存在せず、調波構造のエネルギー分布しか残っていない雑音である。このバンドノイズ音声において、楽音としての移調、音の高低の操作が可能かどうかを検討する。

まず、WORLD で原音声の f_0 パターン、スペクトル包絡、非周期性指標をもとめる。次に、 f_0 を定数倍して移調する。1 全音 (200 cent) を高く移調する場合は、(2) 式を用いる。

$$f' = 2^{\frac{200}{1200}} f \quad (2)$$

実験条件 4 では、M1・F1・M4・F4・M6・W6 の歌声は f_0 を 1 全音高く、M2・F2・M3・F3・M5・W5 の歌声は 1 全音低く移調した。移調変換した f_0 パターンを図 3 に示す。

そして、変換した f_0 パターンと、先にもとめたスペクトル包絡、非周期性指標を用いて、一旦、移調させた歌声音声を生成した。その上で、得られた移調歌声を元に、今度は Phantom Skeleton 方式で分析合成を行なって、移調後の多層動的バンドノイズ音声を生成した。

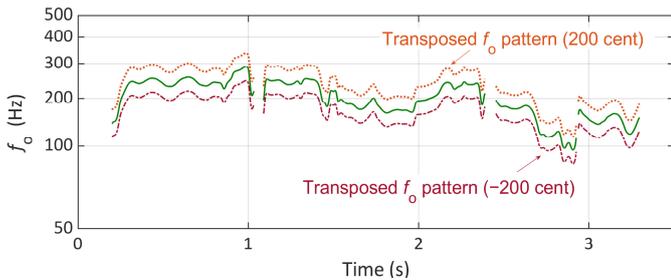


図 3 原音声を移調した f_0 パターンの例 (F4: 桃太郎「桃太郎さん 桃太郎さん」)

Fig. 3 Example of f_0 pattern converted from the original singing voice. (F4)

2.3 実験用音声の生成と実験ブロックへの割当

実験条件 2-4 の実験音声では、全てのスペクトルに操作が加えられている。その生成で使ったスペクトルの例を図 4 に示す。左から順に、条件 2, 条件 3, 条件 4 である。いずれも低域抑圧がなされている。まず、条件 2 では、平滑化されたスペクトル包絡の概形が見られる。次に条件 3 では、スペクトルの中に調波構造の形状が見える。そして、条件 4 では、その調波構造が全体的に上方シフトしている様子が見て取れる。

次に、各実験条件の音声波形の例を図 5 に示す。条件 1 に相当する原歌声は、時間的周期性が見られる音声であり、波形の包絡も滑らかである。一方、条件 2-5 で生成された音声は雑音成分からなっており、波形の中にもランダムな振幅が見られる。

実験全体では、16 の原音声から 4 つの実験条件で 64 の変換音声を生じた。これらの音声を分割して 4 音声ずつを、16 の実験ブロックに割り当てた。1 つの実験ブロックには、4 つの実験条件の音声が必要割り当てられるようにし、その原音声の歌い手が男女各 2 名になるようにした。音声の提示順序については、実験ブロック間で条件ごとの提示順序の効果が相殺されるように配置した。

2.4 実験の手続き

2.4.1 参加者

実験には首都圏の国公立大学 (14 大学) の 1 年生 256 名 (男性 166 名, 女性 84 名, 無回答 6 名) が参加した。この参加者を 16 群に分割して、実験ブロックを割り当てた。

2.4.2 評価項目

音声評価には、発声の種類 (ささやき声, 歌声), 旋律の認知, 自然性, 声質に関する評価項目を用いた (表 1)。

2.4.3 手続き

参加者には、提示される音声の評価項目の内容に、あてはまるか、あてはまらないかを、10 段階で評定するように指示した。なお、一つの音声についての評定の制限時間は 60 秒であった。

表 2 聴覚実験のための評定項目

Table 2 Evaluation items for auditory experiments.

