■特 集<構音の評価>

構音時の舌筋機能

——Tagging MRI Movie を用いた研究——

熊田 政信¹⁾ 正木 信夫²⁾ 本多 清志²⁾ 島田 育広³⁾
 森 浩一⁴⁾ 新美 成二¹⁾

要 約: Tagging MRI movie は, Synchronized sampling method に Tagging snapshot MRI を併せ用いた新しい手法で, 自然な発話速度での舌外部および内部形態を動画として画像化し, 発話にともなう筋収縮の動的な変化を推測できる。本手法を用いた日本語話者 1 名の /tata/ および /kaka/ の発話のデータから, 上縦舌筋とオトガイ舌筋前部が, 舌体を前下位に動かすことに関しては共力筋, 舌尖の前上/後下方向の動きに関しては拮抗筋として働くことが示唆された。この様に, 本手法は, 発話時の舌形態と筋収縮との関連を動的にとらえ, 各舌筋の機能の推測に役立つこと, ひいては, 構音障害のリハビリテーション等に還元できる貴重な情報をもたらすことが期待される。

索引用語: Tagging MRI Movie, Synchronized Sampling Method, 構音障害, 舌筋, 評価

Function of Tongue-Related Muscles during Speech

——A Tagging MRI Movie Study——

Masanobu Kumada¹⁾, Shinobu Masaki²⁾, Kiyoshi Honda²⁾, Yasuhiro Shimada³⁾,
 Koichi Mori⁴⁾, Seiji Niimi⁵⁾

Abstract: This study introduces the “tagging MRI movie”, a new method which combines the synchronized sampling method and tagging snapshot MRI. With this method, both the outer and inner configurations of the tongue during speech are visualized as a movie, and contraction of tongue-related muscles during speech can be estimated. Using data for /tata/ and /kaka/ produced by one Japanese-speaking male subject, we estimated that the superior longitudinalis and the anterior part of the genioglossus muscles synergically move the tongue-body antero-inferiorly, and antagonically move the tongue-tip antero-

東京大学音声言語医学教室¹⁾: 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

ATR 人間情報通信研究所²⁾: 〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 2-2

高の原中央病院³⁾: 〒631-0805 奈良市右京 1-3-3

国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所感覚機能系障害研究部⁴⁾: 〒359-8555 所沢市並木 4-1

¹⁾Department of Speech Physiology, University of Tokyo: 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033

²⁾ATR Human Information Processing Research Laboratories: 2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun Kyoto 619-0237

³⁾Takanohara Chuo Hospital: 1-3-3 Ukyo, Nara 631-0805

⁴⁾Department of Sensory and Communicative Disorders, Research Institute of National Rehabilitation Center for the Disabled: 4-1 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-8555

e-mail: kumada@sol.dti.ne.jp

原稿受理: 2000 年 2 月 15 日

superiorly/postero-inferiorly. This new method can be used to acquire information with on the function of tongue muscles during speech, which is very important for clinical matters such as rehabilitation of dysarthria.

Key words : tagging MRI movie, synchronized sampling method, dysarthria, tongue related muscles, evaluation

はじめに

構音の評価は主に3つのレベル(手技)で行われている。すなわち、筋収縮のレベル(筋電図等^{1~10)}、構音器官の形態(いい替えれば声道形態)のレベル(各種画像的手法^{11~15)}、音声のレベル(音響分析、聴覚印象的評価法¹⁶⁾など)である。これらの評価が互いに補いあって、より正確で実用的な評価、すなわち、治療やリハビリテーションに還元されうる構音評価となる。しかし、これら3つのレベルのデータを関連づけるためには、構音器官に関連した筋肉の機能を知ることが必要である。すなわち、筋の収縮が、声道形態をどのように変化させ、結果的にどのような音声が生じるかという因果関係を各筋において知る必要がある。そして、構音器官中最もそういう知識が不足しているのが舌である^{6,10,17)}。

