

## 原 著

## 骨格性反対咬合者における母音の音響的特徴

山本隆昭 梅田和宏\* 今井 徹\*\* 飯田順一郎

北海道大学大学院口腔医学専攻口腔機能学講座

\*ほのぼの歯科矯正歯科

\*\*おびひろアート矯正歯科

Yamamoto Takaaki, Umeda Kazuhiro\*, Imai Tohru\*\* and Iida Junichiro

Department of Oral Functional Science, Graduate School of Dental Medicine, Hokkaido University

\*Honobono Dental and Orthodontic Clinic

\*\*Obihiro Art Orthodontic Clinic

キーワード：骨格性反対咬合，母音，音響的特徴，調音点，フォルマント周波数

抄録：本研究では，骨格性反対咬合者と健常者における日本語5母音の音響的特徴を明らかにするとともに，調音点との関連性について検討した。被験者には，外科的矯正治療の適応と診断された患者17名(男性5名，女性12名，平均年齢21.2歳)および，健常者13名(男性8名，女性5名，平均年齢28.6歳)の計30名を用いた。また，被験音には，日本語5母音を用いた。音声分析には，線形予測法(LPC)を用いて第1フォルマント(F1)，第2フォルマント(F2)の周波数を求めた。この結果と以前報告した舌運動の三次元計測の結果とを比較検討し，以下のことがわかった。

1) 男女ともに/u/におけるF2周波数は骨格性反対咬合者の方が有意( $P < 0.01$ )に高かった。しかし，その他のF1，F2周波数では有意差は認められなかった。

2) 骨格性反対咬合者では狭母音(/i/, /u/)構音時に舌を後方に移動させず，舌のより後方で調音点を形成するという補償運動をしていることが示唆された。

3) この補償は，/i/構音時には十分行われているが，/u/構音時には正しい位置に調音点を形成するまで行われていなかった。

(Orthod Waves 60(5) : 296~301, 2001)

### Acoustic characteristics of the vowel in the skeletal Class III malocclusions

**Abstract** : The purpose of this study was to clarify acoustic characteristics of vowel sounds in normal

subjects and skeletal Class III patients and to determine the relationship between acoustic characteristics and tongue movements.

The subjects were 17 skeletal Class III patients (5 males, 12 females ; mean age, 21.2 years) and 13 normal subjects (8 males, 5 females ; mean age, 28.6 years). The sounds used in the experiment were the five Japanese vowel sounds (/a/, /i/, /u/, /e/and/o/). The original data were analyzed using linear predictive coding (LPC), and the frequencies of the first formant (F1) and second formant (F2) of the vowels were calculated. The results were then compared with the results of analysis of tongue movements that we reported previously.

The results of this study were as follows :

1) The frequency of the second formant of /u/ in the skeletal Class III patients was significantly ( $P < 0.01$ ) higher than that in the normal subjects.

2) The skeletal Class III patients showed compensatory tongue movements to make articulation points by using the rear part of the tongue instead of moving the tongue backward when uttering the closed vowels (/i/, /u/).

3) This compensatory tongue movement was effective for uttering /i/ but not for uttering /u/.

(Orthod Waves 60(5) : 296~301, 2001)

## 緒 言

外科的矯正治療の適応となる骨格性反対咬合者では、顎顔面部の審美障害を主訴とするばかりではなく、咀嚼や発音などの口腔機能の異常を訴える場合が多い。不正咬合と構音障害との関連性を調べた研究には、X線写真<sup>1-5)</sup>、パラトグラフ<sup>6-10)</sup>などを用いて舌の位置を測定したものや、さまざまな方法により音声分析の結果を比較検討したもの<sup>2,3,8,9-17)</sup>がある。しかし、いずれの研究においても不正咬合と構音障害とは密接に関連していると結論してはいるものの、対象とした障害音声の音響的特徴を明らかにしたものは少ない。

