

Title	日本語話者における無声軟口蓋破裂音 / k / の開口条件下での舌の代償運動動態の研究
Author(s)	古田, 尚久
Citation	
Issue Date	2020-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/16418
Rights	
Description	Supervisor: 党 建武, 先端科学技術研究科, 修士 (情報科学)

修士論文

日本語話者における無声軟口蓋破裂音/k/の

開口条件下での舌の代償運動動態の研究

古田 尚久

主指導教員 党 建武

北陸先端科学技術大学院大学

先端科学技術研究科

(情報科学)

令和2年3月

Abstract

Articulation disorders are divided into three types. The first is dysglossia caused by congenital or acquired morphological abnormalities of articulatory organs. The second is dysarthria caused by nervous and muscular lesions. The third is dyslalia in which there is no abnormality in the morphological form and function of articulatory organs. According to one report, there are about 300,000 Dysarthria patients in Japan. According to the Guidelines for the Treatment of Stroke 2015, the recommendation grade of functional training for Dysarthria is C1(You may consider conducting training. But it doesn't have enough scientific evidence). The level of evidence of rehabilitation for Dysarthria is still not enough. Therefore, scientific research on Dysarthria is needed.

In Dysarthria patients, abnormal movements such as a “pull-in” pattern and a “centering” pattern are observed when producing voiceless velar plosive/ k /. It is a clinically important problem to evaluate the mechanism of such abnormal movement during articulation. However, it is difficult to distinguish whether the articulatory movement abnormality is caused by (1) a movement abnormality due to a neurological disease or (2) a movement to supplement the movement abnormality. In the measurement experiment, to get a clue to separate factor(1) and factor (2), we examined whether the pattern of "pulling in" and "centering" observed in Dysarthria patients was observed or not in the compensatory movement of normal subjects without the factor (1). In the simulation experiment, the mechanism of the compensatory movement was examined using a simulation based on a 3D tongue model.

The subjects of the measurement experiment were 7 normal Japanese speakers (1 female and 6 male). Their articulation movement was measured by EMA (Electromagnetic articulography). EMA is a device that attaches a sensor to the articulator and measures its position magnetically. We use 7 sensors in the experiment. One sensor was placed at the Nasion (reference sensor), one on the lower gum, three on the mid sagittal plane of the tongue, one on the left side of the tongue and one on the right side. The speech material was / aka // aki // aku // ake // ako /. There are three utterance conditions: (a) normal utterance condition for uttering as usual, (b) utterance condition while biting the tongue depressor, and (c) utterance condition with maximum jaw-opening position. (b) and (c) were set to extend the range of elevation of the posterior tongue needed for articulation and to induce compensatory movement. The extension of the distance between the lower gums and the tongue tip was used as an

index of “pull-in”, and the reduction of the distance between the left and right sensors was used as an index of “centering”.

As a result, when compared with the condition (a), in the both condition (b) and (c), the distance between the lower gum and the tongue tip was significantly increased in 6 out of 7 subjects. The left-right distance was significantly reduced in two of the seven subjects. (Including duplicates). “Pull-in” was observed in many subjects. In comparison, "centering" was observed in a smaller number of subjects. However, since the total number of subjects is small, the number of subjects in which “centering” is observed is not a negligible number. Contrary to the prediction, a significant reduction in the distance between the left and right sensors was observed in 5 out of 7 subjects. We thought that "pull-in" was caused by the compensatory action of the posterior tongue elevation due to increased activity of the styloglossus(SG). We thought that “centering” was caused by the compensatory action of the posterior tongue elevation due to increased transverse (T) activity. The increase in the width between the left and right was considered to be a secondary effect of the increased activity of SG. There were individual differences between subjects in the results of the experiment. Although our results did not provide enough evidence, it was suggested that individual differences between subjects may be related to the relative size of the tongue relative to the oropharynx.

In the simulation experiment, a simulation was performed using a three-dimensional tongue model created by Dang and his colleagues to examine the mechanism described above. When the mandible of the normal / k / articulatory movement model was lowered, the elevation range of the posterior tongue surface was lowered by 2.53 mm. This was called the “jaw-opening model”. To compensate for the lack of elevation, a "pull-in model" was created in which the activities of the SG were increased until the posterior tongue was at the same height. Similarly, to compensate for the lack of elevation, a "centering model" was created in which T's activity was increased until the posterior tongue was at the same height. Then, the displacement between the “opening model” and the “pull-in model” was obtained. And then, comparison was made with the average value of displacement between the normal condition and the opening condition of the subject representing the “pull-in” pattern. For comparison, the average value of the mandible gum-tongue tip distance and the width of the right and left tongues of / aka / ~ / ako / was used. Similarly, the displacement between the “jaw-openig model” and

the “centering model” was compared with that of a subject representing the “centering” pattern.

The displacement of the mandibular gum-tongue tip distance between the “jaw-opening model” and the “pull-in model” was 4.97 mm, and the displacement of the tongue width was 0.26 mm. This result was within 1 SD of the average displacement of the representative subject of the pull-in pattern in the measurement experiment. The displacement of the mandibular gum-tongue tip distance between the “jaw-opening model” and the “centering model” was 1.67 mm, and the displacement of the tongue width was -5.57 mm. This result was within 1 SD of the average displacement of the representative subject of the “centering” pattern in the measurement experiment. The results of both the “pull-in” model and the “centering” model were consistent with the results of the measurement experiment. Therefore, the hypothesis that “pull-in” was the result of increased activity of SG and that the “centering” was the result of increased activity of T was supported in the simulation experiment. In the measurement experiment, many subjects increased the width of the tongue under the conditions (b) and (c). According to the result in the simulation experiment, these results was considered to be due to the effect of enhancing SG activity.

From the above results, the “pull-in” and “centering” pattern observed in Dysarthria patients were also observed in the compensatory movement of normal subjects. The pattern of Dysarthria patients' “pull-in” and “centering” should be considered not only for the possibility of motor abnormalities due to the neurological disease itself, but also for the compensatory movement of the motor abnormalities. It should be noted, however, that this study only examined compensatory movements under the limited conditions of the jaw opening position. In the future, it is necessary to conduct experiments on articulatory movement of / k / under more various conditions to study the universal production mechanism.

目次

第1章 はじめに	1
1.1 本章の目的	1
1.2 構音障害とその種類	1
1.3 Dysarthria（運動障害性構音障害）	2
1.4 軟口蓋破裂音の調音運動	4
1.5 Dysarthria 症例の軟口蓋破裂音における「引き込み」「中央寄せ」	6
1.6 調音運動異常の機序と代償運動	7
1.7 本研究の目的	9
第2章 関連研究	11
2.1 本章の目的	11
2.2 日本語軟口蓋破裂音/k/の代償運動の研究	11
2.3 /k/の調音結合の研究	13
2.4 EMA を用いた舌幅の定量測定研究	16
2.5 本研究の役割	17
第3章 測定実験	19

3.1 実験手法.....	19
3.1.1 実験概要.....	19
3.1.2 観測手法.....	19
3.1.3 発話資料.....	23
3.1.4 発話条件.....	25
3.1.5 被験者.....	26
3.1.6 データ分析方法.....	27
3.2 結果.....	29
3.2.1 舌尖-歯茎間距離 (UD-T1)	29
3.2.2 左-右間距離 (T4-T5)	30
3.2.3 舌尖-後舌間距離(T1-T3).....	32
3.3 考察.....	33
3.3.1 引き込み, 中央寄せの全体の傾向と個人差	33
3.3.2 引き込みの機序.....	35
3.3.3 中央寄せ, 左右幅の拡大の機序.....	37
3.3.4 代償以外の要因の可能性.....	38
3.4 まとめ.....	40
第4章 シミュレーション実験.....	42

4.1 シミュレーション実験目的.....	42
4.2 方法.....	42
4.2.1 舌の生理学的モデル	42
4.2.2 検証方法	45
4.3 通常モデル作成.....	46
4.4 引き込み, 中央寄せシミュレーション結果.....	48
4.5 考察.....	49
4.5.1 開口による舌尖位置の移動	49
4.5.2 開口モデルと引き込みモデル, 中央寄せモデルとの比較	51
4.6 本章のまとめ	53
第5章 おわりに	55
5.1 測定実験, シミュレーション実験のまとめ.....	55
5.2 本研究の Dysarthria 臨床への示唆.....	56
5.3 本研究の限界と今後の展開.....	56

図目次

図 1.1 : 正常の運動に必要な神経機構 ^[5]	4
図 1.2 : 無声軟口蓋破裂音/k/と有声軟口蓋破裂音/g/の調音点.....	5
図 1.3 : 中央寄せと引き込み	7
図 2.1 : 人工口蓋と接触部位による分類 ^[10より]	15
図 2.2 : /ata/の接触累積パターン ^[10より]	15
図 3.1 : センサの設置例.....	21
図 3.2 : 本実験の器材配置 (模式図)	21
図 3.3 : 本実験の器材配置 (写真)	21
図 3.4 : センサの設置位置と舌上のセンサ間距離	23
図 3.5 : 舌圧子条件の噛み方	25
図 3.6 : 下顎歯茎-舌尖間距離	28
図 3.7 : 左右間距離.....	28
図 3.8 : 舌尖-後舌間距離	28
図 3.9 : 舌筋の解剖模式図 ^[24]	35
図 3.10 : 舌筋の解剖模式図 ^[24]	37

図 3.11 : 舌の前額断面図 ^[28]	37
図 3.12 : 舌骨上筋群・舌骨下筋群 ^[30]	39
図 3.13 : 舌骨に付着する舌の筋 ^[28]	39
図 4.1 : 舌モデル上節点ナンバー	43
図 4.2 : 舌モデル上の各指標点	43
図 4.3 : 舌モデルの各筋の配置	44
図 4.4 : 各シミュレーションモデル	45
図 4.5 : 安静時と開口位の比較	50
図 5.1 : 口唇閉鎖における運動等価性	58

表目次

表 1.1 : Dysarthria の下位分類 ^[5]	3
表 3.1 : 図各種調音運動計測手法, 観測装置の特徴 ^[17]	20
表 3.2 : 被験者属性情報.....	27
表 3.3 : 下顎歯茎-舌尖間距離 (UD-T1) 判定.....	29
表 3.4 : UD-T1 舌圧子条件.....	29
表 3.5 : UD-T1 最大開口条件	29
表 3.6 : 左右間距離 (T4-T5) 判定.....	31
表 3.7 : T4-T5 舌圧子条件	31
表 3.8 : T4-T5 最大開口条件	31
表 3.9 : 舌尖-後舌間距離 (T1-T3) 判定	32
表 3.10 : T1-T3 舌圧子条件.....	33
表 3.11 : T1-T3 最大開口条件.....	33
表 4.1 : 各モデルの筋出力	48
表 4.2 : 各モデルの変位 (mm)	49
表 4.3 : 被験者測定における変位 (mm)	49

第1章 はじめに

1.1 本章の目的

本研究は健常日本語話者の軟口蓋破裂音/k/の調音運動に現れる代償運動の性質を検討する研究である。これは、運動障害性構音障害（Dysarthria）患者に現れる調音運動の障害の、(1)神経学的疾患による運動障害、(2)それを補うための代償運動の両者を分離するための手掛かりを得ることを意図した研究である。従って、本研究の議論には、上記の問題に関わる背景や手法についての説明が必要である。本章では、それらについて説明をしたのち、最後の節で改めて本研究の目的について説明することとする。

1.2 構音障害とその種類

言語音の産出器官は大まかに呼吸器、喉頭、声門上腔（咽頭から鼻腔および口唇までの空間）に分けられる。そのうち呼吸器、喉頭までの器官が関わる過程を発声（phonation）と呼び、声門上腔が関わる過程を調音・構音（articulation）という^[1]。「調音・構音」と併記したことには、本邦において“articulation”の訳語が研究分野によって異なっているという問題が関係している。“articulation”は音声学など基礎科学系分野においては「調音」、医学系分野においては「構音」

と訳される。本研究では、原則として「調音」という訳語を用い、障害名など医学的な文脈において定まった呼び方がある用語については「構音」という訳語を当てることとする。また先行研究の紹介、引用においては当該文献の表記をそのまま用いることとする。

何らかの原因により調音が障害されることを「構音障害」と呼ぶ。構音障害はその原因によって以下の3種類に分けられる^[2]。

- ・器質性構音障害：先天的・後天的な構音器官の形態異常によるもの
- ・運動障害性構音障害：神経・筋系の病変によるもの
- ・機能性構音障害：構音器官の形態や機能に異常の無いもの

本研究の目的に関係するのは「運動障害性構音障害 (Dysarthria)」である。次節では運動障害性構音障害 (Dysarthria) について説明する。

1.3 Dysarthria (運動障害性構音障害)

Dysarthria は、発声発語器官の運動に関わる神経・筋の障害により生じる構音あるいは発話（発声発語）の異常である^[3]。Dysarthria の日本語訳については前節で紹介した「運動障害性構音障害」の他に、「運動性構音障害」「神経原性発声発語障害」などや「ディサースリア」とそのまま仮名表記するものまでさま

ざまであり、本邦においてどう表記するのが望ましいかについては論争が起きている。しかし、本研究の目的にはどの用語を用いても議論の本質に影響はなく、そのような論争に深入りするのには有益でないと考える。そこで、本研究では以後、“Dysarthria”という英語名をそのまま用いることとする。

Dysarthria の原因となる疾患は、脳血管疾患、頭部外傷や筋萎縮性側索硬化症やパーキンソン病などの変性疾患等多彩である。本邦における Dysarthria 患者の数はある推計によると約 30 万人とされている^[4]。

Dysarthria はその背景となる神経病理により、下記（表 1.1）のような下位分類がなされる^[5]。各タイプの詳細な説明は煩雑になる上、本研究の議論に関与しないので省略する。ここでは Dysarthria にも多様な病態が含まれており、さらに各下位分類の中においても、病巣や重症度の違いにより多様な病態が含まれていることを確認するにとどめる。

タイプ		病変部位	代表的疾患
痙性麻痺性構音障害	仮性球麻痺	上位運動ニューロン	脳卒中（両側性）
	UUMN		脳卒中（一側性）
弛緩性麻痺性構音障害		下位運動ニューロン	脳卒中（橋、脳幹）
運動低下性構音障害		錐体外路系	パーキンソン病
運動過多性構音障害		錐体外路系	ハンチントン舞踏病
失調性構音障害		小脳系	脳卒中（小脳、橋）

表 1.1 : Dysarthria の下位分類^[5]

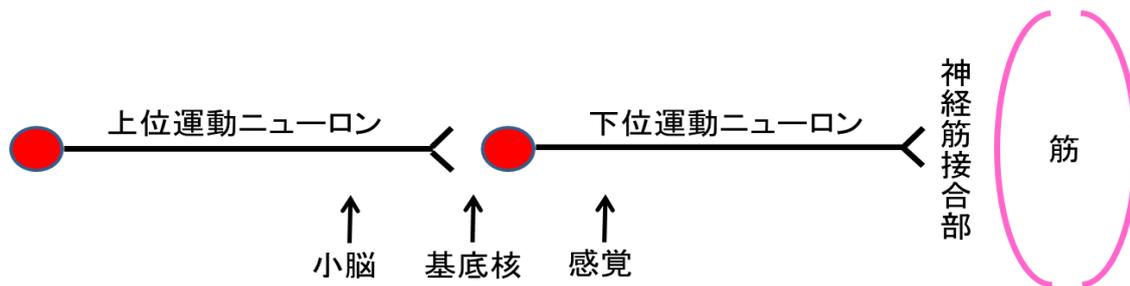


図 1.2：正常の運動に必要な神経機構^[5]

Dysarthria を対象としたリハビリテーションのエビデンスレベルは未だ低い水準にある。『脳卒中治療ガイドライン 2015』によると、Dysarthria の機能訓練の推奨のグレードは C1（行うことを考慮しても良いが、十分な科学的根拠がない）とされている^[6]。従って、Dysarthria のリハビリテーションにおいては治療効果や障害メカニズム等の科学的研究の蓄積が求められている。