Trait	Evaluation items
発声の種類	ささやき声, 歌声
旋律の認知	メロディが伝わる声 旋律がはっきりしない*
声の自然性	自然な, わかりにくい*, はっきりした, 聞き取りにくい*
声質	高い声, ハスキーな, 人工的な, 大勢の声

* 逆転項目 太字 分析対象

3. 評価実験の結果と考察

3.1 評価項目ごとの評価指標

実験音声ごとの、参加者による評定の平均を評価指標として扱う。参加者が 10 段階で評定した回答については、項目内容が実験音声にあてはまるとしたものが 0.5~4.5 点、あてはまらないとしたものが -0.5~-4.5 点になるよう変換した。この指標が正值で大きい程、音声の印象が評価項目にあてはまっており、負で小さいほどあてはまらないことを意味する。

3.2 分析対象の評価指標の分析

ここでは、「ささやき声らしさ」、「歌声らしさ」、「旋律の認知」、「声の自然性」を分析対象にした。評価観点ごとに、実験条件別の評価指標の平均と標準誤差を図 6 に示す。

実験条件ごとに、当該の音声の評価項目にあてはまると評価されたか、あてはまらなると評価されたかを分析した。個々の評価指標の平均について、「どちらとも言えない」に相当する $\mu = 0$ を帰無仮説とする両側 t 検定の結果で評価した。分析の結果、有意だったものについて、その有意確率を図 6 の該当音声の近傍に示した。

3.2.1 ささやき声らしさ

図 6 の最上段が、ささやき声らしさの評価結果である。条件 1 の単純再合成の歌声は、当然のことながら、全くささやき声らしくないと評価された。

一方、条件 2 の疑似ささやき声は、明らかにささやき声らしいと評価されていた。したがって、Phantom Silhouette 方式を利用した歌声のささやき声化は、ある程度成功していると解釈できる。

条件 3 の多層動的バンドノイズ音声、及び、条件 4 の移調歌声からの多層動的バンドノイズ音声は、いずれもささやき声らしいと評価されていた。これはいずれも調波構造状のスペクトル構造を持つ音声である。しかし、条件 3 と同じようにスペクトルの低域抑圧と雑音駆動による無声化が施されているため、声の種類としてはささやき声に聴こえたとみられる。

