

他者の身振りを伴う発話観察中の 口唇部支配運動野の興奮性変化

崔 春福*・成田知弘**・吉田光演*・船瀬広三**

Excitability Change of Lip Motor Cortex During Observation of Another Person's Speech with Hand Gesture

Chunfu CUI*, Tomohiro NARITA**, Mitsunobu YOSHIDA* and Kozo FUNASE**

Summary

This study was to examine the effect of video clip observation performed by another person who pronounced some words with hand gesture on the excitability of lip motor cortex. Transcranial magnetic stimulation (TMS) was applied to the appropriate spot of motor cortex for orbicularis oris during weak voluntary contraction. We found the significant increase of excitability of lip motor cortex during observation for another person's pronunciation with both-hands gesture compared to those with vocalization only or with one-hand gesture. Mirror neuron system, consisted of Broca area and the primary motor cortex in human brain, would be one of the background neural mechanisms for the present results. Because the emphasized visual inputs during observation of the both-hands gesture possibly made the pronunciation imagery clear. It is suggested that the speech with hand gesture could be an effective method to communicate with other person.

Key words: TMS, cortical excitability, vocalization, hand gesture, mirror neuron system

I. 緒言

私たちがことばを話す時には、発声器官や聴覚器官だけを使うのではなく、身振りや手ぶりなど、身体動作に伴う様々な筋肉を使っている⁸⁾。言語理論の一分野である言語聴覚論においては、身体全体を聴覚・調音器官と捉え、マクロ（身体全体）の動きで、ミクロ（調音器官）の動きを誘導し、正しい聞

き取りと生成が促されるとしている^{8,9)}。特に母国語以外の第2外国語の発音の習得には、聞き取り練習や発音練習ばかりでなく、身振りを利用した外国語の発音指導方法の有用性が示されている⁷⁾。しかしながら、その裏付けとなる生理学的根拠についてはこれまで検討されていない。

身振りを利用した発音指導法の生理学的根拠とな

* 広島大学大学院総合科学研究科人間科学部門言語研究領域（〒739-8521 広島県東広島市鏡山1-7-1）
Field of Language Studies, Division of Human Sciences, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

** 広島大学大学院総合科学研究科人間科学部門身体運動科学研究領域（〒739-8521 広島県東広島市鏡山1-7-1）
Field of Sports Sciences, Division of Human Sciences, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

る背景メカニズムの1つの仮説として、他者の動作観察による自己動作イメージ想起による動作プログラムの構築のためのミラーニューロンシステムの関与が考えられる。ミラーニューロンは、サルの上半球前頭葉 F5 領域に発見されたニューロンで、他者の意味のある動作を観察したり模倣したりする際に活動する^{4,17,18)}。あたかも他者の動作を鏡に映すように反応することからミラーニューロンと名付けられ、ヒトでは左大脳半球の Brodmann の44野、運動性言語野である Broca 野が相同部位に当たるとされている^{17,19)}。脳磁場計測装置を用いたヒトの研究により、他者の動作の観察・模倣課題時には、Broca 野の反応に続いて運動野が反応することから、Broca 野と運動野がミラーニューロンシステムとして活動することが示されている^{13,14)}。これを受けて、安静覚醒状態かつ無侵襲でヒトの皮質運動野を刺激することができる経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation: TMS) を用いて、手指筋から運動誘発電位 (motor evoked potential: MEP) を誘発し、他者の手指動作の観察時に MEP の振幅変化を観察することで、観察-実行システムとしてのミラーニューロンシステムの働きを探ろうとする試みが行われている^{1,11)}。一方、運動性言語中枢である Broca 野機能との関連性から、他者の発話遂行の観察時にその観察者の口唇部から記録した MEP の振幅変化についても報告されており、ミラーニューロンシステムが、他者の発話遂行課題の観察時にも活動することを示唆している^{21,20)}。加えて、コミュニケーション時に発現する腕や手指による身振りとの関連性も指摘されている^{2,12,20)}。これらの報告を考慮すると、音声のみの発話と身振りを伴う発話の違いが、観察者の口唇部支配運動野の興奮性変化に何らかの影響を及ぼす可能性が考えられる。

そこで、本研究では身振りを利用した外国語の発音指導方法の有効性の裏付けとなる生理学的資料を得るために、身振りを伴わない他者の発話遂行時、および身振り (片手身振りと両手身振り) を伴う他者の発話遂行時における観察者の口唇部支配運動野の興奮性変化について、TMS 法を用いて検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被験者