1.4 軟口蓋破裂音の調音運動

日本語の言語音には様々なものがあるが、本研究では無声軟口蓋破裂音/k/を対象とした研究を行う。無声軟口蓋破裂音/k/は日本語のカ行の子音部分に相当する。軟口蓋破裂音は後舌と軟口蓋との間に閉鎖を作って気流をせき止め、そして開放することによって産生される子音である。閉鎖を作った際に声帯振動している場合を有声軟口蓋破裂音/g/、声帯振動していない場合を無声軟口蓋破裂音/k/と呼ぶ。図 1.2 を見てわかるように/k/と/g/の調音点は同じであるが、その際声帯振動（図には現れない）を伴っていないか、伴っているかという点が異なる。

っている。本研究で扱うのは後者の無声軟口蓋破裂音/k/である。

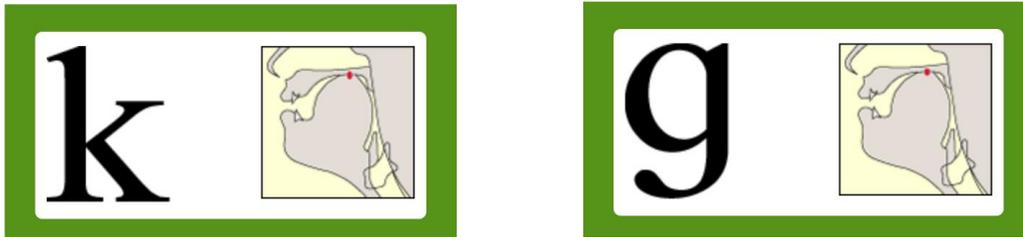


図 1.2：無声軟口蓋破裂音/k/と有声軟口蓋破裂音/g/の調音点

出典：東京外大ウェブサイト IPA 国際音声字母 (<http://www.coelang.tufs.ac.jp/ipa/>)

数ある日本語の言語音の中で軟口蓋破裂音を研究対象とした理由はいくつかある。一つめは運動のバリエーションの幅が広いことである。日本語における軟口蓋破裂音は、前後の音の影響による調音運動の変化幅が大きい傾向がある[7]。本研究の目的である代償運動を検討する上でも、変化が大きく観測にて代償による変化が捉えやすいことが予測されたため、本研究では軟口蓋破裂音を対象とした。もう一つの理由には本稿筆者の個人的な臨床経験が関係する。それは軟口蓋破裂音の臨床における評価・介入上の有用さである。一般に舌を用いた調音運動は口腔内で行われるため外側から観察がしにくい。特に子音は調音点の狭めや閉鎖が必要なため観察がしにくいのだが、子音の中でも軟口蓋破裂音、特に後続母音が/a/の場合などにおいては、比較的口腔内を覗きやすく調音運動の状態が観察しやすい。また、軟口蓋破裂音は前舌が自由になりやすく、前述したように多様な運動で産出可能なので、介入によりあえて/k/を別の運動パターンで

の産出を促し，発話全体の調音運動パターンの修正を図るという試みがしやすい印象がある．以上より，軟口蓋破裂音の調音運動の研究は臨床に応用しやすいという点も，研究対象に選定した理由である．

同じ軟口蓋破裂音でも，/g/ではなく/k/を研究対象としたのは，/g/は調音点の閉鎖中に声帯振動を維持するために/k/よりも複雑な機構を必要とするため[8]，要因が増えて扱いが煩雑になってしまうことが理由である．おそらくそのため臨床上も/k/の方が構音障害の評価に頻繁に使われ，先行研究にも/k/を使ったものが多く[9,10]，他の知見との比較が行いやすいのも研究対象に/k/を選定した理由である．

1.5 Dysarthria 症例の軟口蓋破裂音における「引き込み」「中央寄せ」

Dysarthria における調音器官の運動異常には様々なものがある．一般的な概説書にて記載される運動異常として代表的なものの一つが，舌が口腔の後方に引き込まれる現象である（以下「引き込み」，図 1.3 の右側）^[11]．また，「棒状になる」という現象もしばしば言及される．これは舌の横幅が短くなり舌の中央が盛り上がって棒状になる現象を指していると考えられる（以下「中央寄せ」，図 1.3 の左側）^[11]．

これらの運動異常は文献上、呈舌運動などの非言語的運動の観察に基づいた記載が多いが、調音運動中にも同様の運動異常が起こっていると考えられる。視診にて一部の口腔内を観察しやすい音で観察されたり、聴覚印象上、後続母音が後方化して聞こえるなどの所見によって間接的に指摘できることもある。本研究の研究対象である軟口蓋破裂音においても、口腔内を比較的観察しやすい/ka/などで直接観察出来ることもあり、非言語的運動だけでなく発話運動時においても「引き込み」「中央寄せ」が観察されることがわかる。

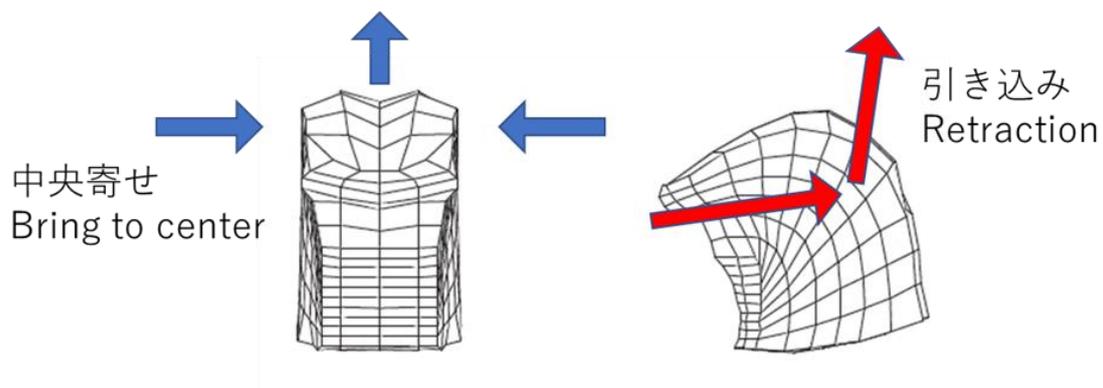


図 1.3 : 中央寄せと引き込み

1.6 調音運動異常の機序と代償運動

一般に Dysarthria 患者に出現する運動の異常は神経・筋疾患そのものによる運動異常だけではない。そのような運動異常を補うための代償運動もしばしば出現する。代償運動は目的の活動に必ずしも有利に働くとは限らず、かえって不利に働くこともある^[11]。例えば、Dysarthria 臨床においてしばしば観察される

代償運動として、舌や口唇の挙上、下制範囲の不十分さを、下顎の上下動によって代償するという現象がよく指摘される^[12]。そのような場合、単音節での産出であれば、代償によって産出しやすくなる一方、複数の音節を連ねた場合、前後の音への渡りにスムーズさが無くなったり、発話速度が不自然に落ちてしまうこともある。下顎は調音器官の中でもサイズの大きい器官であるためその運動スピードも遅く、下顎の上下動で代償してしまうと前後の音の構えを作るのが遅れてしまうためだと考えられる。そのような問題は単音節から単語、文と発話の単位を大きくした場合や、音と音との間の渡りをスムーズにしたい場合、発話スピードを上げたい場合等に前景化することがある。

もし、訓練の対象となる症例の *Dysarthria* の症状が重度であり、単音節を出すだけでも難しい場合は、多少音の渡りが悪くなったとしてもこのような代償運動を積極的に使ってでも明瞭な音を出すことを目指すアプローチをとることが多い。一方、症状が軽度であり、長い発話への般化を狙う場合や発話スピードを上げていきたい場合や、すでに発話はある程度明瞭さが得られており、発話の自然さの改善を目指す必要がある場合などにおいては、このような代償運動を抑制して発話することを目指すアプローチを検討することが多くなる。

このように、異常運動が代償運動か否かという問題は臨床上重要な問題となっている。

前述した軟口蓋破裂音発生時における「引き込み」「中央寄せ」のような運動異常にも、(1) 神経あるいは筋疾患そのものによる機能低下による運動異常、(2) 機能低下を補うための代償運動の両方が含まれている可能性があり、その両者の分離は臨床上重要な問題である。しかし、臨床上観察可能なのは両者の混然一体となった現象であり、また、代償運動は本人にとっても無意識に出現することが多く本人に聞いてもわからないことが多い。そのため (1) (2) の分離はしばしば困難であり、そのことが障害機序の推定や有効な介入方法の策定の阻害要因となっている [13].

1.7 本研究の目的

以上見てきた通り、(1)と(2)の切り分けは臨床上重要な問題であるにもかかわらず、Dysarthria 患者の軟口蓋破裂音発生時に見られる「引き込み」「中央寄せ」のどこまでが (1) でありどこまでが (2) であるのかの明確な切り分けは、臨床観察からだけでは困難なことが多い。

そこで、本研究では (1) の要因がないことが想定できる健常発話者に出現する代償運動を検討することにより、(1) (2) を切り分けるための一助とすることを目的とする。具体的には、健常発話者が軟口蓋破裂音発生時に必要な後舌面の挙上範囲を広げられた場合、「引き込み」「中央寄せ」という運動型がみられるの

か否かを検討し、それらが起こった場合、どのような機序で出現したのかを検討
していくことを目的とする。

第2章 関連研究

2.1 本章の目的

本章では本研究に関連する先行研究を紹介し，その中での本研究の位置づけを行う．まず，研究対象の観点から日本語の軟口蓋破裂音/k/の代償運動の研究について，そして，方法論的観点から調音運動を正中矢状断面上だけでなく左右幅も含めて計測する研究について紹介し，その中での本研究の役割を議論していく．

2.2 日本語軟口蓋破裂音/k/の代償運動の研究

日本語軟口蓋破裂音/k/の代償運動を対象とした研究は多くない．本研究の対象である健常被験者の代償運動についての報告は存在せず，Dysarthria 患者の代償運動についての報告もない．しかし，器質性構音障害患者の調音の代償運動を検討した研究は複数存在する．その中でも具体的な代償運動パターンを具体的かつ多彩に記載した研究として古川ら(1996)が挙げられる^[14]．古川ら(1996)では，舌癌再建手術後症例の/k/の構音運動を X 線ビデオ画像にて記録し分析を行っている．対象症例 16 例のうち 6 例は健常者と同じ型の運動がみられ，残りの 10 例には健常発話者と異なる以下の 4 つのタイプの構音様式がみられたと報

告している。

(1) 舌根部と咽頭後壁が接して咽頭破裂音により/k/音を代償しようとするタイプ

(2) /k/産生時、軟口蓋の挙上抑制が起こり、舌の隆起が不十分なために生じる舌背と軟口蓋の接触不良を補おうとするタイプ

(3) 舌から喉頭にかけて全体が挙上し、舌背と軟口蓋の接触を助けようとするタイプ

(4) 正常よりも前方の硬口蓋で構音点が作られるタイプ

この報告は先行研究の中で最も/k/の代償運動を詳細に検討した研究である。しかし、その報告は X 線透視画像と前述のような定性的な記載に留まっており定量的なデータにはなっていない。また掲載された X 線画像も正中矢状断面上の構音運動のみに留まっている。

他に軟口蓋破裂音の代償構音について具体的な運動パターンを記載した研究としては、MRI Movie を用いて口唇口蓋裂患者の代償構音を観測した品川ら(2003)の報告がある^[15]。この研究では MRI Movie に基づき口唇口蓋裂患者の/pa//ta//ka/の構音運動を観測し、軟口蓋-咽頭後壁間距離、舌後方部-咽頭後壁間距離を定量的に計測している。こちらは、/k/の代償運動を定量的に観測した

研究ではあるものの、正中矢状断面上の計測のみに留まっている。

立本ら（1999）では下顎動静脈奇形治療後に血流障害で可動舌が脱落した症例の代償構音を検討している^[16]。同研究では、/k/では「口蓋弓と舌根部を破裂」、/g/では「口唇 b および/k/を強勢」、/gj/では「口唇を狭め/gwi/と構音」という代償構音がみられたと報告しているが、調音動作の観測方法やデータは明記されておらず、おそらく産出された音の聴覚印象評価により代償構音パターンを推測しているものと考えられる。

以上より、先行研究の中には、健常被験者、Dysarthria 患者を対象とした日本語軟口蓋破裂音/k/の代償運動を観測した研究は見いだせなかった。器質性構音障害患者を対象とした研究は複数見いだせたが、いずれも正中矢状断面上の運動の観測に留まっており、本研究で扱う「中央寄せ」のような前額断面上の運動も観測した研究は存在を確認できなかった。

2.3 /k/の調音結合の研究

前節では/k/の代償運動の研究を紹介した。いずれも器質性構音障害患者を対象とした研究であり、本研究で扱うような健常発話者による/k/の代償運動の研究は見いだせなかった。探索範囲を/k/の代償運動だけではなく調音運動一般の研究まで広げると、朱らによる磁気共鳴画像法（MRI）を用いた研究や[7]、中

村ら（2016）の EPG（electro-palatography）を使った調音結合に関する研究が存在する^[10]。調音結合とは隣接する音素が互いに影響しあって構音運動が効率的に変化する現象のことである^[10]。

朱ら（2010）では、MRI 動画を用いて 2 名の日本語話者の日本語の調音結合の計測を行っており、その中で /k/ の調音結合についても検討している^[7]。その結果として、後舌面子音の /k//g/ は舌尖・舌端子音 [t][d] よりも自由度が大きく後続母音によって前後の大きく揺れること、「軟口蓋子音」と呼ばれるが、現実には調音点はもう少し前方であり「硬口蓋後部・後舌面子音」と見たほうが良いという指摘をしている。朱ら（2010）の研究では、/k//g/ の調音運動が、MRI のトレース図に加えて、高舌性については舌高点-口蓋側表面間距離、舌の前後位置については舌高点-口蓋垂間距離と舌根点-咽頭後壁間距離を用いて定量測定が行われている。しかし、いずれの測定も正中矢状断面上の調音運動の測定に留まっており、本研究で検討対象としている「中央寄せ」のような、舌の左右幅の変化に関する情報は得られない。

中村ら（2016）では、EPG を用いて 3 名の健常話者（明確な記載はないが日本語話者だと思われる）の /s//t//k/ への前後の母音の影響の定量的測定を行っている^[10]。EPG とは、多数の電極を埋め込んだ人工口蓋を装着して被験者に発話をさせ、舌と口蓋の接触状態を電氣的に検出する装置である^[7]。EPG では、口

蓋の広範囲の領域の舌接触部分を検出するため、正中矢状断面だけでなく横方向を含んだ舌面の運動を観測することができる（図 2.1, 2.2）。そのような観点からは EPG 研究では舌の左右幅に関連するデータが得られるといえる。

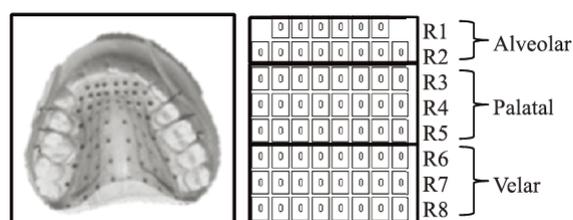


図 2.1：人工口蓋と接触部位による分類[10より]

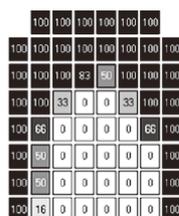


図 2.2：/ata/の接触累積パターン[10より]

しかし、EPG から得られたデータは、あくまで舌と口蓋の接触面に関するデータであり、舌そのものの形状変化を観測したものではない。加えて中村ら（2016）では EPG データから CoG(Center of Gravity)を算出して定量的データとしている。CoG は以下のように算出する。

$$\text{CoG} = (0.5 \times R8) + (1.5 \times R7) + (2.5 \times R6) + (3.5 \times R5) + (4.5 \times R4) + (5.5 \times R3) + (6.5 \times R2) + (7.5 \times R1) / R8 + R7 + R6 + R5 + R4 + R3 + R2 + R1$$

R1は人工口蓋床に設置されたセンサの一番前の列のうち接触が検出されたセンサ数である。R1が最も前でR8が最も後ろの列である。前方の列への接触数が多いほどCoGの数値が高くなり、CoGは舌接触の前後位置を示す指標値になっている。しかし、この算出方法だと舌接触の左右位置のデータは捨象されてしまう。従って、中村ら(2016)でも本研究の目的上必要な/k/における舌の左右幅の変動の定量データは得られていない。