舌は構音においてきわめて重要な役割を持つが、それは、舌がその位置や形態をすばやく多彩に変化させることができるからである。そのような舌の自在な動きや形態の多彩さは、舌関連筋群^{18,19)}(4つの内舌筋および3ないし4つの外舌筋)の活動によるものであるが、舌の位置や形態への各舌筋の関与、すなわち舌筋の機能については不明な点が多かった。これには主に二つの理由が考えられる。

一つには、舌の形態を表現するパラメータを決めるのが困難であることによる。舌が非常に多彩な形態をとりうるため、正確に形態を表現しようとするパラメータの数が多くなり、実用性に欠ける複雑さを呈することとなる。また、舌が、下顎骨や舌骨などの構造物に付着しており、舌形態パラメータがこれらの構造物の位置変化の影響を受けざるをえないため、舌固有の形態パラメータが決められないという事情がある。

もう一つの理由は、舌関連筋の多さと、その走行の複雑さによる。すなわち、各筋の収縮の度合から舌形態を導く関数、あるいはその逆関数が求めづらい。また、お互いに絡み合うような筋走行によって、純粋な筋電図がとれない、すなわち筋活動が求められない筋が存在する²⁰⁾。

これらの問題点を解決すべく、Kumada et al. (1998)²¹⁾は、舌内部形態の変位を画像化する Tagging

snapshot MRI^{8,20,22~26)}を用いた日本語5母音持続発話のデータ^{8,20,23)}をもとに、舌筋の収縮の程度を推測し、舌の最高点と最後点を舌の形態パラメータとして選び、各舌筋の機能をかなり詳細に記述することに成功した²¹⁾。

Tagging snapshot MRI では、撮影時間1秒弱という時間制限から、対象は持続母音に限られており、いわば静的なデータの解析である。そこで、本研究においては、Tagging MRI movie とでも呼ぶべき動的な新しい手法を紹介し、自然な発話速度における子音や母音の形態と筋収縮につき解析する。Tagging MRI movie は、Masaki et al. (1999)²⁷⁾による Synchronized sampling method に Tagging snapshot MRI の手法を併せ用いる手法で、発話時の舌形態の dynamic な変化と、それにともなう内部形態の変化を画像化することによって、発話時の筋収縮に関する dynamic な情報を得ることができる。つまり、これまで観察できなかった子音、たとえば破裂音におけるデータや、音環境による舌筋収縮の相違(同じ音素でも、その前後の音素によってその舌形態を異にする)などをみることができる。各舌筋の機能の推測に役立つそれらの情報は、構音障害のリハビリテーション等に還元できる貴重な情報をもたらすものと思われる。

方 法

1. 被験者

40歳代の東京方言話者健康男性1名とした。

2. 撮影法

Tagging snapshot MRI^{8,20,22~26)}は、磁気的な標識 tag をつけて舌内部の組織の偏位を画像化する技術であるが、Synchronized sampling method²⁷⁾と組み合わせることで、動画としての撮影(Tagging MRI movie)が可能になる。

1) 機器

本実験装置のシステム²⁷⁾は、MRI 装置本体(島津社製 SMT-100 GUX (1 T))に接続された MR scan controller を、Timing synchronizer (DAT データレコーダ (SONY 社製 PC-108 M)+オーディオアンプ (SONY 社製 TA-F 37 R)+オーディオスピーカ (三菱電機社製 DIATONE DS-107 V(B)))にて時間的に

制御するものである。Timing synchronizer は、MR scan controller に scan trigger を与えるとともに、被験者に対して、発話の cue となる timing tone burst を発する。

2) 撮影のタイミング

Field echo 法を用いて、撮影条件は、FOV=258.1 mm×258.1 mm, TR=25 ms, TE=12 ms, NEX=2, スライス厚=8 mm であった。Tag の格子は、水平方向、垂直方向とも、格子間隔は 7 mm, 格子の太さは 3 mm とした。