被験者は、1年以上4年未満日本に滞在する中国

語を母語とする右利きの女性6名 (平均年齢 26.8±1.4歳) であった。被験者には事前に実験の目的・方法に関する説明を行い、書面による同意を得た後、実験を実施した。なお、体調不良や不快等、被験者から実験中止の申し出があった場合には、直ちに実験を中止するようにした。被験者はリクライニングシートに座り、アームレストに固定した実験用テーブルに両手を回内位で置き、両手はマジックテープで軽く固定した。被験者の利き手判定には、エジンバラ式利き手テストを用いた¹⁶⁾。

B. 被験者 (観察者) に提示する単語の選定と VTR 提示条件

被験者 (観察者) に提示した単語は、『外国人のための日本語分野別重要単語1300』⁹⁾と『現代雑誌九十種の用語用字』¹⁰⁾の語彙表で示された高使用率の語句、および『日本語教育のための基本語彙調査』¹⁵⁾に選ばれた22500語のうち、上掲書と重複しない語の中から、名詞 (複合語を除く) だけを取り出し、選定した。また、複合語に関しては、外国人学習者が日常での使用頻度が高いと想定されるものを選定した (表1)。

選定した10個の単語を、教示者による3種類の発話条件で VTR 撮影し、被験者にその映像を提示した。発話条件は、1) 身振りを伴わない発話のみの映像 (身振りなし条件)、2) 発話アクセントと同調した左肩関節前方挙上による左腕の上下動作を行う (片腕身振り条件)²²⁾、3) 発話アクセントと同調した両肩関節前方挙上による両腕の上下動作を行う (両腕身振り条件)⁹⁾であった。以上の3条件を表1に示した順序に従い、教示者が16秒間隔で実施し、その発話時の音声、発話単語を記したパネルおよび教示者の膝から上の半身像を VTR 撮影した。VTR の録画時間は8分24秒であった。録画した VTR はコンピューターに取り込み、PC プロジェクターを用いて被験者の前方3mに設置したスクリーンに映写した。同時に実験用テーブルにスピーカーを設置し、VTR 音声記録を被験者に聞かせた。

C. TMS による口輪筋 MEP の誘発

口輪筋 (orbicularis oris: OR) から MEP を導出するに当たり、その支配至適運動野部位を同定するために、まず、磁気刺激装置 (Model 200, Magstim, Whitland, UK) に接続した8字コイルを、右手の第

他者の身振りを伴う発話観察中の口唇部支配運動野の興奮性変化

Table 1 A list of order for word presentations and hand gesture conditions.

| 提示順序 | 単語リスト | VTR 提示条件 |
|------|------------------|----------|
| 1 | 友達 (ともだち) | 両腕身振り |
| 2 | 国際電話 (こくさいでんわ) | 片腕身振り |
| 3 | 私 (わたし) | 身振りなし |
| 4 | 装置 (そうち) | 片腕身振り |
| 5 | 携帯電話 (けいたいでんわ) | 身振りなし |
| 6 | 私 (わたし) | 両腕身振り |
| 7 | 友達 (ともだち) | 身振りなし |
| 8 | 学生番号 (がくせいばんごう) | 両腕身振り |
| 9 | 装置 (そうち) | 身振りなし |
| 10 | 心 (こころ) | 片腕身振り |
| 11 | 携帯電話 (けいたいでんわ) | 両腕身振り |
| 12 | 私 (わたし) | 片腕身振り |
| 13 | 労働条件 (ろうどうじょうけん) | 両腕身振り |
| 14 | 心 (こころ) | 身振りなし |
| 15 | 国際電話 (こくさいでんわ) | 身振りなし |
| 16 | 湖 (みずうみ) | 両腕身振り |
| 17 | 友達 (ともだち) | 片腕身振り |
| 18 | 携帯電話 (けいたいでんわ) | 片腕身振り |
| 19 | 経済 (けいざい) | 身振りなし |
| 20 | 学生番号 (がくせいばんごう) | 身振りなし |
| 21 | 湖 (みずうみ) | 片腕身振り |
| 22 | 心 (こころ) | 両腕身振り |
| 23 | 国際電話 (こくさいでんわ) | 両腕身振り |
| 24 | 経済 (けいざい) | 片腕身振り |
| 25 | 労働条件 (ろうどうじょうけん) | 身振りなし |
| 26 | 装置 (そうち) | 両腕身振り |
| 27 | 労働条件 (ろうどうじょうけん) | 片腕身振り |
| 28 | 経済 (けいざい) | 両腕身振り |
| 29 | 湖 (みずうみ) | 身振りなし |
| 30 | 学生番号 (がくせいばんごう) | 片腕身振り |

