

EPG を用いた日本語歯茎促音の調音的特徴

松井 理直 (大阪保健医療大学)・川原 繁人 (慶應義塾大学)

Jason Shaw (Western Sydney University)

michinao.matsui@ohsu.ac.jp

キーワード：エレクトロパラトグラフィ (EPG)、促音、歯茎音、摩擦音、C/D モデル

1. 研究の目的

日本語の促音は一般的に後続子音と同化し、Kawahara (2015) で詳述されている通り「一体 (/iQtai/) : [it̚˥tai] = [it̚˥tai]」「一切 (/iQsai/) : [is̚˥sai] = [is̚˥sai]」といった長子音を成す。しかし、少なくとも音声知覚の観点からいえば、促音はただ子音が延長したものではない。例えば、福居 (1978) は無声破裂促音の閉鎖時間を短縮しても、単子音として知覚されにくいことを実験的に示した。また柳澤・荒井 (2015) は、無声破裂促音の知覚実験において、閉鎖時間が長い場合であっても後続母音へのフォルマント遷移がない場合には、促音知覚が抑制されることを報告している。

一方、こうした知覚的手がかりの側面ではなく、促音と短子音の違いを調音の点から調べたものは閉鎖時間や前後の母音長といった持続時間に関するものが主で、調音動態の差異に関する研究はほとんど行われていない。そこで、本稿ではエレクトロパラトグラフィ (EPG) を用いて、促音が持つ調音動態の特性について分析を行った。結論として、一部の摩擦音を除くと、促音では調音動態の強化が起こること、その強化が持続時間に依存した overshoot/undershoot という要因だけでなく、調音計画自体の変異という要因も考えるべきであることを述べる。

2. EPG を用いた促音の調音動態に関する実験

2.1 実験方法

実験は、発話者に短子音／長子音 (促音) を持つオノマトペのミニマルペアを単独でランダムに 5 回ずつ発音させ、音声と EPG データを同時に収集した。また、開口度の参考にするため、正中面から両唇の画像もビデオで収録している。実験に参加した被験者は 30 歳台～40 歳台の男性 2 名 (関東方言 M1、関西方言 M2)、女性 2 名 (帰国子女 F1、関西方言 F2) の計 4 名で、いずれの被験者も構音および聴覚に異常はない。実験は慶應義塾大学および大阪保健医療大学で行われ、実験所要時間は 25 分～40 分程度であった。

EPG データは 4 名の被験者に対し人工口蓋床を各被験者ごとに用意し、サンプリング周期 10 ms で収集した。この人工口蓋床は山本一郎氏によって調音への負担が最小限になるように開発されたもので、異なる話者の調音を比較できるように標準化され、前後方向に歯茎 2 列、後部歯茎 2 列、硬口蓋 3 列、軟口蓋境界部 1 列の電極配置を持つ。また、左右方向は歯茎最前列のみ電極が 6 点、他の列は電極が 8 点配置され、歯茎から軟口蓋境界部まで計 62 点の計測が可能となっている。なお、EPG データの収録には WinEPG (Articulate Instruments Ltd.) およびタブレット端末を用いて行った。

2.2 実験に用いた刺激語の特性

本実験に用いた刺激語は、いずれも同一形態素を繰り返す $C_1VC_2V-C_1VC_2V$ (単子音条件) および $C_1VC_2C_2V-C_1VC_2V$ (促音条件) という構造を持つ。なお EPG の特性から、今回の実験では子音 C_2 を歯茎音・歯茎硬口蓋音に限定している。実験に用いた全ての刺激語を (1) に示す。

- (1) a. $C_2=[t]$: カ(ッ)タカタ、ガ(ッ)タガタ、ペ(ッ)タペタ
- b. $C_2=[d]$: グ(ッ)ダグダ、ク(ッ)ドクド、オ(ッ)ドオド
- c. $C_2=[r]/[l]$: パ(ッ)ラパラ、ペ(ッ)ラペラ、ド(ッ)ロドロ
- d. $C_2=[z]/[dz]/[dz]$: ギ(ッ)ザギザ、オ(ッ)ズオズ、ウ(ッ)ジウジ
- e. $C_2=[s]$: コ(ッ)ソコソ、カ(ッ)サカサ、フ(ッ)サフサ
- f. $C_2=[ts]$: カ(ッ)ツカツ、フ(ッ)ツフツ、グ(ッ)ツグツ
- g. $C_2=[tʃ]$: ネ(ッ)チネチ、グ(ッ)チャグチャ、カ(ッ)チャカチャ