2.4 EMAを用いた舌幅の定量測定研究

本研究では健常発話者の/k/の代償運動における「中央寄せ」の有無を検討するため、磁気センサ(Electromagnetic articulography: EMA)の一種であるWaveを用いて舌の正中矢状断面上の運動だけでなく左右幅の測定も行う(EMAやその測定方法の詳細については次章で扱う)。舌の左右幅をEMAを用いて測定した研究にはWilson et al.(2014)が存在する^[18]。この研究では英語母語話者3名、非母語話者4名を被験者として、舌矢状断面上に3つと側方に1つセンサを設置し、舌の側方センサの正中からの距離と咬合面を基準とした高さを測定している。そして英語非母語話の発話準備体制の舌の側面位置が、母語話者に比して非効率的な位置にあることを主張している。

この研究はEMAを使用して調音運動を測定している点、そして舌の正中矢

状断面上の運動だけでなく、左右幅の変化も測定しているという点で、方法論的に本研究に近い研究といえる。しかし、この研究ではある英語の nursery rhyme の発話全体における、発話時と発話準備時のデータを扱っており、軟口蓋破裂音 /k/ のような特定の音の測定は行っていない。従って、本研究に必要な軟口蓋破裂音 /k/ 調音時の舌の左右幅に関する情報は得られていない。

2.5 本研究の位置づけ

以上より、先行研究においては健常日本語発話者における軟口蓋破裂音 /k/ の代償運動を観測した報告は見いだせなかった。/k/ 調音時の代償運動に関連する研究として、器質性構音障害患者における /k/ の代償運動の研究は複数存在したが、いずれも正中矢状断面上の運動の観測に留まっていた。健常発話者における /k/ の調音運動の観測をしている研究には、/k/ の調音結合を観測した研究が存在するが、いずれも本研究の目的において必要な舌の左右幅についての定量的計測は実施されていなかった。EMA を用いた、調音中の舌の左右幅を測定した研究は存在するが、/k/ の調音運動時の舌の横幅についてのデータは示されていなかった。

本研究では健常日本語話者における /k/ の代償運動について検討を行う。このような先行研究は存在せず、本研究はそのような研究に先鞭をつける役割があ

る。また、本研究では「引き込み」「中央寄せ」という代償パターンに着目する。特に「中央寄せ」は、正中矢状断面上の観測だけでは捉えることができず、舌の左右幅の観測が必要である。本章で見てきたように、日本語の軟口蓋破裂音/k/についての、舌の左右幅に関する定量データを用いた運動研究も存在せず、この点でも本研究の新規性が示せると考えられる。

第3章 測定実験

3.1 実験手法

3.1.1 実験概要

本章で扱う観測実験の目的は、日本語健常発話者が軟口蓋破裂音/k/を産出する際の代償運動として、「引き込み」「中央寄せ」が現れるかどうかを検討することである。本実験では、被験者に2種類の方法によって開口位を保持した状態で/k/の発話を求めることにより、/k/の調音に必要な後舌面の挙上範囲を広げて、不足した挙上範囲を補うための代償運動を誘発させる。そして、通常の調音運動と比較して、開口位で発話した際の調音運動がどのように変化するかを検討する。本節（3.1節）ではその手法の詳細を説明する。

3.1.2 観測手法

調音運動の観測には、磁気センサシステム（Electromagnetic articulograph : EMA）の1種である Northern Digital Inc.(NDI)の Wave speech research system を使用する^[17]。EMA は磁気を利用して、調音器官に貼り付けたセンサの位置を計測するシステムである。発話運動の計測手法としては他にも MRI や電氣的パルトグラム（EPG）、超音波を用いた手法などが存在するが、その中で

も EMA は計測点が限られるものの時間分解能が高く、MRI のような計測時の騒音もなく、姿勢が自由で計測データの取り扱いがしやすいなどの特徴を持つ [17] (表 3.1.参照).

手法	時間分解能	空間分解能	侵襲性	姿勢	利点 (○) ・欠点 (×)
X線マイクロビーム	< 160 Hz	約0.5mm	有	固定	○データベース有り △新規データは取れない, 計測点限定
EMA (NDI Wave)	100~400Hz	1.5mmRMS	無	自由	○運搬可, レンタル有 △計測点限定
EMA (Carstens AG501)	250~1,250Hz	0.3mmRMS	無	固定	○Waveよりも高精度 △計測点限定
超音波断層法	数百Hz	< 1mm	無	自由	○操作が簡単, △舌尖が持ち上がると観測不可
電気的パラトグラフ	100Hz	数mm	無	自由	○舌と口蓋の接触を観測可 △被験者ごとの人工口蓋が必要
Dynamic MRI	10Hz	> 0.5	無	固定	○舌根や喉頭まで観測可, 任意断面撮像可 △仰臥位のみ, 撮像騒音大

表 3.1 : 各種調音運動計測手法, 観測装置の特徴^[17]

Wave System は System control unit(SCU), Sensor Interface unit (SIU), フィールドジェネレーター (FG) と, 操作用 PC, オーディオインターフェースとマイク, 5D センサ, 6D センサから構成される^[17,19]. 本研究ではオーディオインターフェースは Roland OCTA-CAPTURE[UA-1010]をマイクは BEHRINGER ECM8000 を使用した. 今回の観測実験における配置は図 3.2, 図 3.3 の通りである. フィールドジェネレーターの前方 40 mm のところに 500 mm 四方の磁場を発生させ, その磁場の中のセンサの位置を測定する. センサ位置の標準化周波数は 400Hz, 音声は 44.1kHz で収録された.



図 3.1：センサの設置例

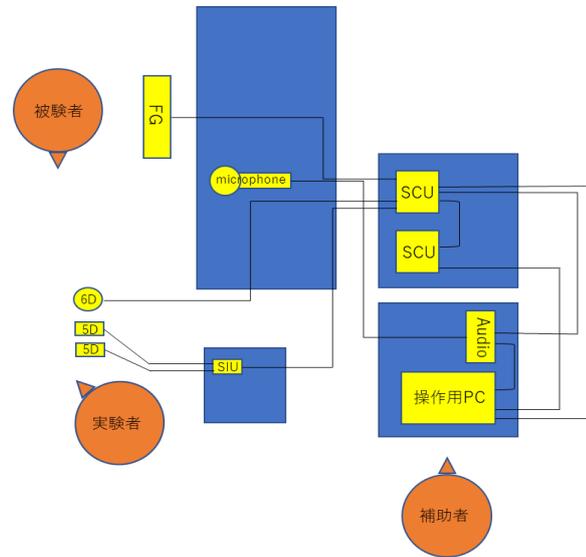


図 3.2：本実験の器材配置（模式図）



図 3.3：本実験の器材配置（写真）

センサには 6 自由度センサ（6D センサ）と 5 自由度センサ（5D センサ）がある。6D センサは鼻根点に設置し原点を規定するリファレンスセンサとして使用し、5D センサは調音器官の運動計測に使用する。5D センサには従来型のセンサと、北村ら（2013）の開発した新型センサを併用した^[20]。新型センサは従来型のセンサに比べて、直径が細いため（従来型：1 本のワイヤの直径 0.4 mm,

新型：0.1020 mm) 調音運動時に違和感が少なく，コネクタの取り扱いがしやすいという利点がある^[20]が，価格は従来型に比べてやや高い．また，直径の細さから耐久性は従来型に比して低いことが予測される．このように従来型センサと新型センサにはそれぞれ長所と欠点が存在する．本研究では下顎歯茎のセンサに従来型のセンサを使用し，感覚が敏感で細かい運動が要求されるためワイヤの影響を受けやすい舌上のセンサには新型センサを使用した．

センサの設置位置は北村(2015)を参考に，鼻根点に 6D センサを 1 つ (RS)，下顎歯茎に従来型の 5D センサを 1 つ (UD)，舌上正中面に 3 つ (T1,T2,T3) 設置し，さらに T2 の左右に 1 つずつ (T4,T5) 設置した (図 3.4.参照)^[17]．T1 は舌尖から約 5 mm を目安に設置し，T3 は嘔吐反射の生じない可能な限り後方の点に設置，T2 は T1，T3 の中間に設置した．T4，T5 は T2 の左右可能な限り距離を離し，なるべく左右が等間隔になるように設置した．ただし，調音器官の大きさは人によって異なるうえ舌上には明確な解剖学的指標がなく，舌そのものも絶えず伸縮しているためセンサ設置位置の多少の誤差は回避不可能である．舌センサの貼り付け後，舌上のセンサの相対距離を計測したところ図 3.4 の右側の記載のようになった．

鼻根点への RS は化粧用接着剤で接着したのちに上から医療用テープで固定した．下顎歯茎，舌上のセンサは人体に無害な天然ゴムでコーティングをした後，

医療用接着剤で接着を行った。使用後はコーティングをはがして、医療器具の再生処理基準であるスポルディングの分類に従って消毒処理を行った後にセンサーの反応を確認し、使用可能なものは再使用をした。

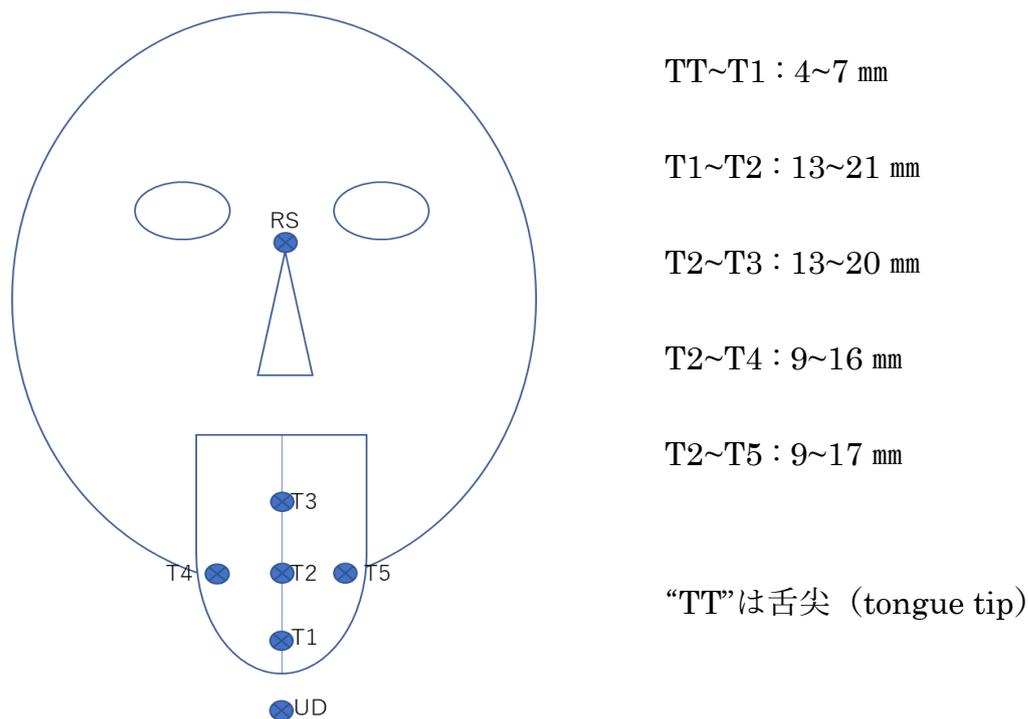


図 3.4 : センサの設置位置と舌上のセンサ間距離

3.1.3 発話資料

被験者に発話させる発話資料としては以下のものを使用した。

- ・ 単独母音 /a/ /i/ /u/ /e/ /o/
- ・ 単独音節 /ka/ /ki/ /ku/ /ke/ /ko/
- ・ 後続母音 /aka/ /aki/ /aku/ /ake/ /ako/

- ・先行母音 /aka/ /ika/ /uka/ /eka/ /oka/
- ・速度負荷条件 /kakaka…/と同じ音節を出来るだけ早く繰り返す

本研究ではこれらの音声資料のうち、後続母音を変化させた/aka/ /aki/ /aku/ /ake/ /ako/の分析を行った。この「後続母音」資料の選択したのは、/k/の前後に母音がある方が/k/の破裂区間を同定しやすいという方法論上の理由と、日本語においては先行母音と後続母音では後続母音の影響を受けやすいという理由からである^[10]。

発話資料は、実験者が1秒に1資料のペースで音声提示をして同じくらいのペースで発話するように指示をして被験者の復唱を促した。発話資料を文字呈示による音読ではなく、音声提示して復唱を促す形にしたのは、磁気センサへの影響を排除するため金属部品の含まれる眼鏡等を外してもらう必要があり、その場合文字が読みにくくなる可能性があること、紙を持ってそこに視線を落としたり、あるいは紙を持ち上げて目の前に提示すると上肢が動くので通常の発話とは姿勢が変化し、調音運動への影響も出てくる可能性があると考えられるので、文字呈示ではなく音声提示を採用した。それぞれの音を5回ずつ発話し、そのうち最初と最後を除いた3回を分析対象とした^[10]。聴覚印象上/k/の破裂音が聞き取れないと判断した音声資料については、再度同じ音声資料を提示して

言い直しを求めた。

3.1.4 発話条件

発話条件は(a)通常条件と(b)舌圧子条件と(c)最大開口条件を設定し、各条件で前述した発話資料のセットの産出をしてもらいセンサ位置、音声データの記録を行った。(a)通常条件は何も制約を加えない普段通りの話し方で発話を求めた。(b)(c)の条件はどちらも開口範囲を広げ、後舌面の挙上範囲を広げて代償運動の出現を誘発する意図で設定した。以下、(b)(c)について説明する。



図 3.5 : 舌圧子条件の噛み方

(b)舌圧子条件は、前歯で幅 14 mmの舌圧子の横幅の部分縦にして咥えたまま発話を促した(図 3.5)。色々な噛み方を試した結果、この形が一番舌圧子が舌に接触しなかったため、この噛み方を採用した。この噛み方は前歯で割りばしを咥える三谷ら(2017)の方法に類似しているが^[21]、三谷らが開口範囲を制約して発話訓練を行うという目的であったのに対し、本研究は開口範囲を広げて代

償運動を促すという点で目的が異なっている。開口するための器具の選定にあたって、舌圧子は医療器具であるため滅菌済みであるため安全管理がしやすい点、木製であるため磁気センサに影響がない点、サイズの規格が決まっており開口幅が固定しやすい点などを考慮した。ただし、上記噛み方が最も舌への接触が少なかったとはいえ、舌に全く接触しないという確証はなく、また口唇への感覚入力が舌運動に影響を与える可能性があるという欠点も持っている。

一方、(c)最大開口条件では、口を被験者の可能な限り大きく開けたままそれを保持してもらいそのまま発話を促した。こちらの方法は舌圧子等の器具を使用しないので、舌運動への舌圧子による感覚入力の影響を考えなくていい反面、開口範囲が人によって異なり、同一の被験者の中でも開口範囲が不安定であることが欠点となる。

(b)と(c)にはどちらも利点と欠点があり、その両方の欠点を克服する他の条件設定も見いだせなかった。従って、本研究では両条件共に測定をして両方の結果を比較し、量条件の結果の一貫性も含めて検討していくこととした。

3.1.5 被験者

被験者は7名（女性1名：被験者A、男性6名被験者B~G）であり、いずれも書面にて実験の目的やリスクについての説明を行い書面にて実験参加の同意

を得た。実験前の聞き取り調査にて、年齢、性別、出身地（転居の多い場合などには適宜最長居住地域を「出身地」とした）、外国語使用歴、音声言語に関連する病歴を聴取した。表 3.2 に各被験者の属性情報を示す。外国語使用歴がある被験者は 2 名いたが、いずれも数か月の滞在に留まっており、本研究に大きな影響はないものと考えた。

被験者	年齢	性別	出身	外国語歴	言語病歴
A	24	女	三重	有	無
B	25	男	宮城	無	無
C	23	男	三重	無	無
D	22	男	富山	無	無
E	22	男	愛知	無	無
F	22	男	福島	有	無
G	22	男	静岡	無	無