1 背側骨間筋 (first dorsal interosseous: FDI) 至適支配運動野部位に当て、安静時閾値の1.2倍強度で刺激し FDI から MEP を誘発した。この部位から下側方約 5 cm にコイルを移動し、OR 支配運動野部位を同定した。OR MEP は出現閾値が高く安静時での誘発は困難なため、先行研究²³⁾を踏襲し、被験者に軽い随意収縮 (最大随意収縮の10%程度) を行わせ、MEP の出現閾値を下げた状態で TMS を与えた。TMS 強度は OR MEP の活動時閾値の1.2倍とした。得られた MEP は FDI および OR 筋腹上に貼付した1対の Ag/AgCl 表面電極から、周波数帯域 5 Hz ~ 3 KHz で増幅・導出し (7S12, NEC San-ei Co. Ltd., Japan), サンプリングレート10KHz でコンピュータに取り込み、MEP 振幅値および TMS 前

100ms の背景筋電図 (background EMG: bEMG) 量を off-line で解析した (PowerLab System, Scope version 3.7.6, AD Instruments Pty. Ltd., Australia)。

D. 実験手順

VTR 提示に先立ち、スクリーン上に提示した直径 3 cm の丸印に視線を固定した条件で10発の MEP を OR から誘発し、コントロールとした。続いて、教示者が発話する単語の発音を、その身振りに注目しながら強くイメージ想起するよう、被験者に指示した。全30単語の VTR 提示中に TMS を与え OR から MEP を誘発した。休憩を挟み、同様の手順で実験を再度繰り返し、各条件それぞれ20発の MEP を記録した。実験後、被験者の内省報告から被験者の発音イメージ想起を口頭で確認した。

E. 統計処理

TMS 強度と MEP 振幅値および bEMG 量との関係は単相関分析を用いて処理した。各実験条件下における被験者全員の MEP 振幅値および bEMG 量の平均値は、それぞれ繰り返しのある一元配置分散分析を用いて分析した。コントロール条件を含む4条件間の多重比較には Bonferroni/Dunn 法を用いた。有意水準は 5% とした。

III. 結果

図 1 A に OR MEP 誘発実験の概要、図 1 B に1名の被験者から記録した FDI MEP および OR MEP の典型的加算波形例 (n=3) を示した。OR MEP については、刺激部位の妥当性を確認するために TMS 刺激強度による波形変化も記録した。図 1 C および D に示すように OR MEP は TMS の刺激強度の増大に依存して振幅値が有意 ($r^2=0.317$, $p < 0.01$) に増加したが、TMS 前100ms の bEMG 量は刺激強度の増大に関係なく一定であった ($r^2=0.020$, $p=0.549$)。

図 2 A に1名の被験者から記録したコントロール条件および各指導法の VTR 観察時の OR MEP の典型加算波形例 (n=20) を示した。図 2 B および C に各実験条件における全被験者の OR MEP 振幅値の平均値の変化 ($\pm SE$) と TMS 前100ms の bEMG 量の平均値の変化 ($\pm SE$) を示した。MEP 振幅値は条件間で有意な変化を示した ($F_{3,15}=4.367$, $p < 0.05$)。多重比較の結果、「コントロール条件」と

