

女子高校生の声の高さと体型について ～より良い合唱をするために～

海口 瑞姫¹ 今井 風花¹ 坂井 祐三子¹ 森勢 将雅^{2,3,a)}

概要：一般に、音声の高さ（基本周波数）は、身長とは負の相関があると言われており、これは、声帯の長さが身長と関連するという仮説に基づいている。本研究では、この仮説をより詳細に検証するため、様々な体型情報と基本周波数との相関関係を調査し、基本周波数と相関の強い体型情報を明らかにすることを目指す。本稿では、年齢条件をほぼ統一した女子生徒の発話を対象に、音声の高さに相当する基本周波数を推定し、複数の体型情報との関連性を調査した結果を示す。音声収録は、半年程度の期間を開けて2度実施し、基本周波数と5種の体型情報（身長・体重・首回り・胴回り・体格指数（BMI: Body Mass Index））との相関を分析した。分析の結果、基本周波数と身長との間に負の相関があることは確認できたが、それ以上に体重との相関が強いという傾向が認められた。

1. はじめに

基本周波数は、1秒当たりの声帯振動回数として定義され、知覚する声の高さに概ね対応する物理パラメータである。一般に女性の基本周波数は男性よりも高いことが知られており、この原因として声帯の長さの違い [1] があることも要因であるといえる。本研究の最終的な目標は優れた合唱をするために必要な体型パラメータの調査であり、事前に実施した合唱に関するアンケートでは、発声の容易さには体重が重要であるという内観報告がある。このような報告から、声の特徴を決定する要因として、身長以外の体型情報が重要となる可能性がある。音声を構成する要因には高さや音色などが存在するが、本研究では初期検討として基本周波数をターゲットとする。

本研究では、同性・同世代に限定した女子生徒の音声を収録し、高さに相当する基本周波数と様々な体型情報との関係性を調査する。基本周波数については身長と負の相関があることは示唆されているが、それ以外の体型情報との関係を明らかにすることで、前述の内観報告に対する検証を実施することができる。これらの結果から、将来的に良い合唱を行うための知見を得ることが狙いである。

2. 実験条件

本実験は、声の高さは身長と負の相関関係にあるという

表 1 実験に使用した音声の収録条件

発話者	25 名
発話内容	日本語朗読文
発話時間	約 6 秒
A/D 変換	44.1 kHz/32 bit
収録マイクロホン	AKG C414XLS
収録環境	一般教室（山梨英和高校内）

仮説を検証することが目的である。日常的な条件での高さを計測するため、単独の母音ではなく文章を朗読させることとした。今回は、「深い深い海の底に人魚たちが住んでいました。その海の底のどこよりも深いところに人魚の王様のお城がありました」という文章の朗読とした。収録人数は女子生徒 25 名とし、一般的な教室を収録環境とした。その他の条件を表 1 に示す。

収録された音声は、発生開始・終了のタイミングで切り出され、その後、音声分析合成システム WORLD [2] のモジュールである Harvest [3] により基本周波数軌跡を得た。1 ms 毎に計算された基本周波数軌跡の中央値を算出し、その朗読音声の基本周波数とした。本実験音声の収録環境は、防音室などの静音環境ではない通常の教室である。Harvest は比較的低 SNR でも動作することが特徴であり、推定結果の基本周波数軌跡を目視で確認し、致命的な推定ミスが生じていないことは確認している。

相関分析を行う際の体型のパラメータは、身長と体重だけではなく、首回り、胴回り、体格指数（BMI: Body Mass Index）の合計 5 種とした。基本周波数は声帯の長さに関連することから、首の太さは声帯の長さに関連する可能性