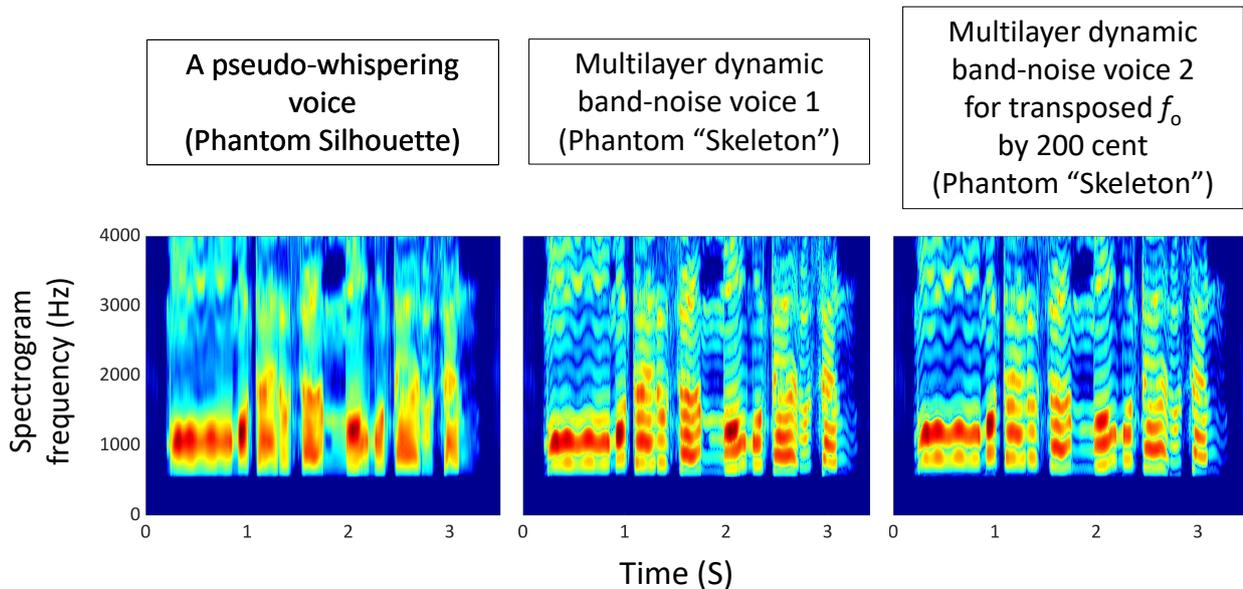


図 4 実験条件 2-4 の音声の生成で使用したスペクトル包絡の例 (F4: 桃太郎「桃太郎さん 桃太郎さん」)

Fig. 4 Examples of spectral envelopes used in the generation of experimental voice for experimental conditions 2-4.

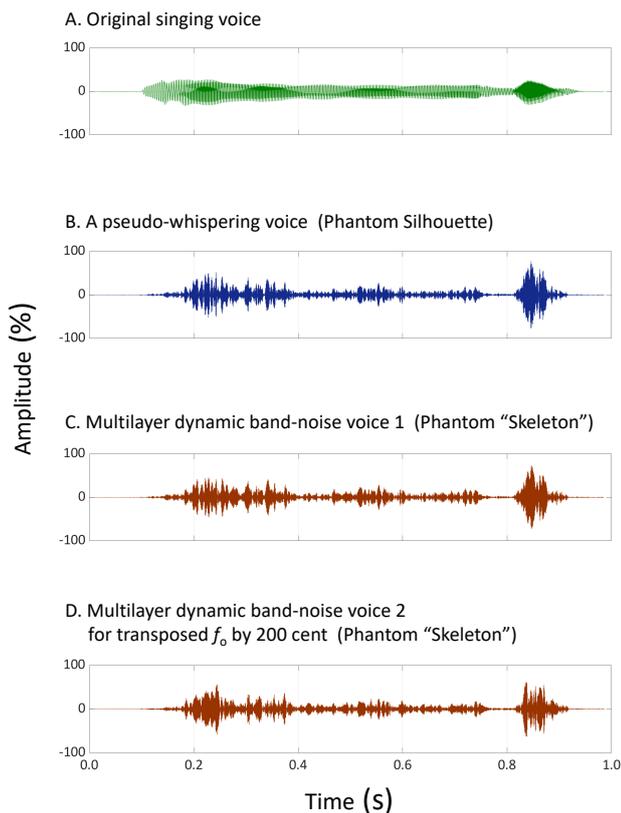


図 5 各実験条件の音声波形の例 (F4: 桃太郎「桃」)

Fig. 5 Examples of speech waveforms for each experimental condition.

3.2.2 歌声らしさ

図 6 の 2 段目が、歌声らしさの評価結果である。条件 1 の単純再合成の音声は、最も歌声らしいと評価された。

しかし、条件 2 の疑似ささやき声は、歌声かどうかどちらとも言えないという評価であった。Phantom Silhouette 方式による疑似ささやき声には、基本周波数も調波構造もいずれも存在しない。ピッチ知覚のための手がかりがきわめて少ないため、歌であるのかどうかの判断に窮したものと考えられる。

一方、条件 3 と条件 4 の多層動的バンドノイズ音声は、条件 1 の再合成音声の歌声らしさの評価には及ばないが、どちらかという歌声であると評価されていた。条件 2 の疑似ささやき声との違いは、スペクトル中の調波構造状のエネルギー分布である。したがって、雑音成分からなる音声であっても、調波構造状のエネルギー分布からピッチが知覚されることで、歌声らしさを感じているのではないかと推察される。

3.2.3 旋律性の認知

図 6 の 3 段目が旋律の認知の評価結果である。評価指標は「メロディが伝わる声」と「旋律がはっきりしない(逆転項目)」の合成得点から算出されている。ここでの結果は、先の歌声らしさの評価とほぼ同じ傾向であった。条件 1 の単純再合成は、最も旋律性があると評価された。