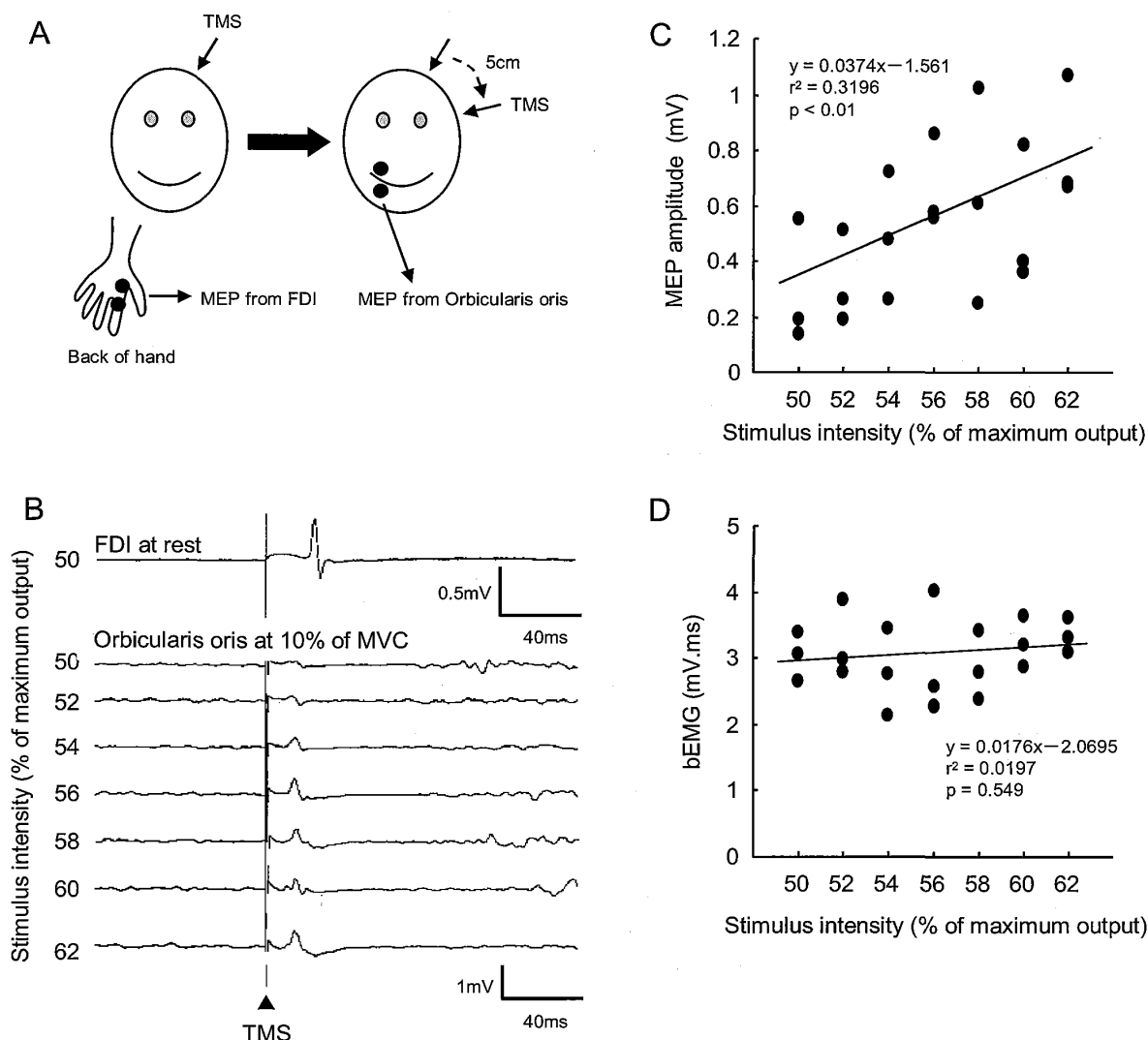


Figure 1 A: Illustrated panel showing the MEP recordings from FDI and orbicularis oris. B: Typical averaged wave forms of MEP ($n=3$) from FDI and orbicularis oris under TMS intensity change, recorded from one subject. An arrow head shows the timing of TMS. C and D: Plots of MEP amplitude and those of the amount of background EMG (in abscissa) against to the TMS intensity change (in horizontal), respectively.

「両腕身振り条件」間に有意差が認められた。一方、bEMG量は条件間に有意な変化は見られなかった ($F_{3,15}=1.381$, $p=0.287$)。

IV. 考察

本研究では、身振り利用した外国語の発音指導法の有効性の検討のための生理学的資料を得るために、発話遂行時における教示者の身振り条件の違いが、観察者の口唇部支配運動野の興奮性に与える影響について TMS を用いて検討した。

TMSによって誘発される MEP は通常、皮質運動

野の支配領域が広く、皮質脊髄路の起始細胞である錐体路細胞数が多い FDI 等の手指筋から誘発される。手指筋 MEP は出現閾値が低く安静状態の筋からも誘発することができる。それに比較して OR MEP はその出現閾値が高く、安静状態での誘発には強い TMS 刺激強度が必要となる。一方で、OR の支配運動野は他の顔面筋の支配運動野と隣接しており、高強度の TMS は被験者の顔面に不快な筋収縮を誘発することになる。これを避けるために、OR MEP の出現閾値を下げる目的で OR の軽い随意収縮条件下で MEP を誘発した。図 1 B, C および D に