表 3.2：被験者属性情報

3.1.6 データ分析方法

各音声資料 5 回分のうち、最初と最後を除いた 3 回分を分析対象とした。音響分析ソフト Praat で各音声資料のスペクトログラムを見ながら、母音間の無音区間を用いて /k/ の閉鎖部分の時間情報を切り出した。その時間情報を用いて /k/ の閉鎖区間中のセンサ位置を切り出し、分析対象の 3 回分のその区間の平均値を /k/ のセンサ位置とした。

切り出した /k/ 調音時における下顎歯茎-舌尖間のセンサ間距離(図 3.6:UD-T1)

平均値を「下顎-歯茎舌尖間距離(UD-T1)」として引き込みの指標とし、舌の左右センサ間距離 (図 3.7: T4-T5) の平均値を「左-右間距離(T4-T5)」として中央寄せの指標とした。また、舌尖-後舌間のセンサ間距離 (図 3.8: T1-T3) の平均値を「舌尖-後舌間距離(T1-T3)」として、舌の前後長の指標とした。

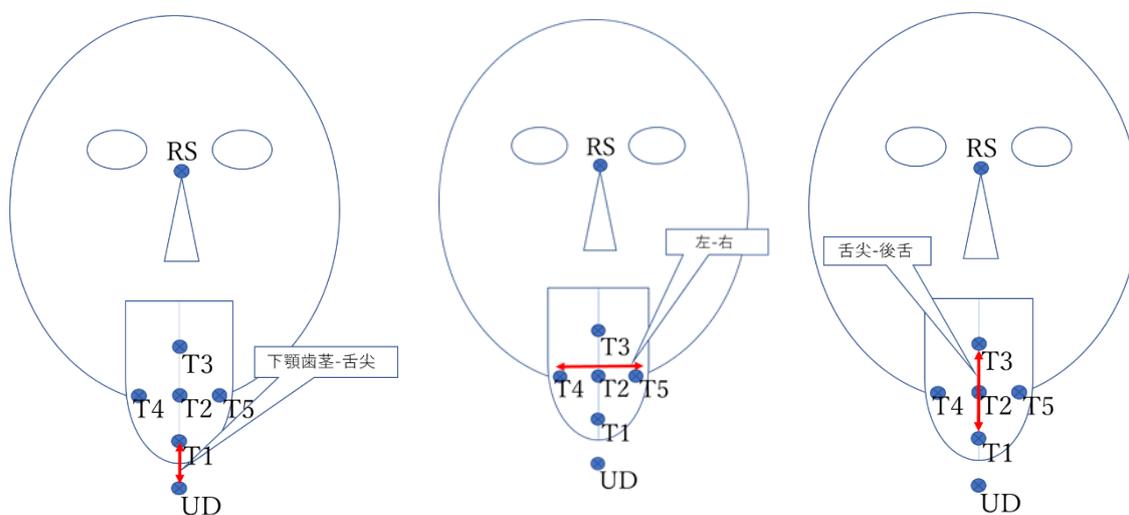


図 3.6 : 下顎歯茎-舌尖間距離 図 3.7 : 左右間距離 図 3.8 : 舌尖-後舌間距離

それぞれの被験者内で(a)通常条件, (b)舌圧子条件, (c)最大開口条件の間の有意差の有無を対応のない t 検定 (両側) で検討し, 有意水準は $p < 0.01$ とした。 (a)通常条件に比して(b)舌圧子条件, (c)最大開口条件が共に有意に拡大している場合を「+」, 共に有意に縮小している場合を「-」と判定した。また, (a)通常条件を 1 としたときの(b)舌圧子条件, (c)最大開口条件の割合を求めた。

3.2 結果

3.2.1 舌尖-歯茎間距離 (UD-T1)

舌尖-歯茎間距離 (UD-T1) の拡大・縮小判定は表 3.3, 通常条件を 1 としたときの舌圧子条件, 最大開口条件の比率はそれぞれ表 3.4, 3.5 のようになった。個々の被験者ごとの(a)通常条件, (b)舌圧子条件, (c)最大開口条件の箱ひげ図は分量が多いため巻末に付して添付資料とした。

被験者	aka	aki	aku	ake	ako
A	+	+	+	+	+
B			+		+
C	+	+		+	*
D	+	+	+	+	+
E	+		+	+	+
F				-	
G	+		+	*	

表 3.3 : 下顎歯茎-舌尖間距離 (UD-T1) 判定

“*”は欠損値があり判定不可能

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	1.08	1.46	1.43	1.49	1.35	1.36	0.17
B	1.12	0.97	1.02	1.08	1.24	1.09	0.10
C	1.02	1.20	0.93	1.35	—	1.13	0.19
D	1.15	1.23	1.23	1.10	1.04	1.15	0.08
E	1.20	0.98	1.16	1.09	1.31	1.15	0.12
F	1.06	1.01	1.22	0.95	1.23	1.09	0.13
G	1.03	1.07	1.12	—	0.97	1.05	0.06
平均	1.09	1.13	1.16	1.18	1.19	1.15	
SD	0.07	0.18	0.16	0.20	0.15		0.15

表 3.4 : UD-T1 舌圧子条件

通常条件を 1 としたときの比

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	1.10	1.49	1.29	1.32	1.33	1.30	0.14
B	1.07	0.99	1.48	1.01	1.40	1.19	0.23
C	1.74	1.58	1.58	1.69	2.11	1.74	0.22
D	1.39	2.00	1.72	1.59	1.07	1.55	0.35
E	1.15	1.46	1.47	1.38	1.32	1.36	0.13
F	1.00	0.92	0.99	0.94	0.91	0.95	0.04
G	1.08	0.90	1.18	—	1.51	1.17	0.26
平均	1.22	1.33	1.39	1.32	1.38	1.33	
SD	0.26	0.41	0.25	0.30	0.38		0.31

表 3.5 : UD-T1 最大開口条件

通常条件を 1 としたときの比

7名中6名において、/aka~/ako/のいずれかにおいて「+」判定がみられ、かつ「-」判定が一つも見られなかった。通常条件を1とした場合の舌圧子条件の比率は舌圧子条件条件全体の平均で1.15倍、最大開口位条件全体の平均で1.33倍と、いずれも通常条件よりも距離の拡大がみられた。一方、被験者Fにおいては「+」判定が一つもなく、/ake/において「-」判定が認められた。

以上、全体としてUD-T1間距離は通常条件に比し、舌圧子条件、最大開口位条件において拡大する傾向がみられたが、個人差があり、少数ながら縮小する被験者も存在した。

3.2.2 左-右間距離 (T4-T5)

左-右間距離 (T4-T5) の拡大・縮小判定は表 3.6、通常条件を1としたときの舌圧子条件、最大開口条件の比はそれぞれ表 3.7, 3.8 のようになった。個々の被験者ごとの(a)通常条件、(b)舌圧子条件、(c)最大開口条件の箱ひげ図は巻末に付して添付資料とした。

/aka~/ako/のいずれかにおいて「-」の判定がついた被験者は7名中2名であった。一方、いずれかにおいて「+」の判定がついたのは7名中6名であった。通常条件を1としたときの舌圧子条件の比率は1.08倍、開口条件の比率は1.02倍とわずかに拡大傾向であったが、前述した通り縮小する例と拡大する例

が混在しており，全体の平均にどこまで意味があるのかは疑わしい．被験者 B, D には「-」判定が複数ある一方，両者ともに「+」と「-」が混在していることや，/aki/においては全て「+」，被験者 E においては全て「+」になるなど，個々の被験者，個々の後続母音の条件ごとに分けて考える必要があると思われる．

被験者	aka	aki	aku	ake	ako
A	+				+
B	-	+	-		-
C		+			*
D	-	+	-		
E	+	+	+	+	+
F		+		+	
G				*	

表 3.6：左右間距離（T4-T5）判定

“*”は欠損値があり判定不可能

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	1.18	1.03	1.01	0.97	1.10	1.06	0.08
B	0.91	1.19	0.98	1.15	0.92	1.03	0.13
C	1.07	1.06	1.31	0.90	—	1.09	0.17
D	0.91	1.10	0.96	1.02	0.95	0.99	0.07
E	1.06	1.16	1.15	1.07	1.03	1.09	0.06
F	1.00	1.18	1.44	1.21	1.09	1.19	0.17
G	1.00	1.13	1.12	—	1.14	1.10	0.07
平均	1.02	1.12	1.14	1.05	1.04	1.08	
SD	0.10	0.06	0.18	0.12	0.09		0.12

表 3.7：T4-T5 舌圧子条件

通常条件を 1 としたときの比

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	1.03	1.01	1.02	1.00	1.13	1.04	0.05
B	0.89	1.09	0.80	0.69	0.90	0.87	0.15
C	0.98	1.10	1.03	1.13	1.05	1.06	0.06
D	0.92	1.11	0.98	0.99	0.98	1.00	0.07
E	1.07	1.24	1.06	1.07	1.10	1.11	0.08
F	0.96	1.19	0.96	1.21	1.02	1.07	0.12
G	0.94	0.98	0.95	—	0.91	0.95	0.03
平均	0.97	1.10	0.97	1.02	1.01	1.01	
SD	0.06	0.09	0.09	0.18	0.09		0.11

表 3.8：T4-T5 最大開口条件

通常条件を 1 としたときの比

3.2.3 舌尖-後舌間距離(T1-T3)

舌尖-後舌間距離(T1-T3)の拡大・縮小判定は表 3.9, 通常条件を 1 としたときの舌圧子条件, 最大開口条件の比はそれぞれ表 3.10, 3.11 のようになった. 個々の被験者ごとの(a)通常条件, (b)舌圧子条件, (c)最大開口条件の箱ひげ図は巻末に付して添付資料とした.

/aka~/~/ako/いずれかにおいて「+」がついた被験者は 7 名中 5 名, 「-」がついた被験者は 7 名中 2 名だった. 通常条件を 1 としたときの比率は, 舌圧子条件全体の平均で 1.04 倍, 最大開口位条件の全体の比率で 1.02 倍であり, 全体的には T1-T3 距離は若干拡大しているといえる. ただし, 倍率は UD-T1 間距離に比して小さく, 同じ程度の倍率の T4-T5 間距離に比べて SD も小さく, 被験者や後続母音による変動も小さいと考えられる. また, 被験者 C においては「+」がなく「-」が 3 個であり被験者によっては距離が縮小する傾向がみられた.

被験者	aka	aki	aku	ake	ako
A		+	+	+	+
B	+	-	+	+	+
C	-	-		-	*
D	+		+		
E	+	+	+	+	+
F					
G		+		*	

表 3.9: 舌尖-後舌間距離 (T1-T3) 判定

“*”は欠損値があり判定不可能

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	0.92	1.05	1.08	1.12	1.04	1.04	0.08
B	1.11	0.97	1.11	1.06	1.05	1.06	0.06
C	0.97	0.96	0.99	0.90	—	0.96	0.04
D	1.03	0.99	1.01	1.01	1.02	1.01	0.01
E	1.07	1.19	1.19	1.10	1.11	1.13	0.05
F	1.04	1.15	1.16	1.16	1.10	1.12	0.05
G	1.00	1.07	0.89	—	0.88	0.96	0.09
平均	1.02	1.05	1.06	1.06	1.03	1.04	
SD	0.06	0.09	0.10	0.09	0.08		0.08

表 3.10 : T1-T3 舌圧子条件

通常条件を 1 としたときの比

被験者	aka	aki	aku	ake	ako	平均	SD
A	1.02	1.13	1.07	1.13	1.04	1.08	0.05
B	1.14	0.97	1.14	1.25	1.04	1.11	0.11
C	0.97	0.98	0.99	0.93	0.91	0.95	0.04
D	1.03	0.93	1.03	1.00	0.96	0.99	0.04
E	1.08	1.20	1.22	1.14	1.09	1.15	0.06
F	0.98	1.01	1.01	0.94	1.03	0.99	0.04
G	1.06	1.21	1.06	—	1.13	1.12	0.07
平均	1.04	1.06	1.08	1.06	1.03	1.05	
SD	0.06	0.12	0.08	0.13	0.08		0.09

表 3.11 : T1-T3 最大開口条件

通常条件を 1 としたときの比

3.3 考察

3.3.1 引き込み, 中央寄せの全体の傾向と個人差

本研究の目的は, Dysarthria 患者にみられる「引き込み」「中央寄せ」が, 健常被験者の代償運動にも見られるかどうかを検討することであった. 本研究では, 引き込みの指標として下顎歯茎-舌尖間距離 (UD-T1) を測定し, 中央寄せの指標として左-右間距離 (T4-T5) を測定した. 本節ではそれらについて検討する. なお, 舌尖-後舌間距離については引き込みの機序についての節で別途扱うこととする.

引き込みは 7 名中 6 名の被験者に観察され, 逆に距離が縮小したのは被験者 F の/ake/のみであった. 中央寄せに関しては 7 名中 2 名にしか観察されず, 逆に距離が拡大した被験者が 5 名いた. 従って, 全体の傾向としては, 引き込みは

多く中央寄せは少ないという結果となった。

しかし、引き込みについても中央寄せについても、それぞれ全体の傾向に反する例も存在した。引き込みに関しては被験者 F には全く観察されず、むしろ/ake/で通常条件より舌圧子条件、最大開口条件の方が舌尖が前方に移動するという現象もみられた。中央寄せに関しては被験者 B には/aka~/ako/の 5 つの音声資料のうち 3 つに中央寄せを認めた。それぞれ少数例ではあるが、本研究は被験者数が 7 名と少ないため無視はできないと考える。

被験者 F については、引き込みと中央寄せの両方の代償運動が共に認められなかった。これに関しては口腔咽頭に比した舌のサイズが関与している可能性がある。明確な基準による測定や分類は実施していないが、実験者の視認による観察上、被験者 F は本研究の被験者の中で口腔咽頭に比した舌のサイズが他の被験者に比して最も大きかった。他の被験者が多かれ少なかれ開口呈舌時に口蓋弓や口蓋垂が観察されたのに対し、被験者 F は開口呈舌時でも口蓋弓や口蓋垂が全く見えなかった^[22]。舌のサイズが大きいことにより、舌圧子条件、最大開口条件により後舌面の必要挙上範囲が拡大しても引き込みや中央寄せのような代償運動を働かせる必要性が低かった可能性がある。今後、何らかの手段で口腔咽頭に比した舌のサイズを考慮して研究をしていく必要があると考えられる。

3.3.2 引き込みの機序

本研究においては、引き込みによる代償が多く認められた。解剖生理学的観点から、引き込みによる後舌面挙上の代償の機序としては茎突舌筋 (Styloglossus: SG) の活動増大が考えられる。SG の起始は頭蓋骨の茎状突起であり、そこから下方、内方、前方に走行し舌の側面に到達し舌の内部に入っていく [23,24] (図 3.9 参照)。従って、舌から見ると SG は上方、外方、後方に伸びており、SG が収縮すると舌は上方、外方、後方に引かれることが予測される。筋電を用いた生理学的研究においても、SG は舌を後上方に引く機能があるとされている [25]。SG をより強く働かせることにより、後舌面をより大きく挙上させるという代償機構により舌全体が後上方に引かれ、それに伴い舌尖も後方に引かれたため、引き込みが起こっていると考えられる。

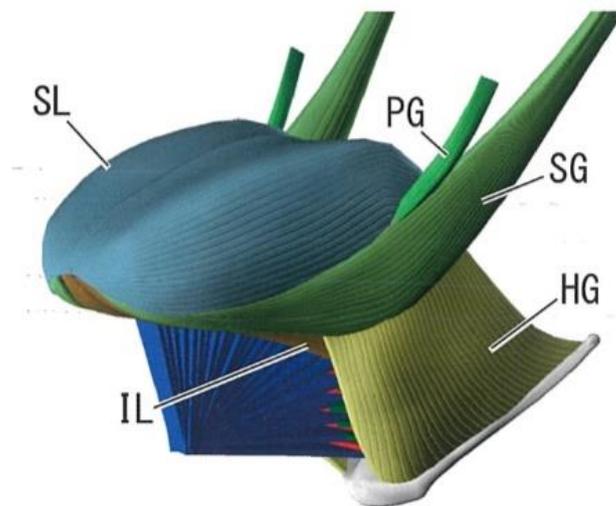


図 3.9 : 舌筋の解剖模式図 [24]