しかし、条件 2 の疑似ささやき声は、旋律があるかどうかどちらとも言えないという評価であった。

一方、条件 3 と条件 4 の多層動的バンドノイズ音声は、どちらかという旋律性があると評価されていた。したがって、バンドノイズ音声では、調波構造状のエネルギー分布の動的変化から、メロディ・ラインの動きを追従して知覚している可能性があると考えられる。

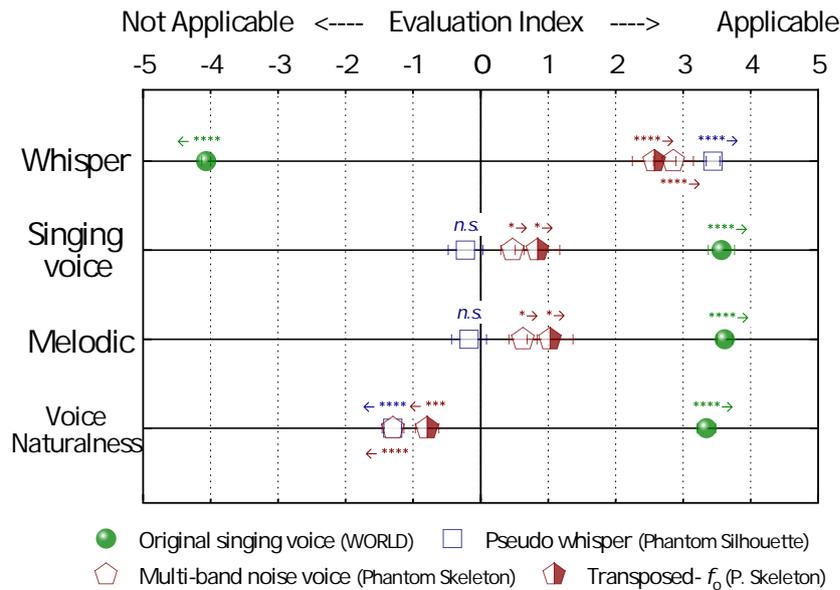


図 6 評価観点ごとの実験条件別の評価指標の平均と標準誤差
(* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, **** $p < .0001$)

Fig. 6 Means and standard errors of the evaluation indices by experimental condition for each evaluation item.

3.2.4 声の自然性

図 6 の最下段が声の自然性の評価結果である。評価指標は、表 1 に記された 4 項目の合成得点からもとめている。まず、変換操作がなされていない条件 1 の単純再合成が、最も自然で聞き取りやすいと評価されていた。

一方、条件 2 の疑似ささやき声は、どちらかと言うと聞き取りにくいという評価であった。この音声は雑音成分からなるものなので、通常音声と比べると明瞭性が低く、どうしても聞き取りにくい。日常場面でも、ささやき声は元々聞き取りにくく、ちょっと遠く離れると聞こえなくなってしまう。その意味では順当な評価結果と言える。

そして、条件 3 と条件 4 の多層動的バンドノイズ音声も、どちらかと言うと聞き取りにくい、という結果であった。その程度は、条件 2 の疑似ささやき声とほぼ同等であった。

実は、この多層動的なバンドノイズ音声は、調音器官の構造から鑑みても、人の声として発現することはありえない。実際にはありえない声にも関わらず、自然性の評価は疑似ささやき声と同等の評価が得られた。このことは、Phantom Skeleton 方式で生成されるバンドノイズ音声は、声のピッチ知覚研究でも利用できる可能性への道を拓くものと捉えることもできよう。

4. まとめと課題

4.1 声のピッチ知覚研究のための調波構造を模した動的バンドノイズ音声の生成

声のピッチ知覚研究で利用できる実験用の音声の生成を試みた。高調波成分に着目したピッチ知覚のモデルの検証

に利用可能な、調波構造状のスペクトルを備えた動的帯域雑音の生成を検討した。そこで、疑似ささやき声の生成法を拡張して、通常音声から抽出したスペクトルを白色雑音で駆動する Phantom Skeleton 方式を提案した。

Phantom Skeleton 方式で生成した多層動的バンドノイズ音声を用いて評価実験を行なった。その結果、声種の聴こえはささやき声であり、品質は疑似ささやき声と同等であった。その一方で、この多層動的バンドノイズ音声は、メロディを感じる歌声としても聞こえることが示された。