1 つの session は連続する 128 periods からなっており、1 period (1000 ms) ごとに tag をかける。同一発話課題を各 period ごとに同一タイミングで 1 回、計 128 回繰り返す。各 period において、1 time-phase (25 ms) ごとに 37 time-phases にわたって画像情報を取り込む (図 1)。同じ time-phase において取り込まれた 128 periods 分の情報を合成することにより、各 time-phase のフレーム (256×125 pixels) を得る。つまり、各 period の各 time-phase においては、1 つのフレームを得るために必要な情報のうちの 128 分の 1 の情報のみ取り込まれる。発話課題を全 period において同一形態、同一タイミングで達成できれば、得られたフレーム列 (第 1~第 37 フレーム) は、25 ms おきに撮影された 37 枚の画像からなる movie と等価な情報となる。

3. 課題

発話課題は、自然な速度での /tata/ および /kaka/ の発話とし、それぞれ 1 撮影セッションずつ行った。両セッションは連続セッションであり、被験者の頭位は 2 セッション間で変化していなかった。1 撮影セッションあたり 128 回 (各 period あたり 1 回)、同一発話課題を繰り返した。聴覚的な cue は Timing synchronizer が発する Timing tone burst (純音 1000 Hz, 持続時間 100 ms, 各 period の 300 ms と 600 ms の 2 回提示) とし、発話課題の先頭の破裂子音の破裂が、各 period の第一画像の直後にくるように同期させた。撮影前に課題の練習を行い、タイミングのずれがないようにした。発話課題間の息つぎの際には、被験者の構音器官は reference position (r.p.) をとった。すなわち、閉口させ、舌尖舌背ともに口蓋に接触させるようにした。

4. 解析法

1) 画像の定性的な観察

得られたフレーム列 (図 2) を、Macintosh 社 iMac 上に取り込んだ。それを、NIH Image にて読み込み、各フレームを静止画像として、あるいは、“Animate” command を用いてフレーム画像列を動画として、舌および軟口蓋の位置や動きを定性的に観察した。また、各フレームにおいて、舌尖あるいは舌背が口蓋に接触しているか否かを調べた。

図 1 Tagging MRI Movie による撮影のタイミング。1 period (1000 ms) ごとに tag をかけ、各 period において、1 time-phase (25 ms) ごとに 37 time-phases にわたって画像情報を取り込む。同一発話課題 (自然な速度での /tata/ あるいは /kaka/ の発話) を各 period ごとに同一タイミングで、計 128 回繰り返す。聴覚的な cue は Timing tone burst (純音 1000 Hz, 持続時間 100 ms, 各 period の 300 ms と 600 ms の 2 回提示) とし、発話課題の先頭の破裂子音の破裂が、各 period の第一画像の直後にくるように同期させた。r.p. : reference position

図2 Tagging MRI Movie によって得られた、/tata/ (上段)、/kaka/ (下段) における各音素 (太文字にて示す) 構音時の矢状断正中面画像。各画像の下にフレーム番号を示す。1 フレームは 25 ms, 第 1 フレームの格子間隔は 7 mm, 太さは 3 mm

2) パラメータによる解析

次にそれらのフレーム列を Canvas (Deneba) 上に取り込んで、以下のようなパラメータを求め、それらをもとに解析を行った。パラメータによる解析は、tagging による格子線が追跡可能な第 1 フレームから第 13 フレームまでにおいて行った。

舌外部形態パラメータの抽出。Canvas 上に取り込まれたフレームから、舌外部形態パラメータの抽出を行った。すなわち、各フレームから、舌尖の最先端点 (TT), 舌背における最高点 (H), 舌根における最後点 (P) を目視にて抽出し、それぞれの点の x 座標, y 座標を測定した (図 3)。

筋収縮パラメータの抽出。舌の筋走行に関する先行研究^{19,20)}をもとに、舌が r.p. のかまえをとった時のフレーム (/tata/ における第 29, /kaka/ における第 31 フレーム) においてオトガイ舌筋と上縦舌筋の筋走行を同定し、筋走行に沿って 3 本の線を引いた (GGa (オトガイ舌筋の前部に沿った線), GGp (同後部), SL (上縦舌筋))。/tata/, /kaka/ それぞれにおいて第 37 フレームまでこれらの筋走行を追跡し、第 1 フレームにおいて、それらの線をオーバーレイした。すなわち、GGa, GGp, SL を書き込んだ (図 3)。次に、それらの線を第 2 から第 13 フレームまでの画像において、tagging による格子の相同部位を通る様に変形して再現した。各フレームにおいてこれらの線の長さを、Canvas の Object Spec コマンドを用いて測定した。