しかし、引き込みには別の代償機構が関与した可能性も考えられる。舌は筋静水圧系(muscular hydrostat)という性質を持つとされている^[26](“muscular hydrostat”には「筋静水圧系」^[24]、「筋静水圧装置」^[27]という日本語訳語がある)。筋は収縮しても体積は一定であるため、ある次元の長さが収縮すると、別の次元の長さが拡大する性質を持つ^[26]。従って、舌の前後長を縮小することによって、舌の上下方向の長さを拡大して後舌面を挙上させるという機構で代償している可能性も考えられる。従って、前後長の縮小による舌尖の後退により引き込みが起こっている可能性も検討しなければならない。そこで、舌の前後長の変化も検討したところ、舌の前後長は被験者 7 名中 5 名に観察され、縮小がみられたのは被験者 C,D の 2 名で、そのうち D は/aki/のみの限定的な条件下での縮小に留まった。このことより、前後長を縮小して後舌面の挙上範囲を代償している可能性は低いと考えられる。

しかし、個別の被験者を確認すると、被験者 C は舌の前後長の縮小のみ観察され拡大は観察されていない。C においては舌の前後長の短縮による後舌面挙上範囲の代償機構が働いている可能性も否定はできず、個人差を考慮する必要があると考えられる。

3.3.3 中央寄せ，左右幅の拡大の機序

被験者全体としては，中央寄せは少なかったものの被験者 B, D では中央寄せが認められた．中央寄せの機序としては，解剖生理学的観点からは横舌筋（transverse : T）の活動増大が関与している可能性が考えられる．横舌筋は舌の正中中隔から背外側方向に走行し舌外縁の固有層に至る^[23]（図 3.10, 3.11）．舌の長軸方向に対し左右に伸びる筋のため，収縮すると左右の幅が短縮する．左右の幅が短縮すると前述した筋静水圧系の性質により，他の次元の長さが拡張すると考えられる．解剖書によっては T の収縮により長軸方向に伸びて舌を前に呈出するという働きがあるという記載もあるが^[28]，T の収縮が後舌面を挙上させるとしている文献もある^[29]．本研究に見られた中央寄せも，横舌筋の活動増大により後舌面挙上を代償している可能性が考えられる．

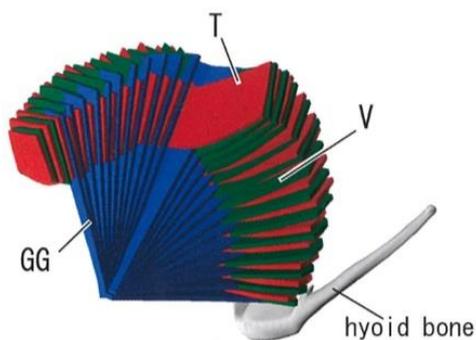


図 3.10：舌筋の解剖模式図^[24]



図 3.11：舌の前額断面図^[28]

一方，本研究の観測結果では，中央寄せで左右の距離が短縮するのとは反対に，左右の距離が拡張する例が多くみられた．これについては前述した SG の活動

増大による代償運動の副次的作用の影響であるという可能性が考えられる。前述したように、SG は解剖学的に舌から茎状突起まで後外方に走行しており、SG の活動増大は舌を後方だけではなく外方に引く作用があることが予測される。従って、SG の活動拡大が、舌の引き込みによる代償を生じさせただけでなく、舌の横幅も広げた可能性が指摘できる。

3.3.4 代償以外の要因の可能性

以上、引き込み、中央寄せに加え、左右幅の拡大の機序を、必要挙上範囲の拡大を補うための代償運動という観点から検討してきた。しかし、舌圧子条件や開口条件は、通常条件に比して軟口蓋破裂音/k/産出時の後舌面の必要挙上範囲を拡大させるだけとは限らない。考察の最後に、本研究の結果に対して代償以外の機序が働いた可能性も検討していく。

一つの可能性として、開口運動による舌骨の後下方への移動が舌の引き込みに関与する可能性が考えられる。下顎が開大する際には舌骨上筋群と舌骨下筋群が同時に作用する^[30]。舌骨下筋群は胸骨舌骨筋、胸骨甲状筋、甲状舌骨筋、肩甲舌骨筋からなる筋群であり、いずれも舌骨と舌骨より下にある構造物とを結ぶ筋である（図 3.12, 図 3.13）。舌骨を上部に固定する舌骨上筋群よりも、舌骨下筋群の活動の方が相対的に強くなれば、舌骨も下方に引かれることになり、舌

骨に付着している舌そのものも後下方に引かれる可能性がある。

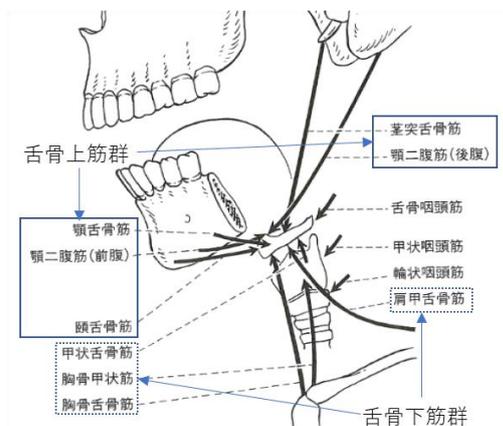


図 3.12：舌骨上筋群・舌骨下筋群^[30]

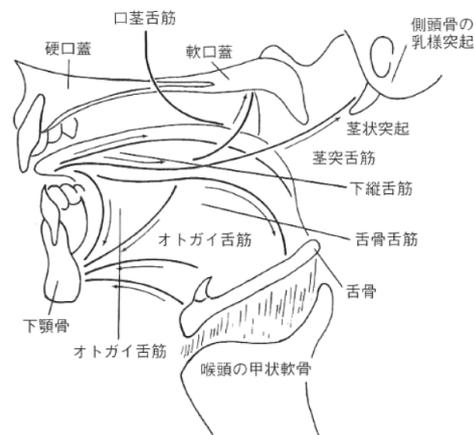


図 3.13：舌骨に付着する舌の筋^[28]

しかし、武藤ら（1993）の X 線画像による研究では、最大開口位においてはオトガイと舌骨の間の距離はむしろ短縮すると報告されている^[31]。そうになると開口運動は舌骨を下顎に対して前方に移動させることになる。本研究の「引き込み」は下顎歯茎-舌尖間の距離の拡大であり、開口による舌骨の移動では引き込みをうまく説明できない。

開口運動による機械的影響以外に検討しなければならないのは、舌圧子の刺激による感覚入力の影響である。舌の引き込みへの舌圧子の感覚入力の影響について直接検討するためのデータはないが、下顎歯茎-舌尖間距離についての各条件間の大小関係を検討することで、ある程度引き込みに対する舌圧子の影響の可能性が推測可能である。本研究では被験者 7 名×5 音声資料 (/aka/~/ako/) の 35 のデータを検討している。そのうち、10 のデータにおいて通常条件、最大

開口条件に比して、舌圧子条件が有意に拡張していた。最大開口条件は開口範囲を定量的には測定できていないものの、「口を出来るだけ大きく開ける」という課題の性質上、舌圧子条件よりは開口範囲が広い可能性が高い。それにも関わらず舌圧子条件の方が引き込みの度合いが強いということは、舌圧子の刺激が舌を引かせている可能性があると考えられる。従って、下顎歯茎-舌尖間距離の実験結果に対して舌圧子の感覚入力による影響がある可能性は十分に考えられる。しかし、本研究ではその可能性を考慮し、舌圧子条件と最大開口条件の双方ともに通常条件よりも距離が拡大したときのみを引き込み有（「+」）と判定した。従って、引き込みの有無の判定部分に対する舌圧子の影響は排除できていると考えられる。

以上、開口運動そのものによる影響では舌の引き込みは説明できなかった。舌圧子の刺激が、舌の引き込みに影響を与えた可能性は否定できなかったが、本研究の手続き上その影響は排除できているものと考えられた。従って、検討しえた限りでは代償運動以外の要因では本研究の結果は説明が困難であり、本研究の結果が代償運動によるものあるという蓋然性は高いものと考えた。

3.4 まとめ

本章では EMA の一種である Wave System を使用して、健常被験者に「引き

込み」「中央寄せ」が出現するかどうかを検討した。その結果、引き込みは7名中6名、中央寄せは7名中6名に認められた。また、中央寄せとは反対に舌の左右幅が広がった被験者が5名認められた。

引き込みの機序としては茎突舌筋（SG）の活動増強による後舌面の挙上範囲の代償、中央寄せの機序としては横舌筋（T）の活動増強による後舌面の挙上範囲の代償が考えられた。舌の左右幅の拡大はSGの活動増強の副次的効果によるものであると考えられた。しかし、機序に関しては、いずれも先行研究の解剖・生理学的知見からの推測に過ぎない。次章では上記の機序を舌の生理学的モデルを用いたシミュレーションにて検討していく。

第4章 シミュレーション実験

4.1 シミュレーション実験目的

前章での測定実験の結果，開口位での/k/の代償調音としては引き込みが多く認められ，中央寄せも少数だが認められた．そして，引き込みの機序としては，茎突舌筋（SG）の活動増大による後舌面の挙上範囲の代償，中央寄せの機序として横舌筋（T）であると考えた．しかし，これらは舌の表面上の数点の移動についての観測結果と，先行研究の解剖生理学的知見からの予測に過ぎない．これらの機序の蓋然性の検証のため，本章では Dang らの開発した舌の生理学的モデル^[32,33,34]によるシミュレーションによる実験について述べる．

4.2 方法

4.2.1 舌の生理学的モデル

Dang らの 3 次元舌モデルは生理学的発話機構を模擬する目的で構築されている．開発当初は正中矢状断面を含む左右幅 2 cm のみの 2.5 次元モデルであったが^[32]，その後 3 次元モデルに改良されている^[33,34]．

このモデルは成人男性日本語話者の MRI データを基に作成されている．舌の筋肉は舌の外部の骨部から起こって舌内に終わる外舌筋と，舌の内部に起始と

停止がある内舌筋に分けられる^[13]。このモデルの外舌筋，すなわちオトガイ舌筋（Genioglossus：GG），オトガイ舌骨筋（Geniohyoid：GH），舌骨舌筋（Hyoglossus：HG），茎突舌筋（Styloglossus）と，内舌筋のうち上縦舌筋（Superior longitudinal：SL）と下縦舌筋（Inferior longitudinal：IL）についてはMRIデータに基づいて配置されている。内舌筋のうち横舌筋（transverse：T）と縦舌筋（vertical：V）についてはMRIでは特定できなかったため，文献上の解剖学的データに基づいて構成されている。

舌の形状は，舌の表面に沿って垂直方向に7層（オトガイ1→舌面7），前後方向に11層（舌根1→舌尖11），左右方向に5層（左1→右5）のメッシュ構造になっている（図4.1）。本研究ではこれらの接点のうち，舌尖の指標として（7103）の接点，左右の距離を（791-795）接点間の距離，調音点の指標として（773）の接点を用いた（図4.2）。

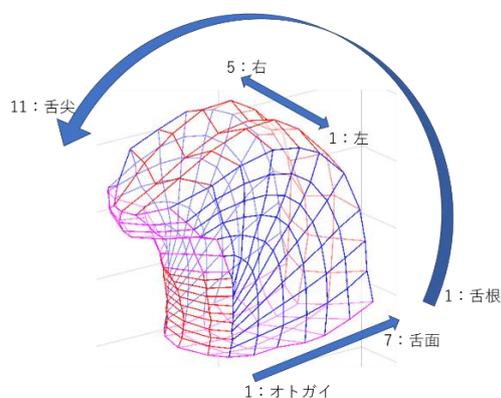


図 4.1：舌モデル節点ナンバー

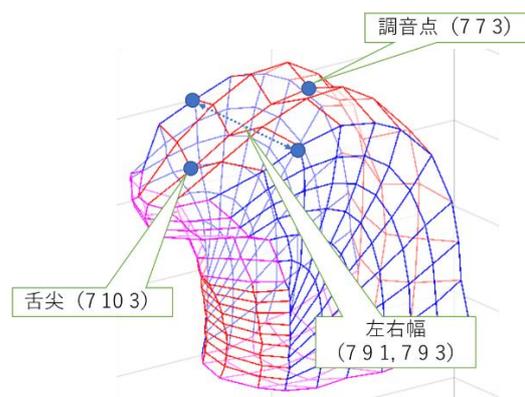
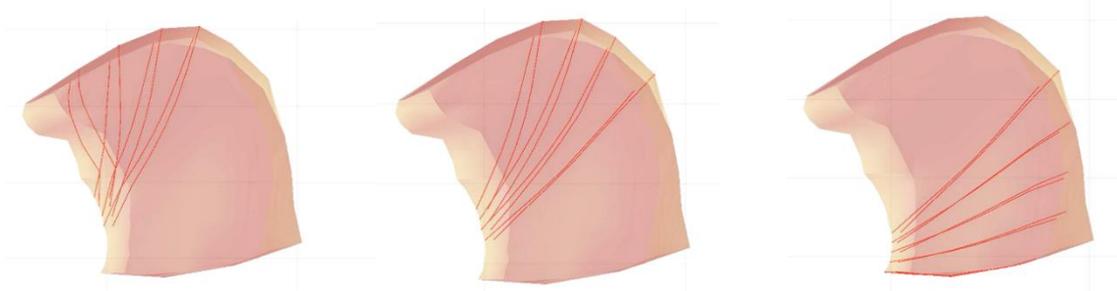
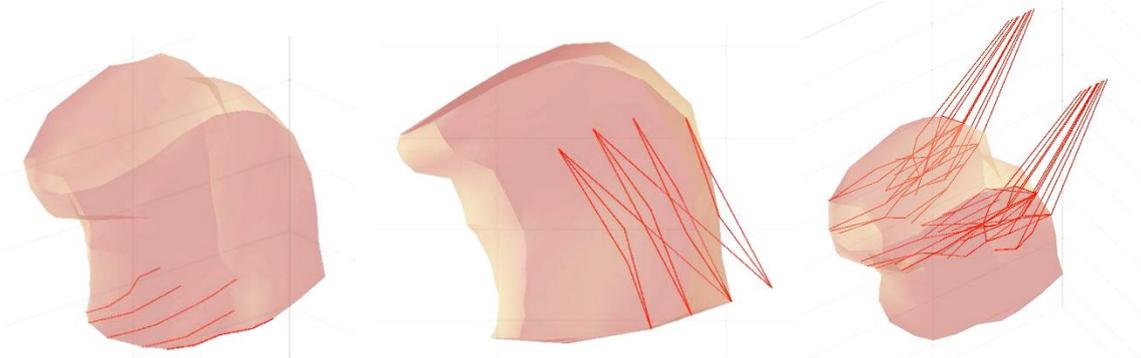


図 4.2：舌モデルの各指標点



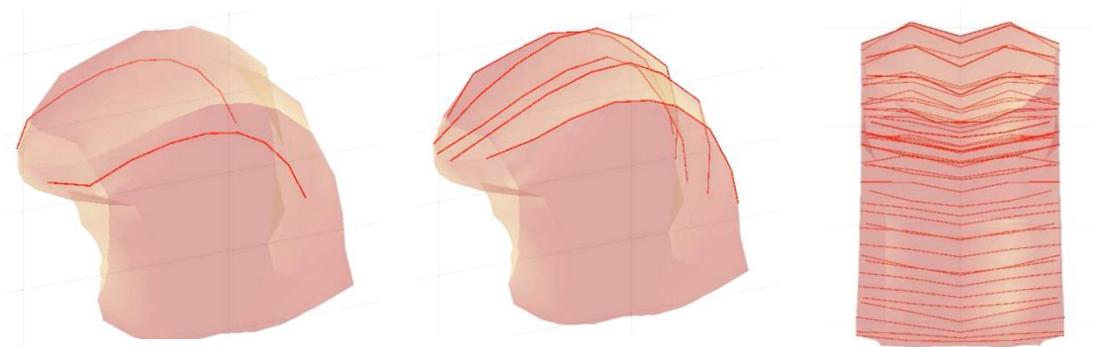
オトガイ舌筋前部 (GGa) オトガイ舌筋中部 (GGm) オトガイ舌筋後部 (GGp)



オトガイ舌骨筋 (GH)

舌骨舌筋 (HG)