この結果から、Phantom Skeleton 方式による多層動的バンドノイズ音声は、ピッチ知覚研究で利用できる可能性が示されたと解釈された。

4.2 今後の課題

声の高さの知覚については、まだ解明されていない現象も多い。例えば、実際には「 f_0 が低い声」であっても、声の音色が違っていると「高い声だ」と知覚されてしまう「声のピッチ感の錯覚」と呼ばれる現象がある。具体的には、声のスペクトル包絡の周波数軸を伸長させると太い声から細い声になる。そこで、太くて高い声と、細くて低い声を聞き比べると、細くて低い方が「高い声」に聞こえてしまっていて、 f_0 の高低関係と声の高さの印象評価が逆転してしまう [12–15]。

このような現象の原因解明には、本研究で試みたような研究用音声の生成が不可欠である。そこでは、声としての生態学的妥当性に留意しつつも、音響属性の厳格な統制が可能な方法の開発を続けていくことが望まれる。

謝辞

本研究は、科研費 JP21H04900 の支援を受けました。

参考文献

- [1] 森周司・香田徹: 聴覚モデル, 日本音響学会 (編) 音響サイエンスシリーズ 3, コロナ社, (2011).
- [2] 大串健吾: 音のピッチ知覚, 日本音響学会 (編) 音響サイエンスシリーズ 15, コロナ社, (2016).
- [3] 津崎実: ピッチ知覚の研究ってむずかしいの?, 日本音楽知覚研究, Vol. 24, No 2, pp. 75–98, (2001).
- [4] Uchida, T. and Morise, M.: A practical method of generating whisper voice: Development of phantom silhouette method and its improvement, *Acoustical Science & Technology*, Vol.42, No.4, pp.214–217, (2021).
- [5] Uchida, T.: A practical method for generating whispers from singing voices: Application of improved phantom silhouette method *Acoustical Science & Technology*, Vol.44, No.3, pp.239–246, (2023).
- [6] 森勢将雅: 音声合成分析, 日本音響学会 (編) 音響テクノロジーシリーズ 22, コロナ社, (2018).
- [7] Tamaru, H., Takamichi, S., Tanji N. and Saruwatari H. JVS-MuSiC: free Japanese multispeaker singing-voice corpus, *arXiv preprint*, arXiv:2001.07044, (2020).
- [8] Morise, M., Yokomori, F. and Ozawa, K.: WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications, *IEICE transactions on information and systems*, Vol.E99-D, No.7, pp.1877–1884, (2016).
- [9] Morise, M.: D4C, a band-aperiodicity estimator for high-quality speech synthesis, *Speech Communication*, Vol.84, pp.57–65, (2016).
- [10] Shannon, R.V., Zeng, F.-G., Kamath, V., Wygonski, J. and Ekelid, M.: Speech recognition with primarily temporal cues, *Science*, Vol.270, No.4234, pp.303–304, (1995).
- [11] Kishida, T., Nakajima, Y., Ueda K. and Remijn, G. B.: Effects of factor elimination on intelligibility of noise-vocoded Japanese speech, *Proceedings of the 31st International Congress of Psychology*, PS28A-01–19, (2016).
- [12] 北岡明佳: 錯視・錯聴コンテスト 2016 (第 8 回), <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/sakkon2016.html>, (参照 2023-5-10).
- [13] Uchida, T.: Reversal of relationship between impression of voice pitch and height of fundamental frequency: Its appearance and disappearance, *Acoustical Science & Technology*, Vol.40, No.3, pp.198–208, (2019).
- [14] 内田照久, 森勢将雅: 声のピッチ感の錯覚と疑似歌声・疑似ささやき声による検討, 情報処理学会論文誌, Vol.61, No.4, pp.807–816, (2020).
- [15] Uchida, T.: Voice pitch illusion and perception of speaker's body size: Relationship with the spectral tilt in speech sound, *Acoustical Science & Technology*, Vol.43, No.1, pp.73–76, (2022).