結 果

1. 画像の定性的な観察

/tata/ および /kaka/ の各音素構音時に相当するフレームを図 2 に示す。以下、各音素について記述する場合、当該音素を太文字にて示すこととする。たとえば、tatA は、/tata/ における 2 番目の /a/ を表わすものとする。

1) /tata/ (図 2 上段)

第 1 フレーム (図 2 a) において口蓋に接触していた舌尖は、第 2 フレームにおいて口蓋から離れ、第 3 フレーム (図 2 b) においてより低い位置を取った後、第

図3 /tata/の第1フレームにおける形態学および筋収縮パラメータの抽出。舌尖の先端点(TT)、舌最高点(H)、舌最後点(P)、オートガイ舌筋前部、後部、上縦舌筋に沿った線(それぞれGGa, GGp, SL)

4フレームより上昇を始めた。このことより、第3フレームにおける舌形態を tAta 構音の target に最も近いものとみなした(図2b)。その後、第5フレームにおいて再び口蓋に接触した舌尖は第8フレームにおいて離れ、第11フレームにて最も低い位置を取った後(図2d)、第12フレームより上昇を開始した。このことより、第11フレームにおける舌形態を tatA 構音の target に最も近いものとみなした(図2d)。第1フレームを Tata 構音時、第2から第4フレームまでを tAta 構音時、第5フレームから第7フレームまでを taTa 構音時の画像とみなした(図2cに taTa 構音時の第6フレームの画像を示す)。

一方軟口蓋は、第1フレームから第7フレームまで最も高い位置を持続的に取った後、第8フレームより下降を開始し、第13フレームにおいて咽頭壁より離れた。このことより、第13フレームを r.p.の開始とみなし、第8から第12フレームまでを tatA 構音時とみなした。

tAta と tatA の代表例、すなわち、第3フレームと第11フレームとを比較すると、前者における方が、舌尖、舌背とも高い位置をとった。これは、舌尖、舌背の高さという面では、tAta における舌形態の方が、tatA におけるそれよりも t により近いと記述できる。

第12フレーム以降上昇を続けた舌尖は、舌背とともに

に第25フレームから第34フレームにおいて最も高い位置を持続した。また、第30フレームにおいて、開放していた軟口蓋の挙上を開始された。このことから、第29フレームにおける舌形態を r.p.の構えの代表的なものともみなした。第35フレームにおいて再び咽頭壁と接触した軟口蓋は、第37フレームにおいて、第1から第7フレームまでと同様の最も高い位置を取った。このことより、第37フレームを Tata 構音の開始とみなした。

2) /kaka/ (図2下段)

第1フレーム(図2e)において口蓋に接触していた舌背は、第2フレーム(図2f)において口蓋から離れ、第3フレームにおいて再び口蓋に接触した。これらのことより、第1フレームを Kaka、第2フレームのみを kAka、第3フレーム以降を kaKa のそれぞれ構音時とみなした。

その後、舌背は第7フレームにおいて離れた。このことより、第6と第7フレームの間で舌背口蓋間の閉鎖の解放、すなわち破裂という構音動作が行われたと考えられ、第3から第6フレームまでを kaKa 構音時とみなし(図2gに第6フレームの画像を示す)、第7フレーム以降を kakA 構音時とみなした。

その後、舌背は第9から第11フレームにてほぼ定常な位置を取った後、第12フレームより後退を開始した。これらのことより、第10フレームにおける舌形態を kakA 構音の target に最も近いものとみなした(図2h)。

一方軟口蓋は、第1から第7フレームまで最も高い位置を持続的に取った後、第8フレームより下降を開始し、第13フレームにおいて咽頭壁より離れた。このことより、第8から第12フレームまでを tatA 構音時とみなした。

kAka, kakA 構音のそれぞれの target に最も近い舌形態、すなわち、第2と第10フレームを比較すると、前者における方が、舌背が高前位をとった。これは、舌背の位置という面では、kAka 構音時における舌形態の方が、kakA 構音時におけるそれよりも k により近いと記述できる。