他者の身振りを伴う発話観察中の口唇部支配運動野の興奮性変化

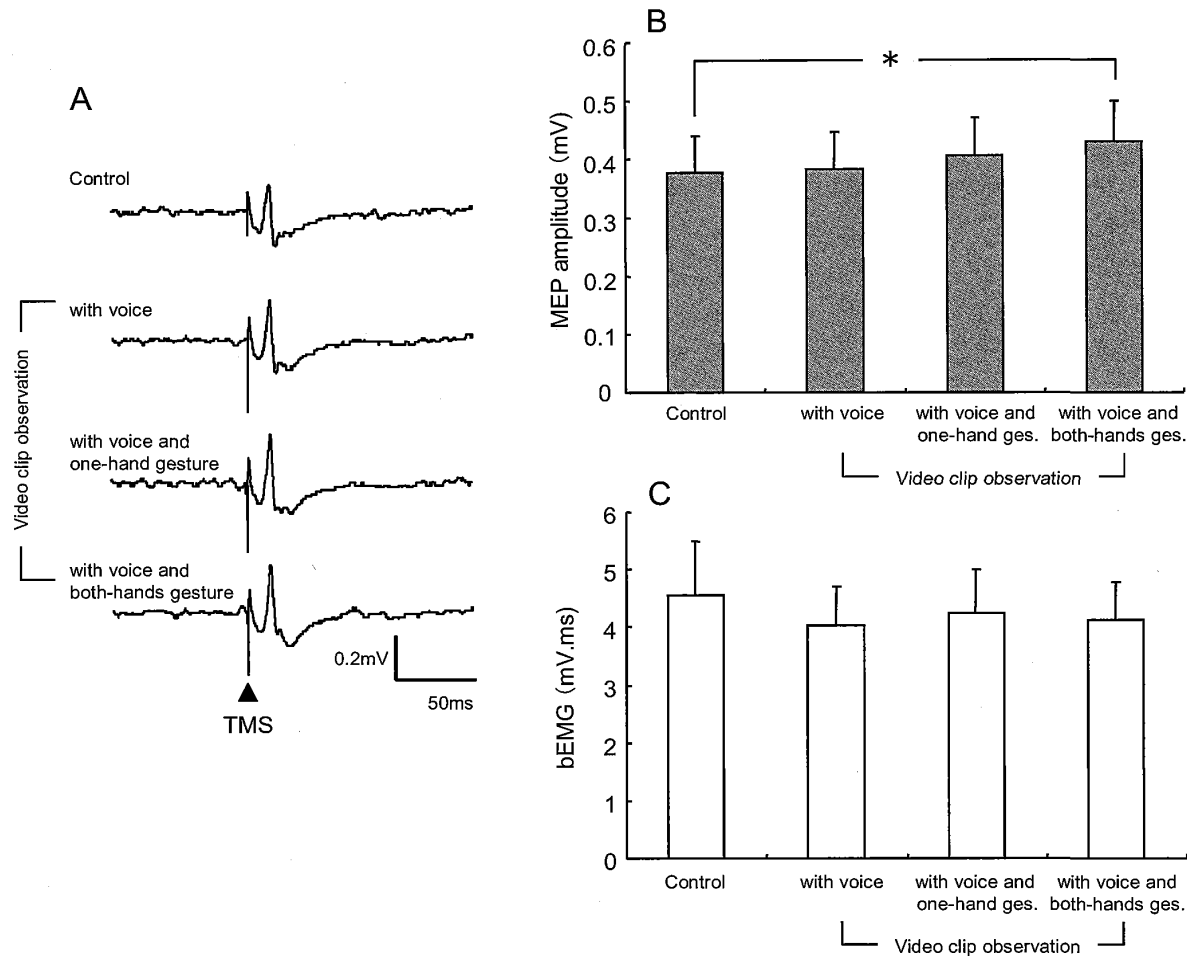


Figure 2 A: Typical averaged wave forms of MEP (n=20) from orbicularis oris under each experimental condition, recorded from one subject. An arrow head shows the timing of TMS. B and C: Grand average of MEP amplitude and the amount of background EMG at each experimental condition, respectively. *p < 0.05.