不正咬合に起因する構音障害を調査した多くの報告<sup>11-13,18-22)</sup>では、摩擦音や破裂音などの子音に構音障害が強く現れると指摘しており、特に日本語 51 音節の中では無声摩擦音であるサ行 (/s/) とシャ行 (/ʃ/) が最も障害を受けている。われわれはこれまでに/s/および/ʃ/について音声分析および聴覚実験を行い、骨格性反対咬合者の発声音の音響的特徴および聴覚印象、構音障害の原因について明らかにしてきた<sup>23,24)</sup>。この結果、障害音声の成因をさらに明らかにするためには、聴覚印象に影響を与えるといわれている母音から子音へのわたりの部分や、母音部分での音響的特徴と舌運動との関連について明らかにする必要があることがわかった。しかし、これらについてその特徴を明らかにし、関連について検討したものも少ない。

そこで、今回われわれは外科的矯正治療の適応と診断された症例について、日本語 5 母音を対象音声とし、その音響的特徴として周波数分析から第 1 フォルマント (F1)、第 2 フォルマント (F2) を抽出した。またこのような母音は、明らかな定常部を持ち、その調音点 (口腔内に形成されるせばめの部分) の位置と周波数分析の結果との関連性が明らかになっており<sup>25)</sup>、今回得られた結果から骨格性反対咬合者と健常者における各母音の調音点の位置の違いを検討した。

## 研究対象および研究方法

被験者には、北海道大学歯学部附属病院矯正科で骨格性反対咬合で、外科的矯正治療の適応と診断された患者 17 名 (男性 5 名、女性 12 名、平均年齢 21.2 歳) および、健常者 13 名 (男性 8 名、女性 5 名、平均年齢 28.6 歳) の計 30 名を用いた。なお、これらの被験には今回の実験の主旨を十分説明し、了解を得た後実験を行った。また、被験音には、サ行の 5 つの VCV (母音 + 子音 + 母音) 音節、/asa/, /iʃi/, /usu/, /ese/, /oso/ を用いた。

骨格性反対咬合者の発声音の記録は、術前矯正治療

期間中に行った。防音室内において、被験者を楽な姿勢で椅子に座らせ、各音節をそれぞれ 4 回ずつ会話レベルで発声させた。その際に、先行母音部および後続母音部を長めに発声させた。口唇より約 10 cm 前方に置かれたコンデンサー型マイクロホン (ECM-150 T, SONY, 東京) を用い、被験音をデータレコーダ (MR-30, TEAC, 武蔵野) に記録した。音声分析には、記録した 4 回のうちの 2 回目と 3 回目の発声音の先行母音部分を用い、その平均を算出した。

分析する音声データは、低域遮断周波数 60 Hz、高域遮断周波数 5 kHz、減衰特性 -48 dB/oct. のバンドパスフィルター (FV-625 A, エヌエフ回路設計ブロック, 横浜) を通過させた後、サンプリング周波数 10 kHz、精度 12 bit の A/D コンバータ (AD 12-16 A, CONTEC, 大阪) で量子化した。これを生データとし、パーソナルコンピュータ (DIMENSION XPSH 266, デルコンピュータ (株), 川崎) 上で自作ソフトを用いて音声分析を行った。CRT 上に表示した生データから、先行母音の定常状態であると視認できた部分について、窓長 51.2 msec のハニング窓をかけ、12.8 msec ごとに分析フレームを更新し、10 フレームについて分析次数 15 の線形予測法 (LPC) を用いてスペクトル包絡を求めた。その後、これらの平均スペクトルを求め、これからピークピッキング法<sup>26)</sup>を用いて第 1 フォルマント (F1)、第 2 フォルマント (F2) を求めた。

## 実験結果

図 1 に健常者男性の、図 2 に骨格性反対咬合者男性の LPC による分析結果の 1 例を示す。両者の各スペクトルパターンはほぼ同じようなパターンを示しているが、/u/ における第 2 フォルマントの位置が、骨格性反対咬合者では健常者に比べ高域に位置していることがわかった。

表 1 に、F1 周波数、F2 周波数を骨格性反対咬合者、健常者それぞれについて男女別に求めた平均および標準偏差を、図 3 に男性の、図 4 に女性の F1-F2 図を示す。これらより男女ともに /u/ における F2 周波数は骨格性反対咬合者の方が有意 (\*\* : P < 0.01) に高かった。その他の F1、F2 周波数では、多くの場合で骨格性反対咬合者の方が健常者と比較して高い傾向が認められたが、男性における /e/, /o/ の F1 周波数と、女性における /a/ の F1 および F2 周波数、/e/ の F2 周波数は健常者の方が高い傾向が認められた。