2.3 無声歯茎破裂音 [t]/[t:] の結果

EPG データの解析には、Articulate Instruments Ltd. の開発したソフトウェア Artuculate Assistant を使用した。EPG パターンは舌の接触がない場合に null 値が生じるため、単子音／促音における接触パターンの有意差検定にはフリードマン検定を用い、統計量 χ^2 を求めている。なお、被験者によって EPG の接触パターンに違いがあったため、本研究では発話者 4 名のデータを丸め込むことはせず、各被験者ごとに単子音／促音の有意差を検討した。

まず、(1a) に示した [t] 音の EPG パターンについて見てみる。単子音 [t] で最も接触面積の広がった話者 M1 と接触面積の最も小さかった話者 F2 のデータを図 1 に示す。

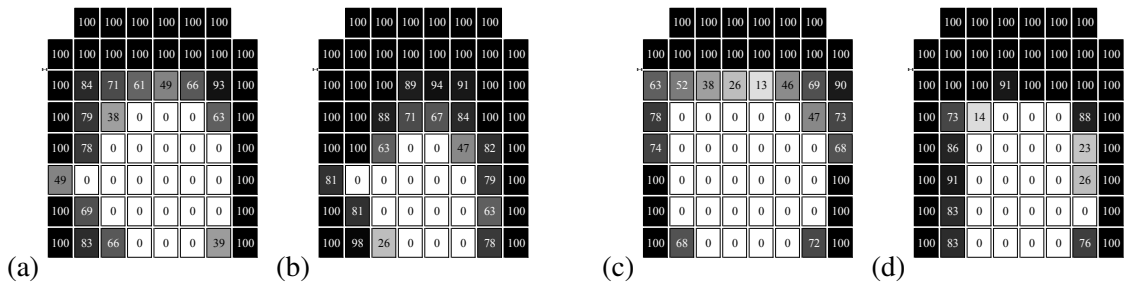


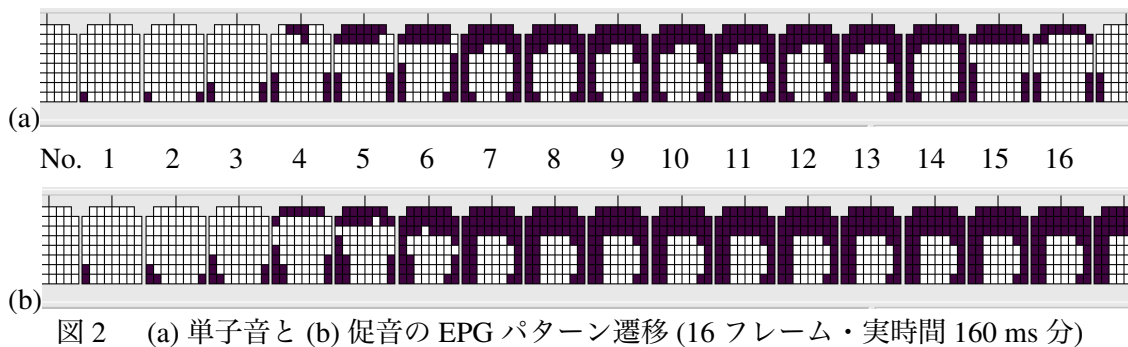
図 1 (a) 話者 M1 の単子音 [t], (b) 促音 [t:], F2 の (c) 単子音 [t], (d) 促音 [t:] (F2) の EPG

話者 M1 の EPG パターン (a)–(b) のフリードマン統計量は $\chi^2 = 19.17$ で、単子音 [t] と促音 [t:] の間に有意差が認められた ($df = 1, p < 0.001$)。また、話者 F1 の EPG パターン (c)–(d) にも統計的に有意な差が存在する ($\chi^2 = 22.0, df = 1, p < 0.001$)。他の話者 M2, F1 についても同様に、単子音 [t] に比べ促音 [t:] では舌の接触パターンが有意に増大していた。