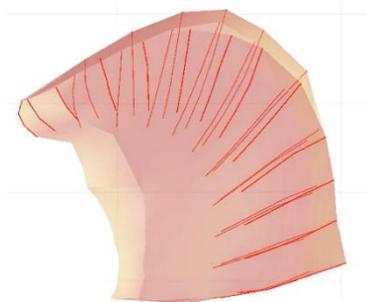
茎突舌筋 (SG)



上縦舌筋 (SL)

下縦舌筋 (IL)

下縦舌筋 (IL)



垂直舌筋 (V)

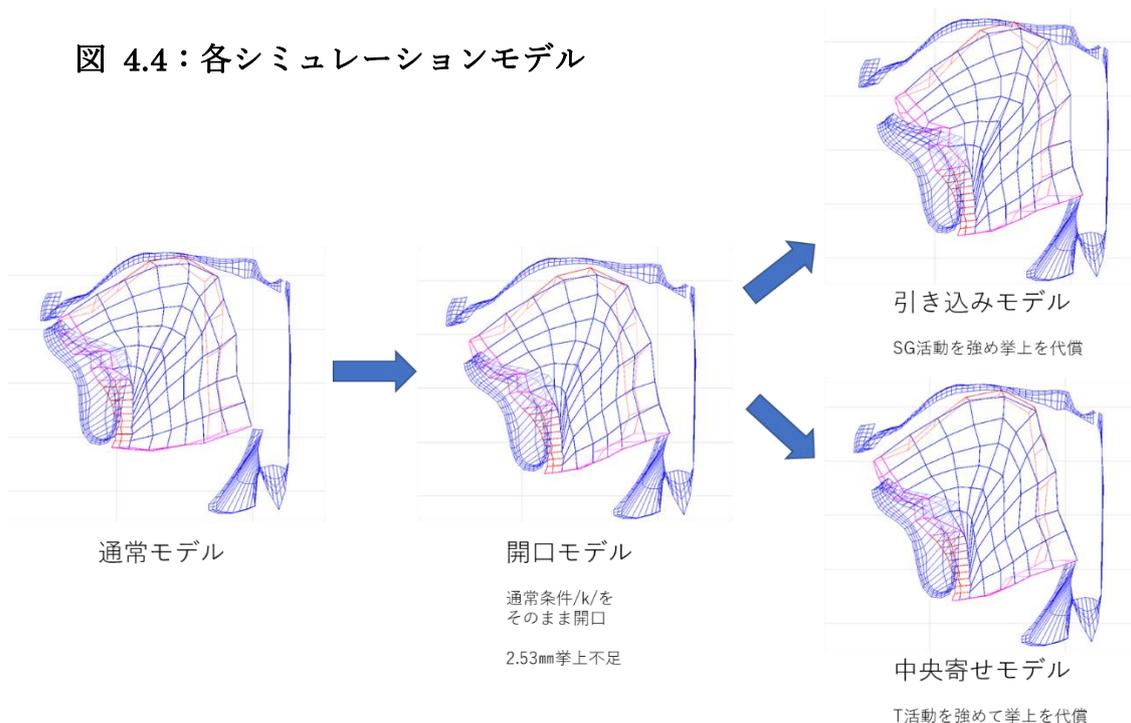
図 4.3 : 舌モデルの各筋の配置

本研究では各筋の筋出力の指定を入力として、舌の運動シミュレーションを出力として得て、そこから各指標の座標や距離を得る方法で実験を行った。

4.2.2 検証方法

まず通常条件の軟口蓋破裂音/k/のシミュレーションモデル（以下「通常モデル」）を作成したのち、そのモデルを舌出力を変えずに開口させたところ 2.53mm の挙上不足が発生した（以下「開口モデル」）。その挙上不足を SG の筋活動を増大させて同じ高さに到達させた「引き込みモデル」と、T の筋活動を増大させて同じ高さに到達させた「中央寄せモデル」を作成した。それらのモデルの舌尖-下顎歯茎間距離と、左右間距離を測定し、その変位を被験者データの最大開口条件のデータと比較した。

図 4.4：各シミュレーションモデル



比較する被験者データとしては、引き込み型の被験者として D を、中央寄せ型の被験者として B を採用した。前章の測定実験にて/aka~/ako/すべてにおいて引き込みがみられたのは被験者 A と被験者 D であった。A は女性、D は男性である。シミュレーションモデルは男性の MRI データに基づいて作成されているので、D の方がより引き込みの代表として適切であると考えた。中央寄せについては B が/aka//aku//ako/において中央寄せがみられており、被験者の中で最も中央寄せが多かったので、B を中央寄せの代表とした。

なお、本研究のシミュレーション実験では軟口蓋破裂音/k/のモデルしか作成できず、前後の母音を含めたモデルまでは作成できなかったため、比較対象の被験者データは、各被験者の/aka~/ako/全ての音声資料を平均した値とし、シミュレーションにおける開口モデルと引き込みモデルとの間の変位が被験者 D の変位の平均値の 1 SD 以内に入るかどうか、開口モデルと中央寄せモデルとの間の変位が被験者 B の変位の平均値の 1SD 内に入るかどうかを検討した。

4.3 通常モデル作成

/k/の通常モデルは、/k/の筋出力の根拠となるデータを入手できなかったため、先行研究における筋電、MRI による先行研究の記載から/k/あるいは/k/に比較的舌型の近い/u/の知見を参考にして筋出力を調整して作成した。筋出力の調整は

試行錯誤にならざるを得なかったが、試行錯誤の方針としては、シミュレーションモデルの調音点到達時の舌尖-歯茎間距離と左右間距離が、実験データの通常条件における調音点到達時における、安静時に比した舌尖-歯茎間距離と左右間距離の変異の平均値の 1SD 以内に入ることを目指して作成を行った。また、本研究で使用した 3 次元舌モデルでは、SG は前部と後部、T、V は前部、中部、後部に分けて制御できるが、今回は検証の単純化のため全て同じ出力とした。

参照データとして、/k/調音時の下顎歯茎-舌尖間距離と左右幅について、安静時平均と通常条件の/k/調音時の平均の差を求め、その全被験者（被験者 A~G）、全音声資料（/aka~/~/ako/）の平均を求めた。その結果下顎歯茎-舌尖間距離の安静時の平均値からの変位の平均は-5.6mm(SD=1.02)、左右幅の安静時からの変異の平均は 0.27mm(SD=1.78)となった。

作成した通常条件モデルの筋出力は表 4.1 のようになった。通常条件モデルの/k/調音時の下顎歯茎-舌尖間距離の安静時からの変位は 0.39mm、左右幅の変位は-1.08mm であり、実験データの 1SD 以内に収まっていた。

	通常	開口	引込	中央
gga	0.6	0.6	0.6	0.6
ggm	0	0	0	0
ggp	3.1	3.1	3.1	3.1
hg	0	0	0	0
sg	0.4	0.4	0.743	0.4
vert	0.1	0.1	0.1	0.1
tran	0.4	0.4	0.4	1.55
gh	1	1	1	1
jawOp	0	10	10	10

※閉鎖相のみ

※/k/に関与した筋のみ呈示

gga = オトガイ舌筋前部

ggm = オトガイ舌筋中部

ggp = オトガイ舌筋後部

hg = 舌骨舌筋

sg = 茎突舌筋

vert = 縦舌筋

tran = 横舌筋

gh = オトガイ舌骨筋

jawOp = 下顎開大筋

表 4.1 : 各モデルの筋出力

(単位 : N)

4.4 引き込み, 中央寄せシミュレーション結果

通常条件のモデルの下顎開大筋に 10N の力を加えて開口条件を作成したところ, 調音点の高さが 2.53mm 不足した. この不足を補うために通常モデルの SG の活動を徐々に増大させた. 他の筋の出力は固定した. その結果, SG の活動を 0.4N から 0.743N に上げた時に調音点が通常条件と同じ高さに到達し, これを「引き込みモデル」とした. 結果は表 4.2 の「引き込み」の通りになった. なお,

下顎歯茎-舌尖間距離，舌幅それぞれにおいて，通常モデルからの変位「通常基準」と開口モデルからの変位「開口基準」の2種類を算出している．この2種類を算出した意味については考察（4.6節）にて説明する．

開口による調音点の挙上不足を補うために通常モデルのTの活動を徐々に増大させた．その結果，Tの活動を0.4Nから1.55Nに上げた時に調音点が通常条件と同じ高さに到達し，これを「中央寄せモデル」とした．結果は表4.2の「中央寄せ」通りになり，内訳も下顎歯茎舌尖間距離と同様である．

	歯茎舌尖（通常基準）	歯茎舌尖（開口基準）	舌幅（通常基準）	舌幅（開口基準）
通常	0.00		0.00	
開口	10.69	0.00	0.31	0.00
引き込み	15.66	4.97	1.34	0.26
中央寄せ	12.35	1.67	-4.49	-5.57

表 4.2：各モデルの変位（mm）

被験者	歯茎舌尖変位平均	SD	幅変位平均	SD
D（引き込み代表）	8.11	4.66	-0.11	1.37
B（中央寄せ代表）	3.18	3.84	-3.60	4.33

表 4.3：被験者測定における変位（mm）

4.5 考察

4.5.1 開口による舌尖位置の移動

開口モデルは通常モデルの舌の筋出力は全く変えずに，開口筋の出力だけを増大し開口運動をさせたものである．しかし，通常モデルと開口モデルの下顎歯

茎-舌尖間距離を比較すると、10 mm以上も距離が拡大していることがわかる。図 X の開口条件モデルを見ると、舌尖の高さが下顎を基準に高い位置に移動していることがわかる。そこで、舌の筋出力はすべてゼロにし、下顎開大筋のみに10N の筋出力を与えたところ、以下の図 X のように安静時に比べ舌尖が高くなり、下顎歯茎-舌尖間距離は 8.7 mm 拡大していた。

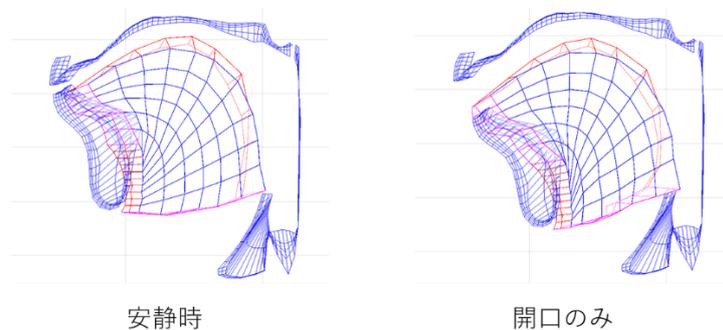


図 4.5：安静時と開口位の比較

この現象の明確な原因は不明だが、一つの可能性として、開口運動時の筋出力は本来下顎開大筋だけではなく、他の筋も同時に働いており、それを今回のシミュレーションでは再現できなかったためであるという可能性が考えられる。第3章の 3.3.4 節では、武藤（1993）の報告に基づき、開口運動時に舌骨はオトガイ方向に近づくことを確認した。舌骨がオトガイに近づくことにより、舌の底面の前後長が短縮されてその分の体積が上方向に逃げて舌の高さが上がるという機構が働いた可能性も考えられる。本研究では何も発音せず開口しただけの舌の

振舞のデータを取得していないので、実証的な議論はできないが、通常開口しただけで舌の高さが上がり下顎歯茎-舌尖間距離が 10 mm以上変化するという蓋然性は低そうだと考えられる。開口時に舌の無駄な動きを防ぐため、舌骨下筋群、あるいは HG のような舌体を引き下げよう筋が開口と同時に働き、舌を口腔内で安定させるような働きをしていた可能性もある。以上のように、下顎開大時の他の筋の働きに関しても検討する必要があるが、探索範囲が膨大になるため今後の検討課題としたい。

4.5.2 開口モデルと引き込みモデル、中央寄せモデルとの比較

前節では、今回のシミュレーション実験においては、開口運動をするだけで下顎歯茎-舌尖間距離が拡大してしまうという問題があることを示した。本研究では以下、その影響を排除する次善の策として、開口モデルを基準として、そこからの引き込みモデルと中央寄せモデルの下顎歯茎-舌尖間距離並びに舌幅の変位を検討する。開口モデルを基準と舌下顎歯茎-舌尖間距離と舌幅の変位は、表 4.2 の「開口基準」の項目を参照されたい。

引き込みモデルの下顎歯茎-舌尖歯茎間の距離の変位は 4.97 mmであった。測定実験データにおける引き込み代表の被験者 D の下顎歯茎舌尖歯茎間の距離の変位は 8.11 mm (SD4.66) であった (表 4.3)。シミュレーションの数値は被験者 D

の数値の 1 SD 以内の範囲に入っていた。引き込みモデルの舌幅の変位は 0.26 mmであった。被験者 D の舌幅の変位は-0.11mm (SD1.37) であり (表 4.3), シミュレーションの数値は被験者 D の数値の 1SD 以内の範囲に入っていた。以上より, シミュレーション結果は測定結果と矛盾のない数値を再現していると考えられる。

中央寄せモデルの下顎歯茎-舌尖歯茎間の距離の変位は 1.67 mmであった。測定実験データにおける中央寄せ代表の被験者 B の下顎歯茎舌尖歯茎間の距離の変位は 3.18 mm (SD3.84) であった (表 4.3)。シミュレーションの数値は被験者 B の数値の 1 SD 以内の範囲に入っていた。中央寄せモデルの舌幅の変位は-5.57 mmであった。被験者 D の舌幅の変位は-3.60mm (SD4.33) であり (表 4.3), シミュレーションの数値は被験者 D の数値の 1SD 以内の範囲に入っていた。以上より, シミュレーション結果は測定結果と矛盾のない数値を再現していると考えられる。

以上, 今回のシミュレーションでは開口運動の再現精度の問題があったものの, その影響を排除し, 開口モデルを基準に考えるならば, 引き込みは茎突舌筋 (SG) の筋活動の増大による後舌面の挙上不足の代償によるものであり, 中央寄せは横舌筋 (T) の筋活動の増大による後舌面の挙上不足の代償であるという解釈を支持する結果が得られたといえる。

また、引き込みモデルでは 0.26 mm 横幅が拡大していた。測定実験では舌幅が広がる被験者が、舌幅が短縮する被験者よりも多くみられたが、それも SG の筋活動の増大による代償運動の副次的効果により生じたものである可能性があると考えられた。引き込みモデルの横幅の拡大はわずかであった。今回のシミュレーション実験では引き込みの検討においては SG のみの活動を変化させて、T の活動は固定したままであったが、引き込みモデルの T の活動をより減少させ、その分 SG の活動を増大させれば、より舌の左右幅も増えていくことが予測される。

4.6 本章のまとめ

前章の測定実験では解剖・生理学的観点から、引き込みには SG の活動の増大が、中央寄せには T の活動の増大が関与していると考えた。これらの考えの蓋然性を検討するため、本章では Dang らの生理学的舌モデルを用いてシミュレーションを行った。開口運動の再現に問題があったが、その影響を排除した開口モデルを基準にて比較を行った結果、引き込みには SG が、中央寄せには T が関わっているという予測を支持する結果となり、また測定実験のデータとも大きな矛盾のない結果となった。

ただし、前述の科学の運動の問題に加え、前後の母音まで検討できなかった

め、シミュレーション結果の検証基準が、/aka/~/ako/の全ての音声資料の平均という比較的変動幅の広いものになってしまったことも本研究の問題点として挙げられる。今後は各母音も含めたシミュレーションの実施か、あるいは測定時に安静時に舌の状態に近い/e/を先行母音、後続母音にした測定を行い、シミュレーション結果と測定結果を比較しやすい実験デザインを構築していく必要がある。

第5章 おわりに

5.1 測定実験，シミュレーション実験のまとめ

Dysarthria 患者にみられた「引き込み」「中央寄せ」が健常発話者の代償運動にも見られるかどうかを検討した。引き込みは7名中6名と多かったのに対し、中央寄せは2名にしか見られず、むしろ左右の距離が拡大する被験者が5名と多かった。引き込みは SG の筋活動を增強することで後舌面の挙上を代償したため、中央寄せは T の活動增強により後舌面の挙上を代償したためであると考えられた。左右の幅の拡大は SG の活動增強の副次的効果により生じたものであると考えられた。