## 考 察

今回の実験において音声分析には、日本語 5 母音を含む VCV 音節を用いた。音声の知覚では、フォルマン

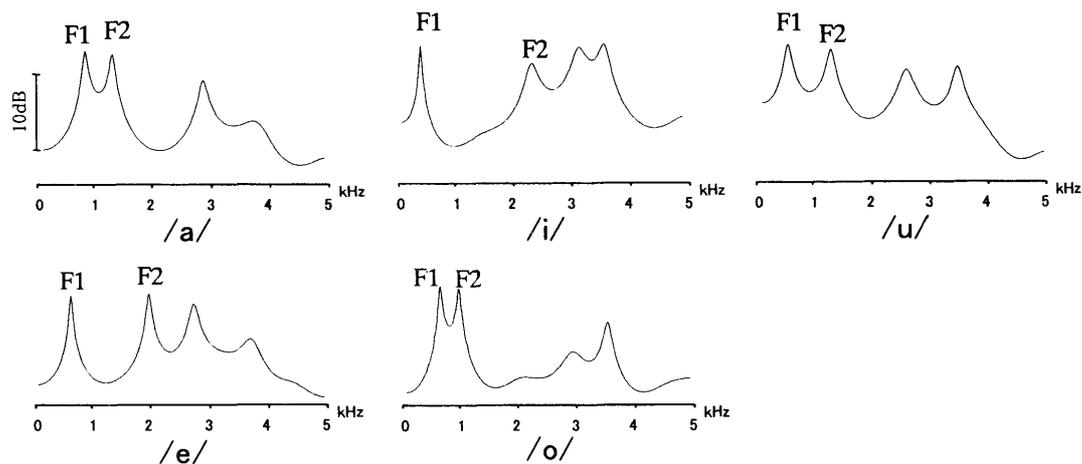


図 1 線形予測法 (LPC) による分析結果 (健常者, 男性)

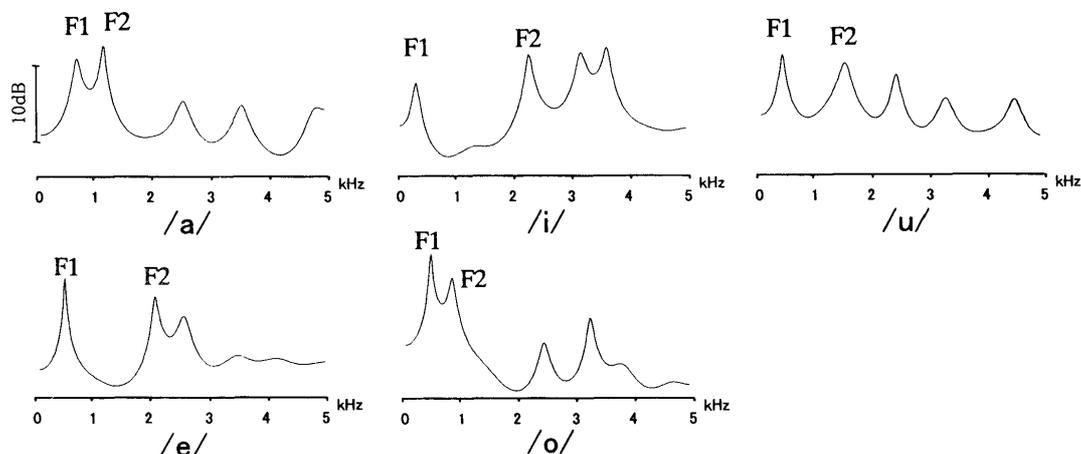


図 2 線形予測法 (LPC) による分析結果 (骨格性反対咬合者, 男性)