第32フレームにおいて、開放していた軟口蓋の挙上を開始された。このことから、第31フレームにおける舌形態を r.p.の構えの代表的なものともみなした。第36フレームにおいて再び咽頭壁と接触した軟口蓋は、第37フレームにおいて、第1から第7フレームまでと同様の最も高い位置を取った。このことより、第37フレームを Kaka 構音の開始とみなした。

3) /tata/, /kaka/ の比較

特に目立つのは, tAta と kAka 構音時の舌形態の相違である. すなわち, 後者における方が, 舌背が高前位にあり, 舌尖も後方にあった. これは, 同じ/a/の構音であっても, tAta 構音時における舌形態は/t/に近く, kAka 構音時におけるそれは/k/に近いと記述できる.

2. パラメータによる解析

1) /tata/における各パラメータ (図4 黒印)

筋収縮パラメータをみると, 上縦舌筋に沿った線 (SL) と, オトガイ舌筋前部, 後部に沿った線 (それぞれ GGa, GGp) とがほぼ逆位相でその長さを変化させた. すなわち, SL は/t/よりも/a/において短縮し,

図4 /tata/ (黒印) および/kaka/ (白ぬき) 構音時における, 筋収縮パラメータ (SL, GGa, GGp) および舌形態パラメータ (TT, H, P) の, 第1から第13フレームまでの変化. 斜線部は子音部を表す. SL (上縦舌筋に沿った線の長さ), GGa (同じくオトガイ舌筋前部), GGp (同じく後部) の表示は, 下方方向が短縮を表す. TT (舌尖先端点), H (舌体最高点), P (舌体最後点) の表示は, x 座標 (TTx, Hx, Px) は上が後方向, y 座標 (TTy, Hy, Py) は上が上方向への移動を表す

GGa および GGp は, /a/ よりも /t/ においてより短縮した.

舌尖の先端 (TT) の位置変化は, 上記筋収縮パラメータ (SL, GGa, GGp) の変化と同様, 音素ごとに变化した. すなわち, /t/ においてはより前上方向に, /a/ においてはより後下方向に移動した.

舌背の最高点 (H) は, tAta において, 先行する Tata よりも後下方向に移動し, また, tatA において, 先行する taTa よりも後方向に移動したが, tAta から taTa における位置変化はそれらの移動距離に比べて小さかった.

舌根の最後点 (P) は, taTa において, 先行する tAta よりもわずかに下方向に移動し, また, tatA において, 先行する taTa よりも後下方向に移動したが, Tata から tAta における位置変化はそれらの移動距離よりも小さかった.

2) /kaka/における各パラメータ (図4 白ぬき)

筋収縮パラメータをみると, SL と GGa とがほぼ音素ごとにその長さを変化させた. すなわち, SL, GGa とともに /k/ よりも /a/ においてより短縮した. GGp は, SL, GGa に比べて全般にあまり目だった長さの変化は示さなかった.

舌背最高点 (H) は, kakA において先行する kaKa よりも前下方向に移動したが, Kaka から kAka を経て kaKa までの位置変化はそれに比べて小さかった. 舌根の最後点 (P) は, kaKa において, 先行する kAka よりも前上方向に移動し, また, kakA において, 先行する kaKa よりも後下方向に移動したが, Kaka から kAka における位置変化はそれらに比べて小さかった.

舌尖の先端 (TT) は, Kaka から kakA の全般にわたって, H や P に比べあまり位置変化しなかった.

3) 筋収縮パラメータの, /tata/, /kaka/ 間での比較 (図4)

筋収縮パラメータの, /tata/, /kaka/ 間での比較では, SL は全般的に, また, GGa は2番目の/a/ののぞき, /tata/ において /kaka/ の時よりも短かった. GGp の全般と, GGa の2番目の/a/ においては長さが /tata/, /kaka/ 間ではほぼ同程度であった.