生理学的舌モデルによるシミュレーションでも、概ね上記機序と矛盾のない結果が得られた。今回のシミュレーションでは中央寄せモデルは横舌筋 (T) のみの增強によって作成されており、引き込みモデルは茎突舌筋のみの增強によって作成されていた。しかし、測定データには引き込みの度合いや、中央寄せの度合いには個人差があった。今後、SG と T の增強の配分なども検討して個人差まで再現できるか検討していく必要がある。

5.2 本研究の Dysarthria 臨床への示唆

本研究は、Dysarthria 患者の構音運動の異常の中の (1) 神経あるいは筋疾患そのものによる機能低下による運動異常, (2) 機能低下を補うための代償運動をいかに切り分けるかという問題意識から出発したものであった。そして、Dysarthria 患者にみられる「引き込み」「中央寄せ」が, (1) の要因のない健常被験者の代償運動にも見られるのかを検討し, 両者の切り分けを判断するための材料を得ることを目的としていた。

本研究では Dysarthria 患者にみられた引き込み, 中央寄せというパターンは健常発話者が後舌面の挙上不足を補う代償運動においても生じることが判明した。従って Dysarthria 患者における引き込み, 中央寄せも代償運動である可能性があるということになる。ただし, この結果は Dysarthria 患者の引き込み, 中央寄せが (1) によるものである可能性を排除するわけではない。あくまで, これまで Dysarthria 患者の運動異常において (1) と (2) の区別が曖昧に論じられてきたのに対し, (2) の可能性も考慮する必要があるということを確認したに過ぎないことに注意する必要がある。

5.3 本研究の限界と今後の展開

本研究では健常被験者の代償運動を誘発するために, 2 種類の方法で開口位を

保持した状態での発話を促し、後舌面の必要挙上範囲を拡大するという方法をとった。舌圧子条件には舌圧子の刺激による舌の後退、最大開口条件には舌骨の移動に伴う舌の後下方への引き込みが影響している可能性が考えられたが、それについては3.3.4.節で検討をしそれらの要因は排除できると判断した。しかし、開口条件での発話と通常条件での発話には、他にも条件の違いがないとは言い切れない。本研究の結果は、厳密に言えば軟口蓋破裂音の代償運動一般を明らかにしたのではなく、あくまで「開口条件下での代償運動」というある特殊な条件下での代償運動を明らかにしたに過ぎない。従って、本研究の開口条件下での代償運動と、Dysarthria 患者の通常発話時の代償運動をそのまま比較できるのかについても疑問が残る。

同じ運動課題を複数の方法で遂行する適応能力を、運動等価性（motor equivalence）という^[27,36]。例えば口唇を閉鎖する際には、口唇の挙上と口唇の土台となる下顎の挙上の両方の要素によって目標の位置まで口唇を挙上させる。その際の口唇の挙上の貢献と、下顎の挙上の貢献の比率には無数の組み合わせがあり、人間は状況に応じてその比率を変化させて柔軟に口唇閉鎖を達成している（図5.1）。

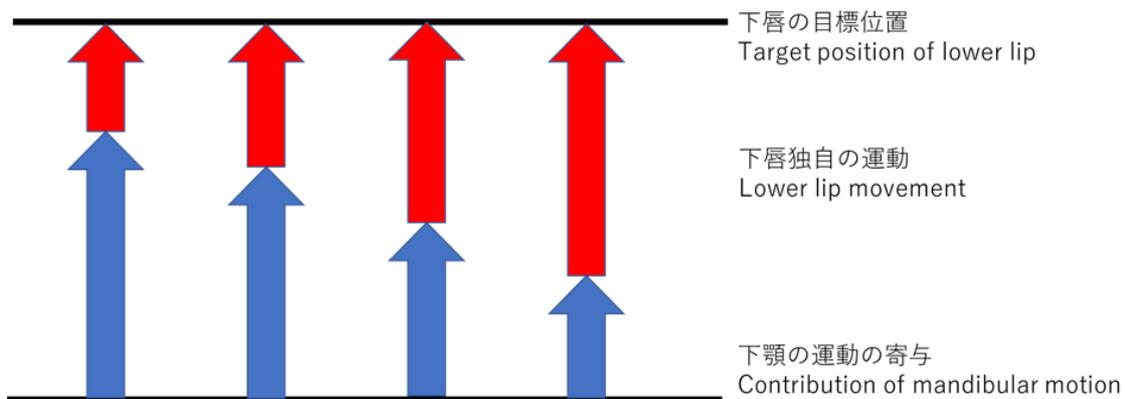


図 5.1：口唇閉鎖における運動等価性

鎗木編著（2010） pp.176 の図 4.9 を基に作成^[37]

軟口蓋破裂音においても同様に、複数の運動が相補的に協調しながら後舌面を挙上させているとも考えられ、本研究は後舌面の挙上の中の下顎の貢献比率を小さく固定し、それ以外の要素（SG の活動や T の活動）を抽出したとも解釈できる。そう考えるならば、後舌面の挙上に関わる他の要素をコントロールした実験を行い、どのような要素が関わり、どのような条件でその比率がどう変化するかを解明できれば、通常の発話も本研究における代償運動も、構音障害患者の運動障害も、全て統一的な基盤で説明可能になることが期待できる。今後は、より一般的な「運動等価性」という枠組みでの研究に展開して行く必要がある。

参考文献

- [1] 城生佰太郎,福森貴弘, 斎藤純男編著, 音声学基本辞典, 勉誠出版(2011)
- [2] 阿部雅子, 構音障害の臨床, 金原出版(2003)
- [3] 荻安誠, 椎名英貴, 神経原性の発話(発声発語)障害(dysarthria)の定義と用語, 音声言語医学, Vol.40, No.4, pp.279-285(2019)
- [4] 荻安誠, 神経原性発声発語障害, 医歯薬出版株式会社(2017)
- [5] 熊倉勇実編著, 言語聴覚療法シリーズ9 運動障害性構音障害, 建帛社(2001)
- [6] 日本脳卒中学会脳卒中ガイドライン委員会編, 脳卒中ガイドライン 2015(追補 2017 対応), 協和企画(2017)
- [7] 朱春躍, 波多野博顕, MRI 動画撮像により観察した日本語音節連鎖における調音結合, 音声研究, 14(2), 45-56(2010)
- [8] Catford J.C., A Practical Introduction to Phonetics Second Edition, Oxford University Press(2001),(竹林滋他訳『実践音声学入門』大修館書店, 2006)
- [9] 古川政樹, 古川まどか, 伊藤元信, 口腔・咽頭造影による舌癌術後代償構音

- の検討—/k/音について—, リハビリテーション医学, Vol.33, No.2, pp.115-119,(1996)
- [10] 中村哲也, 藤原百合, /s//t//k/の母音環境における調音結合の定量的評価, リハビリテーション科学ジャーナル, No.12, pp.63-77,(2016)
- [11] 日本聴能言語士協会講習会実行委員会編, アドバンスシリーズコミュニケーション障害の臨床 4 運動性構音障害, 協同医書出版社(2002)
- [12] 西尾正輝, ディサースリアの基礎と臨床 第3巻臨床実用編, インテルナ出版(2006)
- [13] 廣瀬肇, 柴田貞雄, 白坂康俊, 言語聴覚士のための運動障害性構音障害, 医歯薬出版(2001)
- [14] 古川政樹, 古川まどか, 伊藤元信, 口腔・咽頭造影による舌癌術後代償構音の検討—/k/音について—, リハビリテーション医学, Vol.33, No.2, pp.115-119,(1996)
- [15] 品川英朗, 小野卓史, 他, MRI movie による口唇口蓋裂患者の調音運動計測—言語臨床への応用—, 信学技報, SP2002-189, pp.7-12,(2003)
- [16] 立本圭吾, 鈴木敏弘, 他, 下顎動静脈奇形治療後の舌欠損—構音の代償動作と可塑性について—, 音声言語医学, 40, pp.120-125(1999)
- [17] 北村達也, 磁気センサシステムによる調音運動のリアルタイム計測, 日本

音響学会誌, 第 71 卷, 10 号, pp.526-531(2015)

- [18] Wilson I., Kanda S., Pre-speech Postures of Second-Language versus First-Language Speakers, *Journal of the Phonetic Society of Japan*, Vol.18, No.2, pp.106-109(2014)
- [19] Northern Digital Inc., Wave User Guide, Northern Digital Inc.(2016)
- [20] 北村達也他：発話運動観測システム NDI Wave のセンサの改良, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MUS-99 No.7, 1-6, 2013
- [21] 三谷巧, 尾下克樹, 他, 開口制約に基づく発話訓練法の効果, 日本音響学会講演論文集, pp.389-390(2017)
- [22] Mallampati S R., A clinical sign to predict difficult tracheal intubation : a prospective study, *Canada Anesthetic's Journal*, 32, 4, pp.429-434(1985)
- [23] Takemoto H., Morphological Analyses of the Human Tongue Musculature for Three-Dimensional Modeling, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, Vol.44, pp.95-
- [24] 竹本浩典, 舌変形が生み出す音声の共通性と個人性, *ディサースリア臨床研究*, Vol.6, No.1, pp.41-46(2016)
- [25] Honda K., Organization of tongue articulation for vowels, *Journal of Phonetics*, 24, pp.39-52(1996)
- [26] Smith K K., Kier W M., Trunks, tongues, and tentacles: Moving with skeletons of muscle. *American Scientist*, 77, pp.28-35(1989)
- [27] 本多清志, 実験音声科学 音声事象の成立過程を探る, コロナ社(2018)
- [28] Willard R. Zemlin : "Speech and hearing science anatomy and Physiology 4thed", 1997(館村卓監訳, ゼムリン言語聴覚学の解剖生理 原著第 4 版,

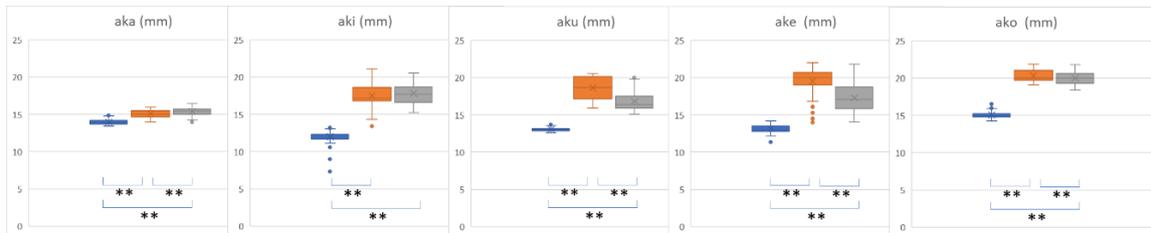
医歯薬出版 2007)

- [29] 高野佐代子, 本多清志, 磁気共鳴画像法に基づく母音発声時の舌筋の筋長測定, 音楽情報科学, 39,21, pp.145-152(2001)
- [30] 小池康夫編, 音声治療学—音声障害の診断と治療, 金原出版(1999)
- [31] 武藤寿孝, 川上譲治, 他, 顎関節運動における臨床的, X線学的研究—最大開口運動時における舌骨の移動—, 日本口腔外科学会雑誌, 42 巻, 4 号, pp. 722-728(1993)
- [32] Dang J, Honda K, Estimation of vocal tract shapes from speech sounds with a physiological articulatory model, Journal of Phonetics, 30, pp.511-532(2002)
- [33] Fujita S. et al., A Computational Tongue Model and its Clinical Application, Oral Science International, November 2007, pp.97-109(2007)
- [34] 藤田覚, 3次元生理学的舌モデルを用いた舌の健常時及び部分切除手術後の運動に関する研究, 北陸先端科学技術大学院大学 博士論文(2008)
- [35] 高野佐代子, 本多清志, 磁気共鳴画像法に基づく母音発声時の舌筋の筋長計測, 音楽情報学, 39-21, pp.145-152(2001)
- [36] Perrier P, Fucks S, Motor Equivalence in Speech Production, Edited by Redford M A., The Handbook of Speech Production, WILEY Blackwell, 225-247(2015)
- [37] 楠木時彦編著, 音声生成の計算モデルと可視化, コロナ社(2010)

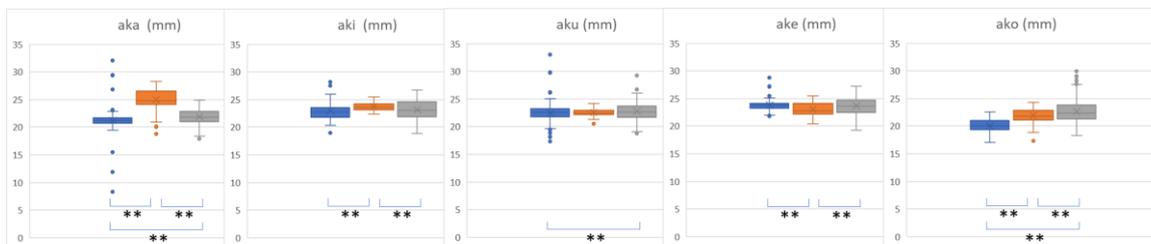
添付資料 各被験者の箱ひげ図

被験者 A : 20 代女性

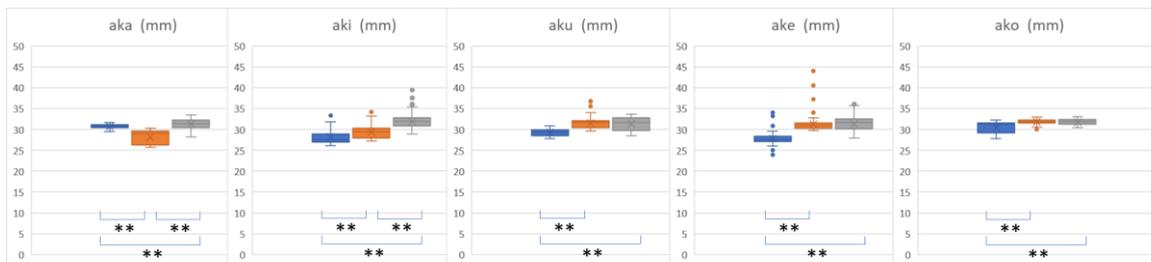
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



前後間距離



* : P<0.05

** : P<0.01

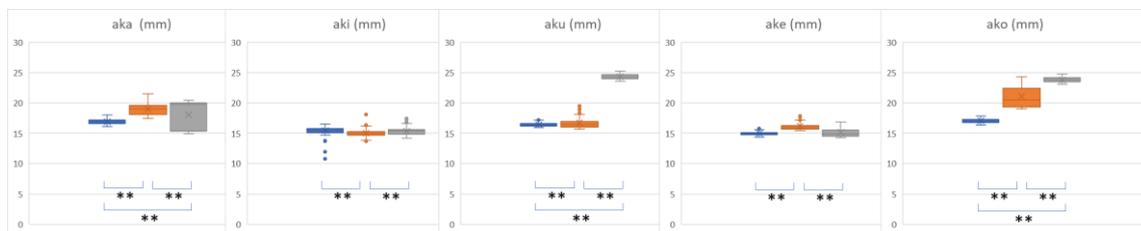
青色 : 通常条件

オレンジ色 : 舌圧子条件

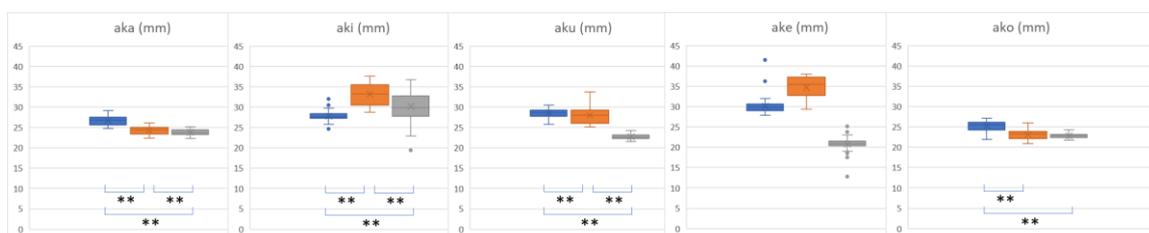
灰色 : 開口条件

被験者 B : 20 代 男性

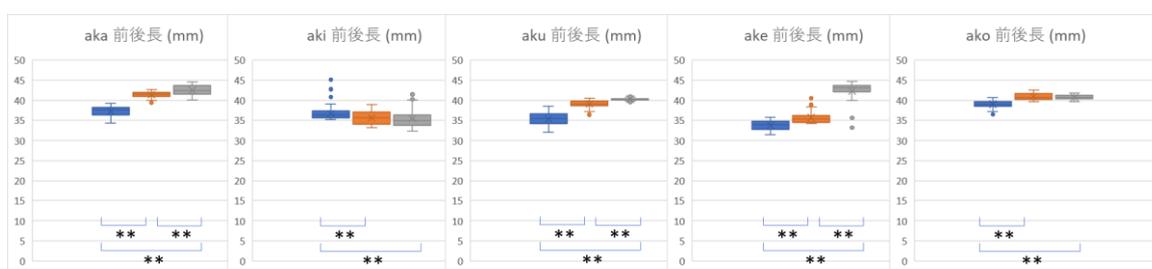
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



