

有声・無声閉鎖子音の調音運動の差異*

◎橋亮輔（甲南大／同志社大），北村達也（甲南大），藤本雅子（国語研）

1 はじめに

MRI 撮像の技術発展にともない、発話中の時々刻々の調音器官形状を計測し、対応する音声を音響物理計算により再現できるようになってきた。このような構成論的アプローチは、従来の音響音声学の分析的・記述的方法と補い合うことで、調音運動と音声の因果的な関係性を明らかにすると期待される。

しかし、現状では子音を再現することは困難をとまなう。特に、閉鎖子音は、閉鎖の形成と開放、声帯振動開始などの様々な事象が動的に協調することで生成されるため、分かっていないことが多い。本研究は閉鎖子音の有声音と無声音の調音運動の違いに着目して、子音の調音運動の過渡的な特性を調べる。

先行研究では、閉鎖子音の有声音と無声音では咽頭腔の圧力の違いが生じ[1]、その結果、閉鎖中の咽頭腔の体積に違いが生じることが報告されている[2]。このことは、閉鎖に必要な舌の運動の軌道にも、無声子音と有声音とで、何らかの違いが生じる可能性を示している。

そこで本研究では、口蓋閉鎖子音に着目し、その有声音/g/と無声音/k/の調音運動の時間軌跡にどのような違いがあるかを、MRI 撮像により明らかにすることを目的とした。

2 材料と方法

2.1 話者

4名の成人話者(S1, S2, S3, S4)が実験に参加した。全員とも関西方言話者であり、1名は女性、3名は男性であった。

2.2 発話素材

/akise/ と /agise/ を発話素材とした。第2モーラの子音 /k/ と /g/ の調音運動を観測対象とした。関西方言話者であったので観測対象子音の後続母音が無声化することはなかった。発話が安定するよう、あらかじめ十分な練習をおこなった。

2.3 MRI 撮像

MRI 動画は発話同期撮像法[3]により得た。話者はヘッドホンから提示されるガイド音に合わせ、繰り返し発話した。/akise/ と /agise/ について、それぞれ128回の発話の平均としてMRI動画を得た。ガイド音は3拍子のリズムを持っており、1拍の長さは400msであった。1拍目は純音バースト、2・3拍目は雑音バーストであった。いずれも持続長は100msであった。話者はガイド音の2拍目に第1モーラが、3拍目に第3モーラが一致するよう発話することを教示された。

撮像には、ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタに設置された3.0テスラMRI装置(Siemens製, MAGNETOM Verio)を用いた。発話中の正中矢状断画像を、毎秒100フレームの頻度で、ガイド音の1拍目立上がりの60ms後から1.1秒間撮像した。1mm×1mmの空間分解能であった(FLASH, TR: 10.0ms, TE: 1.62ms, FA: 15°, FOV: 256×256mm, Matrix: 256×256, Thickness: 4mm, NSA: 1)。

2.4 画像解析

MRI 画像からCanny法[4]により輪郭を抽出した。舌表面の輪郭を5次多項式で近似することで追跡した(Fig.1)。また、フレーム毎の舌表面の最高点を算出し、舌の上下運動の時間軌跡を得た(Fig.2)。なお、ガイド音の1拍目立上がり時刻を時刻0とした。さらに時間軌跡データを6点(60ms)の移動平均、スプライン補間により10倍に再標本化した後に、時間差分することで上下運動の速度を算出した。得られた速度波形から舌が最高点に達する時刻($t_{k/}$, $t_{g/}$)を得た。

また、二つの発話素材に対する舌表面の高さの違いを評価するために、全フレーム内で最高となる舌表面上の点から前方10mm、後方20mmの位置を前後境界とし、二つの発話素材に対する舌表面を上下境界とする領域の面積を求めた。

* Articulatory differences between voiced and voiceless stop consonants, by TACHIBANA, Ryosuke O. (Konan Univ./Doshisha Univ.), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.) and FUJIMOTO, Masako (National Institute of Japanese Language and Linguistics).

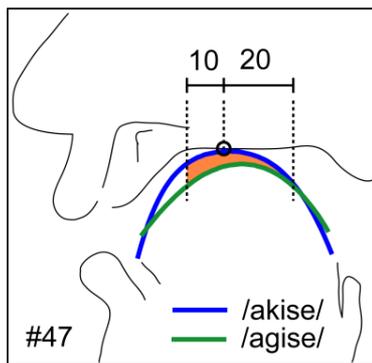


Fig. 1 Example of tongue surface tracking (speaker S1, 47th frame). Tongue surfaces in /akise/ and /agise/ tasks are shown as blue and green lines, respectively. Black circle indicates the highest position of tongue surface in /akise/. Orange zone shows areal difference between two tasks.