¹ 山梨英和高等学校

² 明治大学

³ JST さきがけ

a) mmorise@meiji.ac.jp

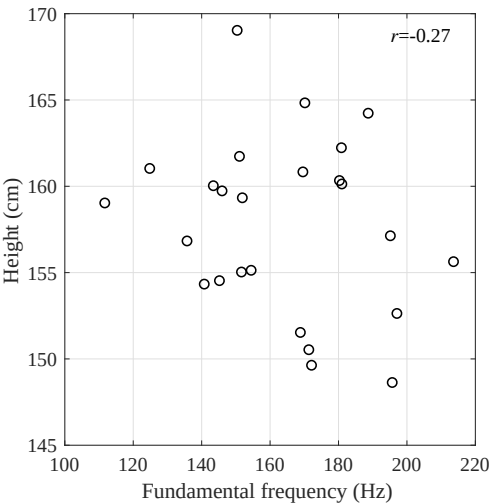


図 1 基本周波数と身長との関係

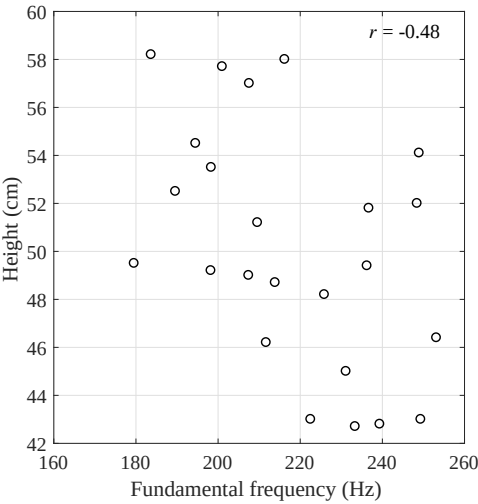


図 2 基本周波数と体重との関係

がある。胴回りについても、合唱において腹部に力を入れて発声するなどのことから、含めることとした。BMI は身長と体重から掲載されるパラメータで、基本周波数と身長・体重のバランスの関係性を見るために採用した。これらのパラメータのうち、身長と体重は身体測定により得られた数値を用い、首回りと胴回りは生徒自身で測定した。BMI は、身長と体重から計算し、分析に用いた。

3. 解析結果

実験結果のうち、基本周波数と、身長・体重に関する散布図を図 1, 2 に示す。結果から、基本周波数と身長には負の相関がみられるが、有意な相関とはならなかった。他方、体重が重い人ほど基本周波数低いという傾向については、有意な相関 ($p < 0.05$) であることが確認できた。その他の体型情報との相関係数については表 2 にまとめて示す。胴回り、首回りの相関係数は身長よりもさらに低く、BMI については身長よりは高い相関であるものの、体重単