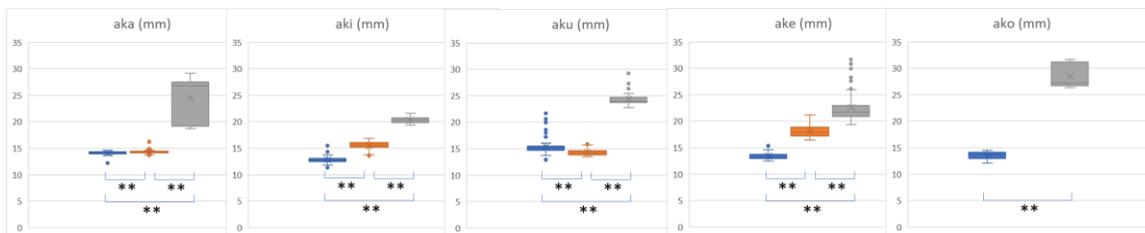
前後間距離



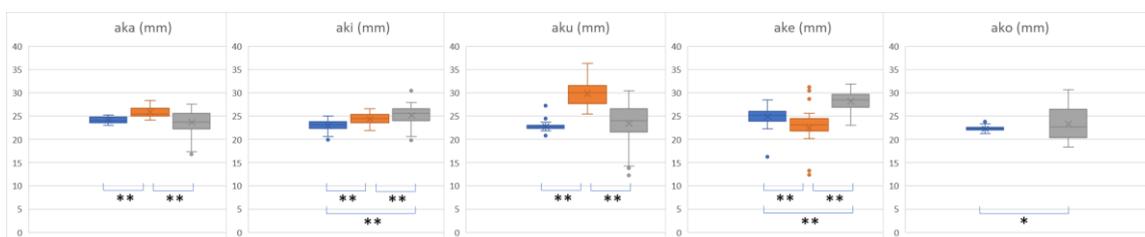
青色 : 通常条件
 * : P<0.05
 オレンジ色 : 舌圧子条件
 * * : P<0.01
 灰色 : 開口条件

被験者 C : 20 代男性

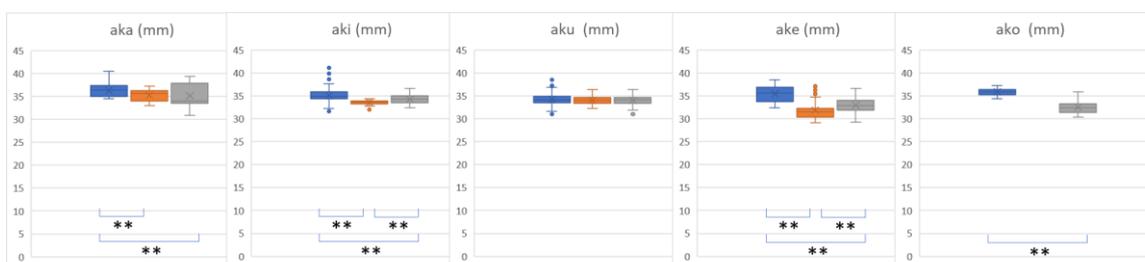
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



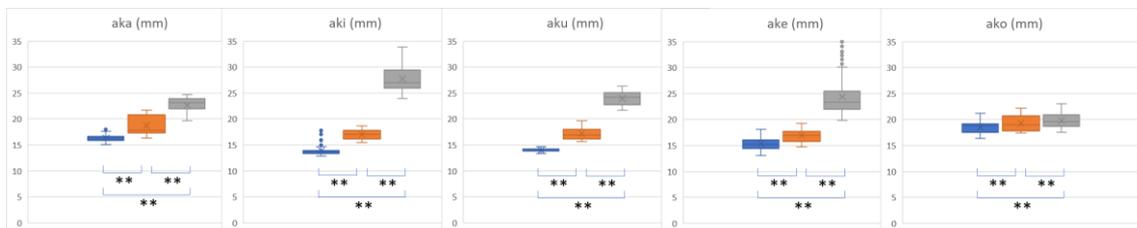
前後間距離



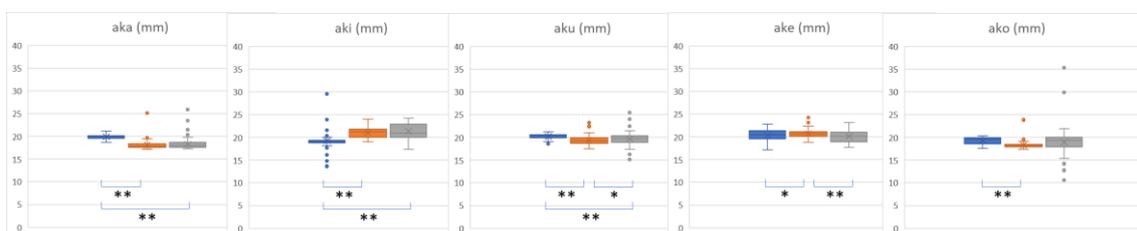
青色 : 通常条件
 * : P<0.05
 オレンジ色 : 舌圧子条件
 ** : P<0.01
 灰色 : 開口条件

被験者 D : 20 代 男性

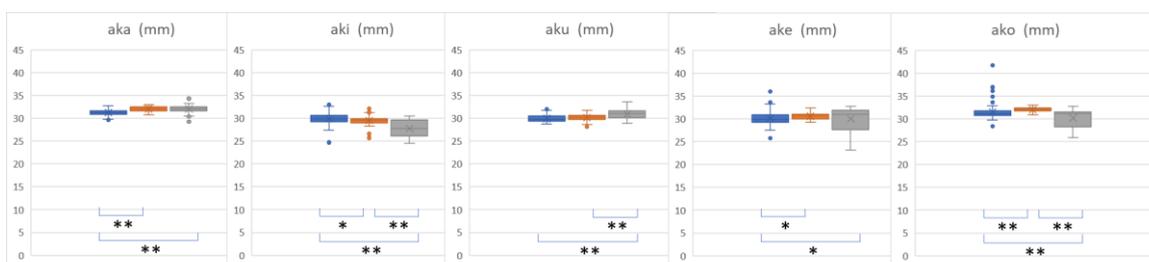
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



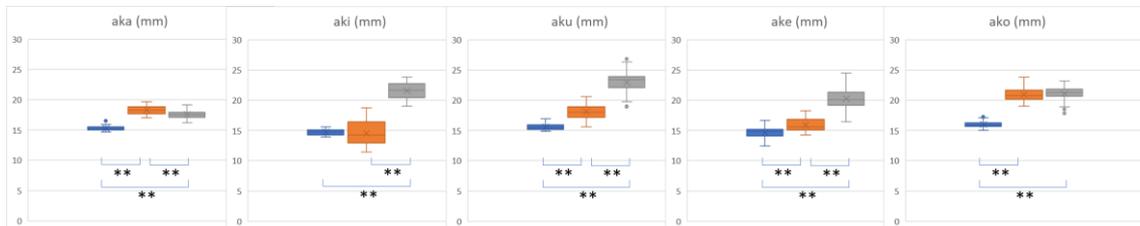
前後間距離



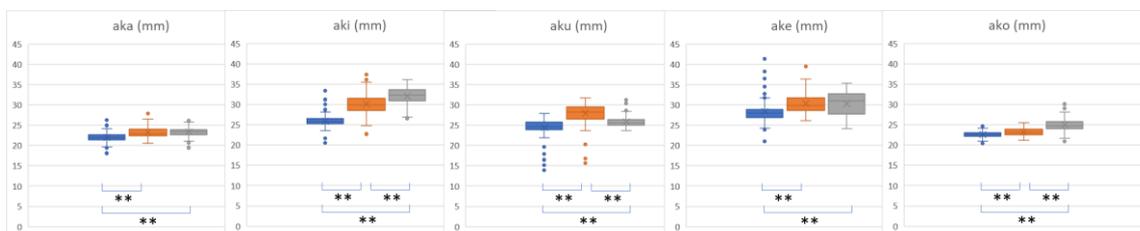
青色 : 通常条件
 * : P<0.05
 オレンジ色 : 舌圧子条件
 ** : P<0.01
 灰色 : 開口条件

被験者 E : 20 代男性

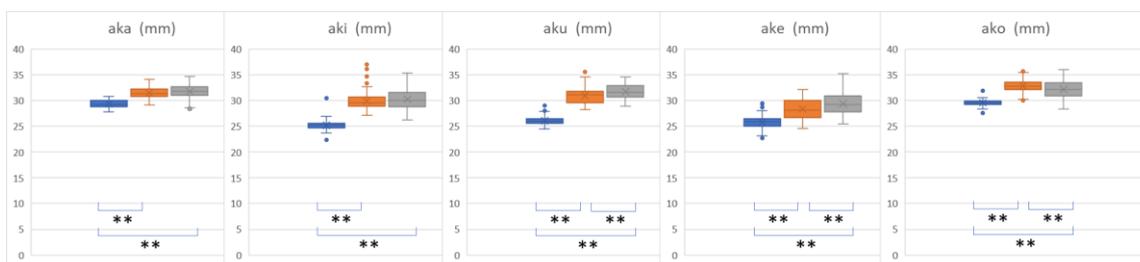
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



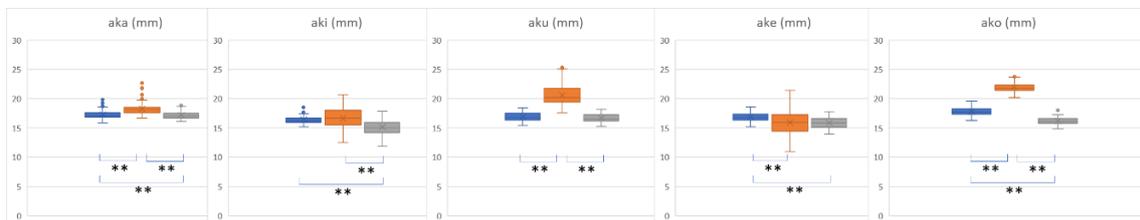
前後間距離



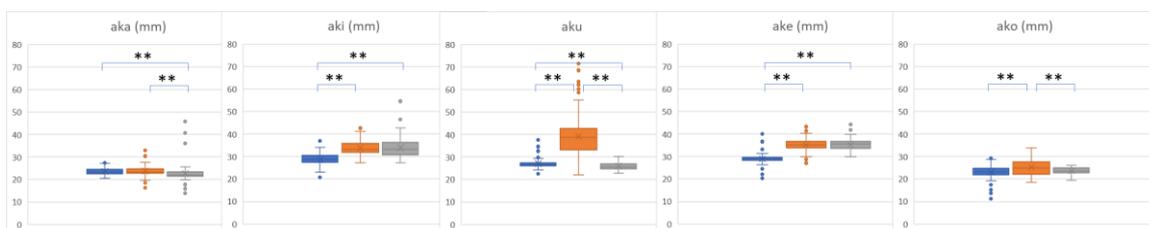
- 青色 : 通常条件
- * : P<0.05
- オレンジ色 : 舌圧子条件
- ** : P<0.01
- 灰色 : 開口条件

被験者 F : 20 代男性

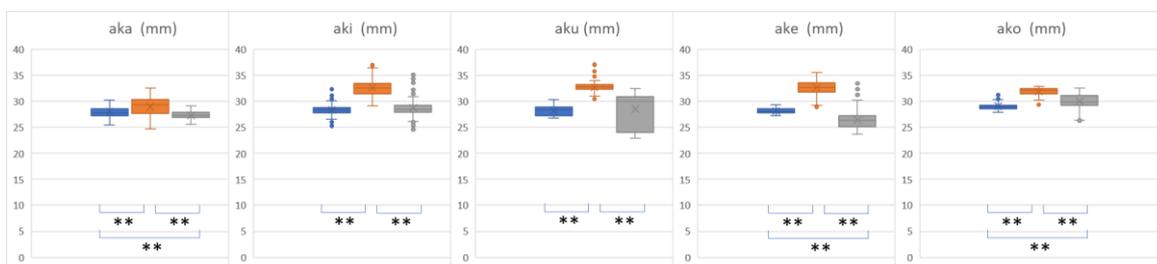
下顎歯茎-舌尖間距離



左右間距離



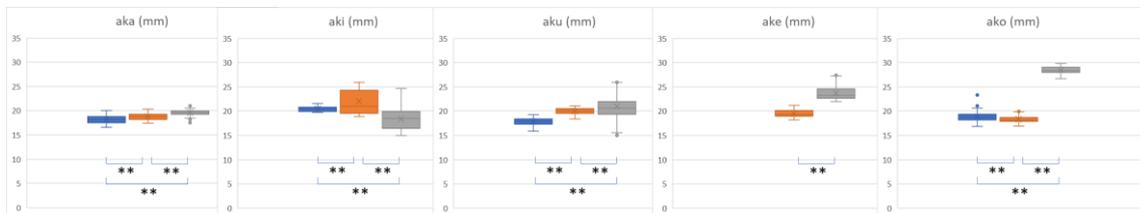
前後間距離



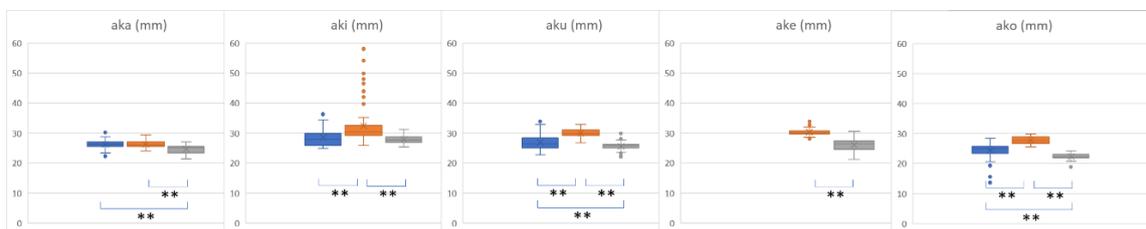
- * : P<0.05
- ** : P<0.01
- 青色 : 通常条件
- オレンジ色 : 舌圧子条件
- 灰色 : 開口条件

被験者 G : 20 代男性

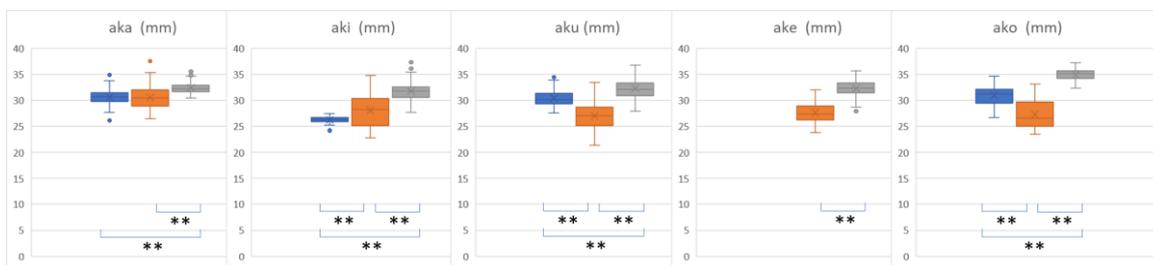
下顎歯茎舌尖間距離



左右間距離



前後間距離



青色 : 通常条件
 * : P<0.05
 オレンジ色 : 舌圧子条件
 * * : P<0.01
 灰色 : 開口条件