4) 舌形態パラメータの, /tata/, /kaka/ 間での比較 (図4)

TT は2番目の/a/ののぞき, /tata/ において /kaka/ の時よりも前上位にあった. また, 2番目の/a/ においては /tata/ と /kaka/ とにおいてほぼ同位置であった.

H は2番目の/a/ののぞき, /tata/ において /kaka/

の時よりも前下位にあった。また、2番目の/a/においては/tata/において /kaka/よりも後下位にあった。

Pは2番目の/a/をのぞき、/tata/において/kaka/の時よりも前下位にあった。また、2番目の/a/においては/tata/において /kaka/よりもやや上位にあった。

考 察

同じ音韻でもその前後の音韻環境によりその舌形態が異なることは知られている事実である²⁷⁾。これは、構音器官が限られた時間制限のなかで、できるだけその動きを少なくしようとする経済的な現象であり、それを成り立たせるべく、各音韻の形態にはある程度の広がりがあり、また、知覚的には、文脈による補いが必要であるという背景がある。

本研究においても、/tata/、/kaka/それぞれの最初の/a/を比較すると、舌外部形態が異なることが見出されたが、同時にその舌の内部組織の偏位の違いを画像化することができた。そこで、音韻環境の構音に対する影響を、舌筋の収縮のレベルで解析することを試み、各舌筋の構音における機能につき考察を試みる。

舌形態パラメータは、/tata/においては最初の子音から2番目の子音まで常に、/kaka/の時よりもTTは前上位、Hは前下位、Pは前下位にあった(図4)。つまり、/tata/においては最初の子音から2番目の子音まで常に、/kaka/の時よりも舌尖は前上位、舌体は前下位にあったことになる。これはそれぞれの子音における舌形態を反映したものと考えられ、母音はそれを挟む子音の舌形態に近いものとなったことを意味している。

筋収縮パラメータは、/tata/においては最初の子音から2番目の子音まで常に、/kaka/の時よりもSL、GGaは短縮していた。GGpにおいては長さが/tata/、/kaka/間でほぼ同程度であった(図4)。

以上より、/t/において/k/の時よりも舌尖が前上位、舌体が前下位にあったことに、上縦舌筋とオトガイ舌筋前部の収縮が関与^{6,10,18)}していることが考えられる。tAtaにおけるそれらの持続的収縮が、tAtaにおける舌形態をkAkaにおけるそれよりも前上位舌尖および前下位舌体をとらせたものと考えられる。

舌体を前下位に動かすことに関する、上縦舌筋とオトガイ舌筋前部の収縮の関与は、/kaka/における筋収縮パラメータの変化からも裏付けられよう。すなわち、/kaka/においては、SLとGGaとがほぼ同位相で長さを変化させ、ともに/a/においてより短縮した。そして、SLとGGaの長さの変化にほぼ呼応してHが移

動した。すなわち、KakaからkAkaを経て、kaKaまでのHの位置変化はほとんど観測されなかったものの、kakAにおいてはより前下方向に移動した。KakaからkAkaを経て、kaKaまでのHの位置変化はほとんど観測されなかったのは、舌体を後上方向に引く茎突舌筋の拮抗する活動によるものと推測される。

舌尖の位置に関する上縦舌筋とオトガイ舌筋前部の筋収縮の関与は、舌体に関するそれよりもやや複雑である。つまり、/tata/における筋収縮パラメータをみると、SLとGGaとがほぼ逆位相で収縮の度合を変化させた。すなわち、SLは/a/においてより短縮し、GGaは/t/においてより短縮したが、これらの長さ変化の位相にはほぼ呼応して移動したのはTTであり、/t/においてはより前上方向に、/a/においてはより後下方向に移動した。すなわち、オトガイ舌筋前部が収縮することによって舌尖は前上方向にある¹⁰⁾が、その状態から上縦舌筋の収縮を強め、オトガイ舌筋前部の収縮を弱め、おそらく同時に茎突舌筋の活動が加わる¹⁰⁾ことにより舌尖を後下方向に移動させたと考えられる。SLが持続的に短縮していたことから、上縦舌筋が舌尖を後下方向に移動させると同時に、舌尖を固くし、舌尖の口蓋に対する閉鎖や解放の際のはじきをより明確にする機能があることが推測される。