単子音と重子音 (促音) における接触パターンにこのような違いが生じる理由として、すぐに思いつくのが子音の持続時間に依存する調音運動の undershoot 現象である。前述したように、日本語の単子音は促音に比べて持続時間がかなり短い。したがって、単子音と促音とで調音計画における潜在的なターゲット点が同一であったとしても、単子音ではターゲットを実現する十分な時間を確保できず、undershoot を起こす可能性がある。一方、促音は十分な持続時間があるため潜在的なターゲット点を実現しやすいであろう。

しかし、EPG の接触パターン遷移を詳細に観察すると、単子音／促音における舌運動の違いは、単にターゲット点の undershoot/satisfaction のみに起因するわけではないように思われる。ここで、「カタカタ／カッタカタ」における第 1 音節の母音最終部から第 2 音節の子音にかけての EPG パターン遷移を見てみよう (話者 F2 の例)。

どちらもフレーム No.3 までは上歯茎に対する舌端の接触が見られず、フレーム No.4 から上歯茎への接触が始まる。また、単子音においても促音においても、フレーム No.7 以降



では [t] 音に関するほぼ同一の調音パターンが続く。このフレーム No.7 以降における接触パターンの安定性は、無声阻害音において undershoot が起きていることを支持しないように思われる。むしろ、フレーム No.7 以降の接触パターンは潜在的な調音計画におけるターゲット点を反映した実現値である可能性が高い。もしこの解釈が正しいなら、単子音と促音における接触パターンの違いは、調音計画の実現性 (undershoot/satisfaction) に依るだけではなく、潜在的な調音計画そのものに起因していると考えられる。

2.4 有声歯茎破裂音 [d]/[d:] の結果

単子音と促音とで潜在的な調音計画自体が異なっている可能性について、本節では有声阻害音の性質から再考してみよう。まず EPG パターンを見ると、有声子音 [d] においても、発話者 4 名全てで、促音 [d:] における舌の接触面積が単子音 [d] の時よりも有意に増大していた。例として、話者 M1 における EPG パターンを図 3(a), (b) に示す。両者間のフリードマン統計量は $\chi^2 = 12.46$ ($df = 1, p < 0.001$) で、有意差が認められる。

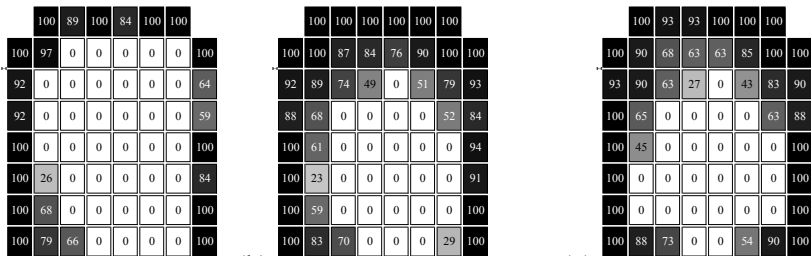


図3 (a) 話者 M1 の語中単子音 [d], (b) 促音 [d:], (c) 語頭単子音 [d] の EPG パターン

ここで、調音計画の実現性 (undershoot/satisfaction) に関して再度考察してみよう。よく知られているように、日本語の有声阻害音は無声阻害音とは異なり、母音間で [aba]/[aβa], [aga]/[aŋa]/[aya] のようにしばしば弱화를起こす。ダ行子音も、イ段・ウ段の破擦音に関しては [adzɰ]/[azɰ], [adzi]/[azi] のようにザ行イ段・ウ段との区別を失う。前川 (2010) は、こうした弱化が調音のために利用できる時間の違い (TACA: Time Allotted for Consonant Articulation) に基づくものであることを議論している。そうになると、ダ行ア・エ・オ段の子音 [d] についても、定性的な (IPA 記号上の) 違いはないとしても、語頭と母音間とで調音運動上は何からの違いが生じていても不思議ではない。

ここで、図 3 (a), (b) と同じ話者 M1 の「ドロドロ／ドッロドロ」における語頭 [d] 音の EPG パターンを図 3(c) に示す。前述した予測通り、この語頭の単子音 [d] の EPG パターン