ト遷移などの動的情報が重要な手がかりになっており<sup>26)</sup>, 子音と母音とのわたりの部分での調音結合は聴覚印象に大きな影響を与えることが考えられる。したがって, 一般的に音節で構成される会話時における発音障害の成因を明確にするためには, 単音を用いるよりも VCV 音節のような音節を用いた方が有利である。しかし, このような音節の場合には, 一般に調音結合により, 母音部分の音声スペクトルに変化が現れるため<sup>27)</sup>, 母音部の分析を行う場合には, 前後にある子音や母音の違いによる影響を考慮する必要がある。今回用いた音声サンプルでは, 音節に含まれる子音として, 調音方式が同じであり, 調音点の位置が比較的近い/s/と/ʃ/を用いた。また, 母音部分を長く構音するように指示して記録し, さらに分析する母音には, 音節の先行母音の部分を用いて分析を行った。このことにより各母音について, 調音結合の影響があるとしても, 条件をそろえて分析することができたものと考えられ

る。

F1 周波数, F2 周波数は, 年齢や性別によって異なるため<sup>28)</sup>, 各母音の F1 周波数, F2 周波数を比較する際にはそれぞれを男女別に検討した。

今回求めた F1, F2 周波数では, 男女ともに/u/の F2 において骨格性反対咬合者が健常者より有意 ( $P < 0.01$ ) に高かったが, その他の母音の F1, F2 周波数では有意差は認められなかった。この結果は, /a/を含む音節において, F1, F2 周波数に骨格性反対咬合者と健常者とでは有意差が認められなかったという報告<sup>10)</sup>と一部一致するものであった。

母音の F1-F2 図は, よく知られているように各母音における調音点の位置を表し, F1 周波数はその上下の位置を, F2 周波数は前後的位置を表す<sup>25)</sup>ことが明らかにされている。今回の結果から/a/, /i/, /e/, /o/ではその調音点の位置は, 骨格性反対咬合者と健常者では有意な差が認められないことがわかった。しか



た術後に形態的な改善がなされた後においても、これらの舌の補償運動は残存している可能性があり、効果的な構音障害の改善には形態的な改善のみでは十分ではなく、発音機能の積極的な訓練指導の必要性があるものと思われる。