表 2 体型情報と基本周波数との相関係数まとめ

体型情報の種類	基本周波数との相関係数 r
身長	-0.28
体重	-0.48
胴回り	-0.12
首回り	-0.19
BMI	-0.32

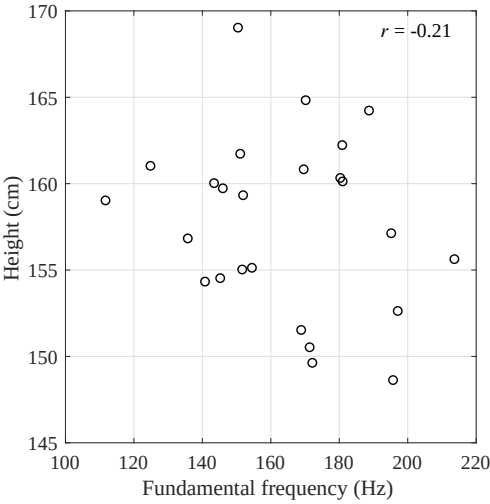


図 3 収録 2 回目の基本周波数と身長との関係

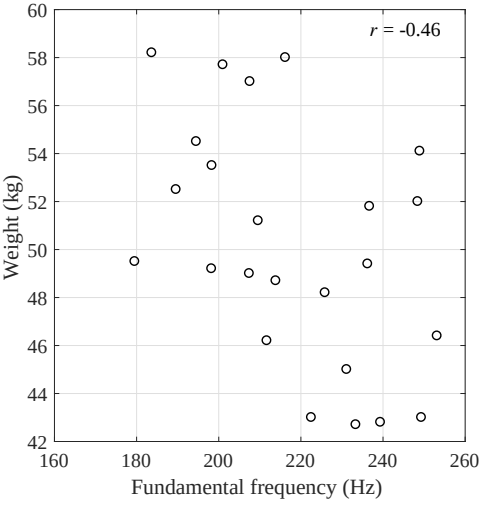


図 4 収録 2 回目の基本周波数と体重との関係

独と比較すると相対的に低い値である。

本実験結果が偶然生じた可能性を検証するため、半年程度期間を空けて同じ実験を実施することとした。1 回目の収録は 2018 年 5 月に実施したが、2 回目の収録は 2018 年 11 月に実施した。ただし、読み上げる文章の種類は「教室の窓を開けたりお花の水を変えたりする。続けて声をかけて礼拝の準備をする」へ変更している。体型情報については、保健室の協力を得て再測定した。

基本周波数と、身長・体重との関係を図 3, 4 に示す。読み上げる文章が異なっているため、基本周波数の中央

値は異なる数値となる。ただし、相関係数においては身長で0.06、体重で0.02の差であり、概ね同一の傾向といえるデータを得ることができたといえる。

4. 考察

基本周波数は声帯の長さに対する影響が強く、声帯の長さは顔の大きさに、顔の大きさは身長に概ね比例するため、身長と基本周波数には関連性があると考えられてきた。今回の実験結果は、身長と基本周波数には負の相関関係があるという従来の仮説を支持するものの、それよりも体重のほうが高い相関が得られるという結果を示している。声帯振動に関する基礎的知識は論文[1]が詳しいが、ここでは、体重と関係性がありそうな部分に限定して考察する。

声帯はある長さを持ち周期的に振動するということから、概ね声帯の長さが長いほど基本周波数は低い値を示すこととなる。声帯の張力を調整することで基本周波数を変化させることはできるが、今回の実験では自然に発声させているため、意図的な張力の制御は行われていないと仮定する。声帯振動を弦の振動であると粗く考えてしまえば、基本周期を決定するための要素は弦の長さに加え、線密度(kg/m)が関係する。線密度は声帯の重さに対応するため、体重の増加に伴い声帯の重さが増加したのであれば、基本周波数は低下することとなる。これらのことから、体重増加に伴い脂肪量が増え、声帯にも脂肪が付着することで基本周波数に影響したという仮説が立てられる。

以上をまとめると、本実験からは、基本周波数と相関の強い体型情報は、身長よりも体重であるという結論が得られる。この結論から得られる仮説として、体重と声帯の線密度に相対的に強い相関があることである。ただし、本結果は年齢がほぼ固定された女子生徒に限定した実験結果であるため、同様の実験を男性や様々な年齢層で行うことで、基本周波数と相関がある体型情報の分類について検討する必要がある。

5. おわりに

本研究では、年齢が概ね揃った条件で収録した朗読文を用いて、身体パラメータと基本周波数との相関関係を確認する実験を実施した。分析の結果、一般的に言われてきた「声の高さは身長に比例する」という弱い相関は確認できたが、それよりも体重に関して強い相関が認められた。また、声帯の長さが基本周波数に対応するという仮説から首回りと基本周波数との関係性を確認したが、こちらも体重と比較して相関は低いことが確認できた。

今後の検討課題として、目的である合唱への応用を目指した評価実験が挙げられる。音声から合唱の評価に関する評価項目を抽出し、主観評価により身体パラメータと評価項目との関係性を調査する。本評価により、合唱経験者が主張する「体重が減ると声を出しにくい」という仮説を検

証することを目指す。

謝辞 本研究は、科研費JP16H05899, JP16H01734, JSTさがけJPMJPR18J8の支援を受けた。

参考文献

- [1] 榊原健一, “発声と声帯振動の基礎,” 日本音響学会誌, vol. 71, no. 2, pp. 73–79, 2015.
- [2] M. Morise, F. Yokomori, and K. Ozawa, “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, July 2016.
- [3] M. Morise, “Harvest: A high-performance fundamental frequency estimator from speech signals,” in Proc. INTERSPEECH 2017, pp. 2321–2325, 2017.