本研究においては、Tagging MRI movieの手法によって、舌形態の動的な変化だけでなく、それにとまなう内部形態の変化を画像化した。そして、舌形態をいくつかの位置パラメータによって表わし、筋走行に沿った線の長さの変化から筋収縮を推測して、発話時の舌形態と筋収縮の関係に関する動的な情報を得ることを試みた。

舌形態を表わす位置パラメータとして、舌尖先端(TT)、舌体最高点(H)、舌体最後点(P)としたのは、これらの点において舌が声道内に狭めあるいは閉鎖を作る点として重要であると思われたからである。母音における研究としては、Kumada et al. (1998)²¹⁾が、舌体の最高点と最後点を舌の形態パラメータとして選び、各舌筋の機能をかなり詳細に記述した。本研究においては子音も扱うため、それら舌体の位置パラメータ以外に舌尖部の位置を表わすパラメータを新たに導入した。

Tagging snapshot MRIを用いて、筋走行に沿った線の長さの変化から筋収縮を推測する方法は、Kumada et al.²⁰⁾によって提唱された。続いて、Niimi et al.⁸⁾は、当方法によって推測された筋収縮の程度と、筋電図によって得られた筋活動の程度との間の高い相関を報告し、筋走行に沿った線の長さの短縮が、筋収

縮を反映することを示した。これら先行研究と比較した本研究の手法の相違点としてはまず、自然は話速でのダイナミックな構音器官の働きを捉えることができることが挙げられる。しかしながら、現状では筋走行の同定に用いた reference position (r.p.) における画像の解像度が、先行研究における通常の高解像度 MRI よりも低いことが挙げられる。また、r.p.の構えのフレームにおいて tag を追跡できなかったため、まず r.p.の構えの画像において筋走行を同定し、次に、子音構音がすでに開始され、第1フレームにも時間的に隣接した第37フレームまで筋走行を追跡して、第1フレームに筋走行に沿った線をオーバーレイするという間接的な手法を用いたことである。したがって、筋収縮パラメータに関しては、発話の timing をずらして、tagのかかった画像を r.p.においても求めて、データを比較する必要があるかも知れない。

舌形態の動的な変化だけでなく、それにとまなう内部形態の変化を画像化する Tagging MRI movie の手法によって、発話時の舌形態と筋収縮の関係に関する動的な情報を得られることが本研究によって示唆された。これらの情報は、各舌筋の機能の推測に役立つこと、ひいては、それらの情報をもとに、構音障害のリハビリテーション¹²⁾等に還元できる貴重な情報をもたらすことが期待される。

文 献

- 1) Baer, T., Alfonso, P. J., Honda, K. : Electromyography of the Tongue Muscles during Vowels in /pVp/Environment. Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 22 : 7-19, 1988.
- 2) Bole, C. T., II, Lessler, M. A. : Electromyography of the Genioglossus Muscles in Man. J. Applied Physiology, 21 : 1695-1698, 1966.
- 3) Hirose, H. : Electromyography of the Articulatory Muscles : Current Instrumentation and Technique. Status Report on Speech Research, Haskins Laboratories SR 25/26 : 77-86, 1971.
- 4) Honda, K., Miyata, H., Kiritani S. : Electrical Characteristics and Preparation Technique of Hooked-Wire Electrodes for EMG Recording. Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 17 : 13-22, 1983.
- 5) MacNeilage, P. F., Sholes, G. N. : An Electromyographic Study of the Tongue during Vowel Production. J. Speech Hear. Res., 7 : 209-232, 1964.
- 6) Maeda, S., Honda, K. : From EMG to Formant Patterns of Vowels : The Implication of Vowel Spaces. *Phonetica*, 51 : 17-29, 1994.
- 7) Miyawaki, K., Hirose, H., Ushijima, T., et al. : A Preliminary Report on the Electromyographic Study of the Activity of Lingual Muscles. Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 9 : 91-106, 1975.
- 8) Niimi, S., Kumada, M., Niitsu, M. : Functions of Tongue-Related Muscles during Production of the Five Japanese Vowels. Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 28 : 33-40, 1994.
- 9) Sauerland, E. K., Mitchel, S. P. : Electromyographic Activity of the Human Genioglossus Muscle in Response to Respiration and to Positional Changes of the Head. Bulletin of the Los Angeles Neurological Societies, 35(2) : 69-73, 1970.
- 10) Smith, T. : A Phonetic Study of the Function of the Extrinsic Tongue Muscles. University of California Los Angeles Working Papers in Phonetics, 18, 1971.
- 11) Niimi, S., Kiritani, S., Hirose, H. : Ultrasonic Observation of the Tongue with Reference to Palatal Configuration. Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 19 : 21-27, 1985.
- 12) Niimi, S., Nakayama, H., Masaki, N., et al : A Preliminary Report on the Tongue Dynamics of Dysarthric Patients," Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 20 : 205-210, 1986.
- 13) Niimi, S., Shimada, Z. : Ultrasonic Investigation of Tongue Shape. Japanese Journal of Logopedics and Phoniatrics, 21 : 121-125, 1980.
- 14) Niimi, S., Shimada, Z. : Ultrasonic Observation of Tongue Dynamics. Annual Bulletin,

- Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo, 18 : 13-17, 1984.
- 15) Wood, S. : A Radiographic Analysis of Constriction Locations for Vowels. *J. Phonetics*, 7 : 25-44, 1979.
 - 16) Kuhn, G. M. : On the Front Cavity Resonance and its Possible Role in Speech Perception. *J. Acoust. Soc. Am.*, 58 : 428-433, 1975.
 - 17) Strong, L. H. : Muscle Fibers of the Tongue Function in Consonant Production. *Anatomical Record*, 126 : 61, 1956.
 - 18) Dickson, D. R., Maue-Dickson, W. : *Anatomical and Physiological Bases of Speech*, Little, Brown and Company, Boston, 1982.
 - 19) Miyawaki, K. : A Study on the Musculature of the Human Tongue. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo*, 8 : 23-50, 1974.
 - 20) Kumada, M., Niitsu, M., Niimi, S., et al : A Study on the Inner Structure of the Tongue in the Production of the 5 Japanese Vowels by Tagging Snapshot MRI," *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo*, 26 : 1-11, 1992.
 - 21) Kumada, M., Constable, R. T., Bell-Berti, F., et al : Functions of the Muscles of the Tongue during Speech. *J. the Acoust. Soc. Am.*, 104 (3), Pt. 2 : 1819-1820(A), 1998.
 - 22) Kumada, M., Niimi, S., Niitsu, M. : Clinical Application of Tagging Tnapshot MRI. *Advances in Neurological Science*, 38 : 319-326, 1994.
 - 23) Kumada, M., Niitsu, M., Niimi, S., et al : A Study on the Inner Structure of the Tongue in the Production of the 5 Japanese Vowels by Tagging Snapshot MRI : A Second Report. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo*, 27 : 1-12, 1993.
 - 24) Niitsu, M., Campeau, N. G., Holsinger-Banton, A. E., et al : Tracking Motion with Tagged Rapid Gradient-Echo Magnetization-Prepared MR Imaging. *J. of Magnetic Resonance Imaging*, 2(2) : 155-163, 1992.
 - 25) Niitsu, M., Kumada, M., Campeau, N. G., et al : Tongue Displacement: Visualization with Rapid Tagged Magnetization-Prepared MR Imaging. *Radiology*, 191(2) : 578-580, 1994.
 - 26) Niitsu, M., Kumada, M., Niimi, S., et al : Tongue Movement during Phonation: A Rapid Quantitative Visualization using Tagging Snapshot MRI. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics, University of Tokyo*, 26 : 149-155, 1992.
 - 27) Masaki, S., Tiede, M. K., Honda, K., et al : MRI-Based Speech Production Study using a Synchronized Sampling Method. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 20(5) : 375-379, 1999.

別刷請求先：〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学音声言語医学教室
熊田政信