は、図 3(a) の語中単子音 [d] との間に有意差が認められる ($\chi^2 = 12.57, df = 1, p < 0.001$)。すなわち同じ [d] 音であっても、語頭の [d] 音に対し語中の [d] 音は舌の接触パターンに関して弱化を起こしていると言えるだろう。さらに非常に興味深いことに、この語頭子音の EPG パターンでさえ促音 [d:] のパターン (図 3(b)) よりも有意に接触面積が少ない ($\chi^2 = 4.48, df = 1, p = 0.034$)。語頭というポジションが TACA の点で促音以上に自由度が高いことを考慮すれば、促音が語頭子音よりも舌の接触面積が有意に広いという事実は、促音の強い調音動態が単に TACA だけに基づくものではないことを示す。すなわち、促音と単子音とでは潜在的な調音計画自体が異なっていると考えられるのである。

2.5 ラ行子音について

ラ行子音においても、促音のほうが単子音よりも舌の接触面積が増大するという点に違いはない。図 4(a), (b) に話者 M1 の EPG パターンを示す (両者は $\chi^2 = 12.57, df = 1, p < 0.001$ で有意差あり)。ただし、ラ行子音については被験者間で調音位置・調音方法の違いが大きい。図に示した話者 M1 では、ラ行子音が主に側面音で発音されている。しかし、話者によっては弾き音あるいはそり舌音を使う。ラ行子音に主に側面音を使う話者 M1 の場合、図 4(c) に示す通り、促音部でも声帯振動が持続しやすい。しかし、ラ行促音を有声そり舌舌尖音に近い形で調音する話者 F2 では、促音部の途中で声帯振動が完全に失われている (図 5)。スペクトログラムを見る限り、話者 F2 では促音部において声門閉鎖も同時に行っている可能性が高い。これらの性質は高田 (2013) で述べられている有声促音の性質を考える上でも興味深いが、本稿では考察から省く。

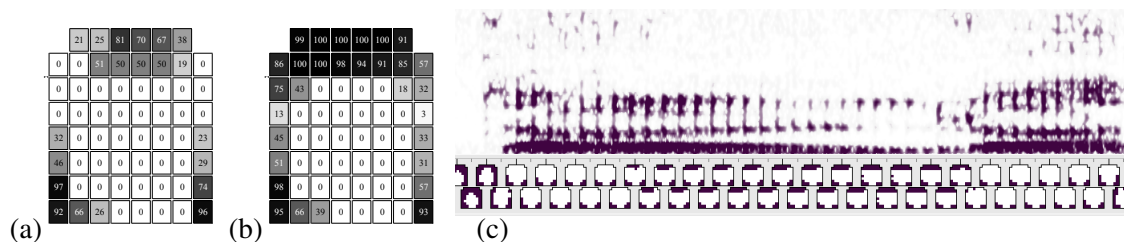


図 4 (a) 話者 M1 のラ行単子音、(b) ラ行促音、(c) 「ドッロドロ」の促音部

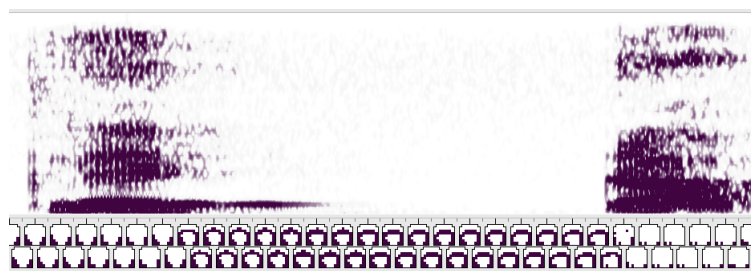


図 5 話者 F2 における「ペッラペラ」の促音部

2.6 ザ行子音について

ザ行の場合、3 名の話者は母音間の単子音と促音とでは、調音方法が質的に異なることがほとんどであった。すなわち、母音間の単音は摩擦音 [z] で、促音はほぼ安定して破擦音 [dz] で調音が行われる。ただし話者 F2 については、母音間の単音でも破擦音 [dz] で発音されることが多く、その確率は 4 割を越えていた。しかしその場合であっても、図 6(b)–(c) 間には有意差があり ($\chi^2 = 16.33, df = 1, p < 0.001$)、促音における接触面積の増大が観察される。