今後は、術後における音響的特徴の変化を調べるとともに聴覚実験を行いその結果との関連性も調べる必要があるものと思われる。

稿を終えるにあたりご助言、ご示唆いただきました北海道大学電子科学研究所電子情報処理部門感覚情報研究分野伊福部達教授に感謝の意を表します。

本研究の一部は、平成12年度、平成13年度文部科学省科学研究費(一般研究C課題番号12671982)の補助によるものである。

## 文 献

- 1) Subtelny, J. D. and Subtelny, J. D. : Malocclusion, speech, and deglutition, *Am J Orthod* 48 : 685-697, 1962.
- 2) 清水達夫, 大矢信夫, 松井健二, 他 : 形成外科的手術を施した下顎前突症患者に就いての音響学的観察, *京大口科紀要* 5 : 86-96, 1965.
- 3) 深谷昌彦, 吉田 稔, 鳥居 徹 : 下顎前突症患者術前術後の構音様式について, *愛院大歯誌* 12 : 52-55, 1974.
- 4) Guay, A. H., Maxwell, D. L. and Beecher, R. : A radiographic study of tongue posture at rest and during the phonation of/s/in Class III malocclusion, *Angle Orthod* 48 : 10-22, 1978.
- 5) Subtelny, J. D., Mestre, J. C. and Subtelny, J. D. : Comparative study of normal and defective articulation of/s/as related to malocclusion and deglutition, *J Speech Hearing Dis* 29 : 269-285, 1964.
- 6) 勢島 実, 板垣正樹, 菅原準二, 他 : 成人反対咬合者の外科的矯正治療による口腔形態の変化と舌の調音との関係—電気的パラトグラフィーによる観察—, *日矯歯誌* 42 : 273-287, 1983.
- 7) 伊藤秀美, 板垣正樹, 河内満彦, 他 : 反対咬合者の調音の特徴—舌・下顎および音声の同時観測—, *音声学会音研資* S 84-29 : 223-230, 1984.
- 8) 板垣正樹, 菅原準二, 河内満彦, 他 : 骨格型反対咬合者の舌の調音運動, 下顎運動および音声の同時観察—Long face・Open bite 群と Short face・Deep bite 群との比較—, *日矯歯誌* 45 : 237-249, 1986.
- 9) 河内満彦 : デントパラトグラフィ発音機能検査システムの開発とそれを用いた骨格型下顎前突者の調音運動および発声音の解析, *日矯歯誌* 46 : 71-92, 1987.
- 10) 粟生田佳奈子, 河内満彦, 菅原準二, 他 : 成人骨格性反対咬合症の発音機能に対する外科的矯正治療の効果—舌接触パターン, 顎運動および発声音の解析—, *日矯歯誌* 55 : 387-396, 1996.
- 11) 弘田仁哉 : ソナグラフによる発音の研究, 第3報 音声に対する口腔内異常の影響に就いて(その1, その2, 完), *歯科学報* 56 : 271-273, 300-305, 353-358, 1956.
- 12) 山本 陽 : 不正咬合者の音声学的研究(その2) —特に矯正部門について—, *日矯歯誌* 18 : 177-178, 1959.
- 13) 布田栄作 : 不正咬合者の発音に関する研究, 第1報 母音およびサ行について, *口病誌* 32 : 392-404, 1965.
- 14) 霜島慶司 : 反対咬合者における発声音の解析, *日矯歯誌* 38 : 308-321, 1979.
- 15) Bowers, J., Tobey, E. A. and Shaye, R. : An acoustic speech study of patients who received orthognathic surgery, *Am J Orthod* 88 : 373-379, 1985.
- 16) 中野洋子 : 下顎前突症患者における音声の分析, *歯科学報* 85 : 891-929, 1985.
- 17) 松崎雅子, 黒田敬之, 城戸健一 : 外科的矯正治療による音質変化の音響学的評価, *日顎変形誌* 9 : 149-156, 1999.
- 18) 中村利次 : 歯列咬合と発声との関係に関する研究, *口腔衛生会誌* 4 : 95-104, 1955.
- 19) Frank, B. : A rationale for closer cooperation between the orthodontist and the speech and hearing therapist, *Am J Orthod* 41 : 571-582, 1955.
- 20) 田口恒夫 : 歯牙の異常・舌の異常と言語障害, *歯界展望* 10 : 110-118, 1959.
- 21) Laine, T. : Associations between articulatory disorders in speech and occlusal anomalies, *Eur J Orthod* 9 : 151-159, 1987.
- 22) Vallino, L. D. and Tompson, B. : Perceptual characteristics of consonant errors associated with malocclusion, *J Oral Maxillofac Surg* 51 : 850-856, 1993.
- 23) 山本隆昭, 今井 徹, 中村進治, 他 : 骨格性反対咬合者における無声摩擦音/s/の音響的特徴, *音響誌* 47 : 626-631, 1991.
- 24) 山本隆昭, 今井 徹, 梅田和宏, 他 : 骨格性反対咬合者における無声摩擦音{/s/の音響的特徴と聴覚印象, *日顎変形誌* 5 : 156-163, 1995.
- 25) Peterson, G. E. and Barney, H. L. : Control

- methods used in a study of the vowels, *J Acoust Soc Am* 24 : 175-184, 1952.
- 26) 安居院猛, 中嶋正之: コンピュータ音声処理, 東京, 1982, 産報出版(株), 136-141.
- 27) 古井貞熙: スペクトル変化強調による単語音声認識, 音声学会音研資 S 85-77 : 597-604, 1986.
- 28) 吉井貞熙: デジタル音声処理, 東京, 1995, 東海大学出版, 13.
- 29) 粕谷英樹, 鈴木久喜, 城戸健一: 年齢, 性別による日本語5母音のピッチ周波数とホルマント周波数の変化, 音響誌 24 : 355-364, 1968.
- 30) Graber, T. M. : Orthodontics, principles and practice, 3rd Ed, W. B. Saunders Co, Philadelphia, London, Toronto, 1972, 476-477.
- 31) Yamamoto, T., Imai, T., Umeda, K., *et al.* : Articulatory tongue movements of vowel sounds in skeletal Class III patients by a system using a small electromagnetic sensor, *IEEE* (投稿中)

---

主 任 : 飯田順一郎 教授

連絡先 : 山本隆昭  
 北海道大学大学院歯学研究科口腔医学専攻口腔機能学講座  
 〒 060-8586 札幌市北区北 13 条西 7 丁目