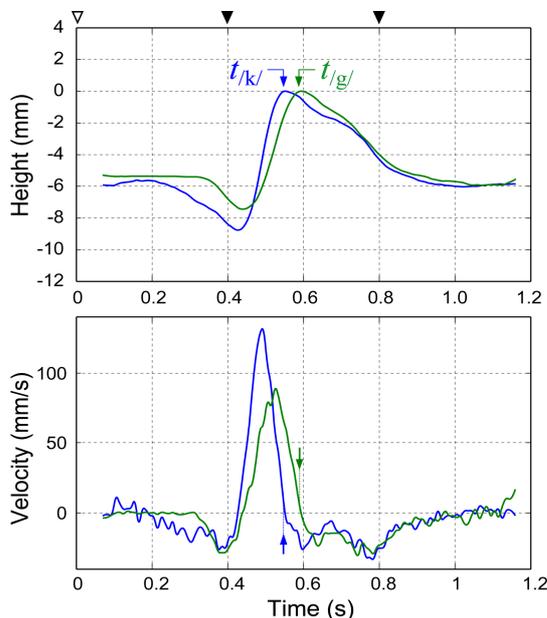


Fig. 2 Example of profiles of tongue movement (S1). Upper panel shows vertical position and lower panel represents vertical velocity of tongue surface as functions of time. Arrowheads shown above panels indicate timings of guide tone sequence.

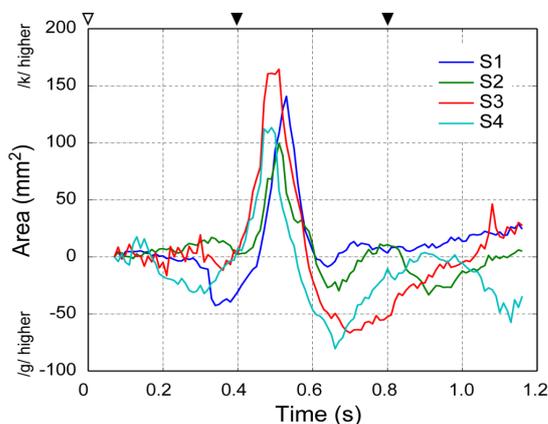


Fig. 3 Areal differences between tongue surfaces in /akise/ and /agise/ tasks as functions of time.

Table 1 Difference between voiced and voiceless consonants in timing when tongue reaches to the most occlusive position.

| Speaker | $t_{/k/}$ (ms) | $t_{/g/}$ (ms) | $t_{/g/} - t_{/k/}$ (ms) |
|---------|----------------|----------------|--------------------------|
| S1 | 547 | 587 | 40 |
| S2 | 550 | 562 | 12 |
| S3 | 541 | 574 | 33 |
| S4 | 495 | 538 | 43 |
| mean | 533.3 | 565.3 | 32.0 |
| SD | 25.8 | 20.8 | 14.0 |

3 結果と考察

舌が口蓋に達する時刻が、/k/の調音において/g/よりも先行することが観測された (Table 1)。この傾向は話者全員に共通しており、時間差の平均は 32 ms であった。また、舌表面の高さの差を積分した面積は、/k/の舌が口蓋に達する時刻の直前に急激に増加し、その後減少した (Fig.3)。これらのことは、/k/は/g/よりも先に舌の上昇が開始し、先に口蓋に達することを示している。

観測の結果、ガイド音によって同じタイミングでの発話を要求したにもかかわらず、/k/の調音の準備は/g/に比べて早く生じていることが分かった。無声閉鎖子音では閉鎖時の口腔内圧力が有声音よりも高くなることが知られる[1]。圧力を形成するためには、十分な閉鎖と舌のスティフネスが必要であると推測される。このことが、本実験で/k/における舌運動の先行が観測された理由であるかもしれない。

今後、他の閉鎖子音対 (/p/-/b/, /t/-/d/) についても同様の観測することで、現象を一般化できる範囲を検討する。

謝辞 貴重なご意見を頂いた本多清志氏、正木信夫氏に感謝いたします。本研究は、平成 23 年度科学研究費 (No. 21300071) によりおこなわれた。

参考文献

- [1] Lisker, Lang. Speech, 13, 215-230, 1970.
- [2] Westbury, J. Acoust. Soc. Am., 73, 1322-1336, 1983.
- [3] Maski et al., J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 20, 375-379, 1999.
- [4] Canny, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 8, 679-714, 1986.