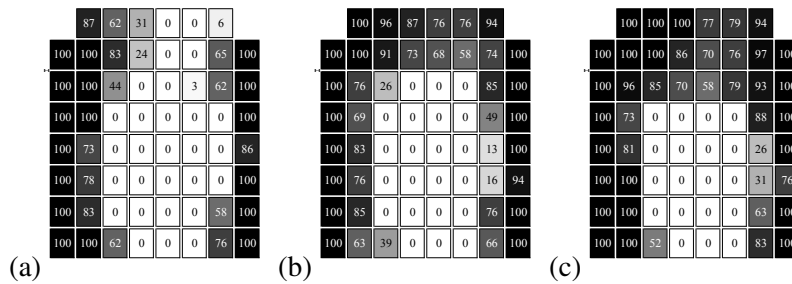


図6 話者 F2 による (a) 語中単子音 [z], (b) 語中単子音 [dz], (c) 促音 [d:z] の EPG パターン

2.7 無声歯茎摩擦音 [s]/[s:] の特異性

これまで述べてきた音声では、促音における調音の強化が何らかの形で観察されていた。しかし、その例外となるのが [s] 音が関与する調音である。側面狭窄が最も小さかった話者 M1 と歯茎まで側面狭窄の生じていた話者 F2 のデータを図 1 に示す。図 7(a)–(b) 間のフリードマン統計量は $\chi^2 = 3.57$ ($df = 1, p = 0.06$) で統計的には有意差がなく、図 7(c)–(d) 間についても $\chi^2 = 1.0$ ($df = 1, p = 0.32$) で有意差は全く存在しない。この傾向は破擦音 [ts] についても同様で、単子音／促音間に接触面積の有意な違いは観察されなかった ($\chi^2 = 1.60, df = 1, p = 0.21$)。

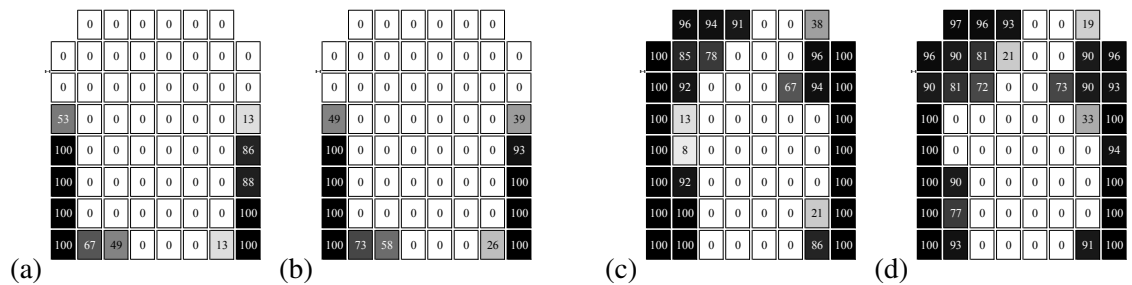


図7 (a) 話者 M1 の単子音 [s], (b) 促音 [s:], F2 の (c) 単子音 [s], (d) 促音 [s:] (F2) の EPG

3. 総合論議

以上の議論から、歯茎音に関する単子音／重子音 (促音) の調音動態について明らかになった点をまとめておく。まず、一般的に促音は単子音に比べ調音動態の強化が起こる。これは、有声子音の促音であっても例外ではない。促音で調音動態の強化が起こる理由として、TACA (前川 2010) に依存する変異と共に、さらに積極的な強化が起こっていると考えられる。すなわち、調音の計画段階における強化である。ただし、無声歯茎摩擦音が関与する [s] 音および [ts] 音を除く。[s] 音が関与する調音に関しては、促音であっても調音動態の強化が観察されない。

この調音計画における強化が、設定される潜在的なターゲットポイント自体の違いなのか、促音部に設定される特異な「基底状態」に起因するののかという点については明確ではない。藤村 (2007) によって提案されている C/D モデルでは、子音の調音を大局的な基底状態である母音の調音上に、局所的に実現されるものと見なす。しかし、Smith (1995) によると、イタリア語の重子音とは異なり、日本語の重子音部 (促音部) は vowel-to-vowel coarticulation によって生成される大局的な基底状態の上に実現されるわけではないという。この議論は、2.7 節で述べた [s] 音の特異性とも深い関わりを持つ。青井 (2010) や 松井 (2015) によると、日本語には /u/ 音の変異音として「摩擦母音」と呼ぶべき [s] 音や [z] 音の調音が存在する

(図 8(a) 参照)。実際に三音響管モデルなどからも、調音位置が硬口蓋から離れるに従って第 2 フォルマント周波数が低くなり、歯茎に狭めを持つ調音が後舌母音の /u/ 音と似た性質を持つがシミュレートできる(図 8(b)を参照)。逆に言うならば、歯茎摩擦音 [s], [z] は一種の母音としても機能し得る音声であり、単子音の場合であれ重子音の場合であれ、この歯茎摩擦音単独で「母音としての」基底状態を成し得る音声ということになる。これに対して、他の子音は促音の場合を除き、基底状態を作ることができない。調音計画におけるこうした基底状態違いが、[s] 音の関わる促音と他の促音との違いを産み出している可能性がある。

この点については、本稿では議論しなかった [ɕ] 音の性質から考察することができるだろう。[ɕ] 音は摩擦母音として /i/ の変異音に相当するので、[ɕ] 音に後続する母音が /i/ であるか /u/ であるかで基底状態の性質が異なってくる。この点については、また稿を改めて議論を行いたい。

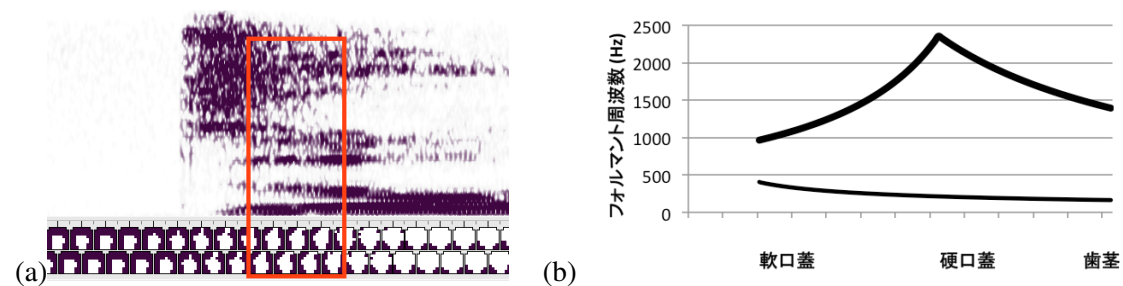


図 8 (a) 「ズオ」における有声摩擦母音の例 (b) 三音響管モデルによるフォルマント生成

謝辞：本研究は科学研究費・基盤研究 (C) 「音声知覚における摩擦性極周波数特性の影響に関する総合的研究」の援助を受けた。

参考文献

- 青井 隼人 (2010) 「南琉球方言における「舌先の母音」の調音的特徴—宮古多良間方言を対象としたパラトグラフィー調査の初期報告—」 『音声研究』 14: 2, 16–24.
- 藤村 靖 (2007) 『音声科学原論—言語の本質を考える』 東京: 岩波書店.
- Kawahara, S. (2015) “The phonetics of sokuon, obstruent geminates.” In H. Kubozono (Ed.), *The Handbook of Japanese Language and Linguistics: Phonetics and Phonology*. pp. 43–73. Leiden: Mouton.
- 前川 喜久雄 (2010) 「日本語有声破裂音における閉鎖調音の弱化」 『音声研究』 14: 2, 1–15.
- 松井 理直 (2015) 「日本語の母音無声化に関する c/d モデルの入力情報について」 『音声研究』 19: 2, 55–69.
- 福居 誠二 (1978) 「日本語の閉鎖音の延長・短縮による促音・非促音としての聴取」 『音声学会会報』 159, 9–12.
- Smith, C. L. (1995) “Prosodic patterns in the coordination of vowel and consonant gestures.” In B. Connell & A. Arvaniti (Eds.), *Phonology and Phonetic Evidence: Papers in Laboratory Phonology IV*. (pp. 205–222). Cambridge University Press.
- 高田 三枝子 (2013) 「有声破裂音の後続する促音閉鎖区間の有声性に関する音声パターン」 『明海日本語』 18, 15–30.
- 柳澤 絵美・荒井 隆行 (2015) 「フォルマント遷移とインテンシティの減衰が促音の知覚に与える影響」 『日本音響学会誌』 71: 10, 505–515.