示されたように、ORの軽い随意収縮を保持し、bEMG量を一定にした上でTMS強度を変化させたところTMS振幅値は有意に増大した。bEMG量が一定であるということはORの運動単位活動量は一定であることを意味しており、TMS強度の増加に伴うOR MEP振幅の増大は、OR支配運動野において動員される錐体細胞数の増加を示すものと考えられる。したがって、図2BおよびCで示されたように、bEMG量の変化なしにVTR提示条件間でOR MEP振幅値が変化したことは、VTR提示条件の違いに依存したOR支配運動野の興奮性変化を示すものであると考えられる。

本研究と同様に、他者の発話課題の観察条件が観察者のOR MEPの振幅値に与える影響に関する先行研究が報告されている。Sundaraら²⁰⁾は、被験者

に「Ba」あるいは「Ta」を発音する他者の口唇部の映像を観察させながらOR MEPを誘発した。「Ba」の発音は口唇を一度閉じてからでないといけない破裂音であるが、「Ta」の発音は口唇を閉じる必要がない。結果は「Ba」の観察時のみに観察者のOR MEP振幅が有意に増大することを示した。つまり、他者が発音時に使用する口唇の動きの観察によって、観察者の同部位支配運動野の興奮性が増大することを示した。また、Watkinsら²³⁾は、他者のスピーチの聞き取り中(言語聴覚刺激)および他者のスピーチ中の口唇の動きの映像観察中(視覚刺激)に観察者のORからMEPを誘発したところ、ガラスの割れる音やベル音、銃声等の非言語的聴覚刺激条件や、スピーチ中の他者の目や眉毛の動きの映像観察条件に比較して有意にその振幅値が増大したことを

報告した。つまり、聴覚刺激に限らず他者の発話中の口唇の動きの観察によって、観察者の同部位支配運動野の興奮性が高まることを示した。これらの報告では、観察-実行システムとしてのミラーニューロンシステムが、他者の発話遂行時の口唇部の動きの観察時にも活動することを示唆している。

一方、被験者自身の発話課題と身振りとの関連性を指摘した先行研究も報告されている。Funaseら²⁾は日常会話程度の発声音量での発話遂行時には左右のFDIのMEP振幅値が同等に増大することを報告した。この変化は実施した発話課題と同程度の下顎咬筋EMG発揮時には観察されないことから、単に発声に必要な下顎筋支配運動野の興奮性増大や下顎筋収縮による感覚フィードバックに依存したものではなく、発話課題遂行に特有な現象であることを指摘した。加えて、他者の発話課題遂行時の口唇部の映像観察中においても同様に、左右のFDI MEPの振幅値が増大したことを報告している。これらの結果は、日常会話時に無意識に出現する両手による身振りの出現にミラーニューロンシステムが関与していることを示唆している。

このように、他者の発話課題の観察時における口唇部支配運動野の興奮性増大や発話課題遂行時における手指筋支配運動野の興奮性増大とミラーニューロンシステムの関連性を指摘した先行研究を考慮すると、本研究で示された「両腕身振り条件」観察時における口唇部支配運動野の興奮性増大においてもミラーニューロンシステムが関与している可能性がある。「両腕身振り条件」では発話遂行時の身振り、日本語アクセントの高低感覚を視覚的に提示することで、観察者自身の発音イメージ想起を容易にし、結果としてOR支配運動野の興奮性が増大したものと考えられる。一方、音声教示のみの「身振りなし条件」および「片手身振り条件」では、身振りによる視覚効果が弱く、OR支配運動野の興奮性を増大させるには不十分であったものと思われる。

身振りを伴うVTR映像の観察によって、発音イメージを想起している観察者の口唇部支配運動野の興奮性増大が認められたことは、身振りを利用した外国語の発音指導方法の有用性が生理学的観点からも支持されるものと考えられる。

引用文献

1) Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G (1995)

Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulate on study. *J Neurophysiol* 73: 2608-2611

- 2) Funase K, Liang N, Tabira T, Tsukazaki I, Narita T and Kasai T (2008) Bilateral facilitation of hand-motor cortices during a reading task. *Adv Exerc Sports Physiol*, 14: 57-62
- 3) 外国人のための日本語分野別重要単語1300 (1993), 日本語研究所
- 4) Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, and Rizzolatti G (1996) Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119: 593-609
- 5) 川口義一 (1990) 日本語アクセントの指導方法, クロード・ロベルジュ 木村政康 編著, 日本語の発音指導-VT法の理論と実際, 115-136, 凡人社
- 6) グベリナ・P (1981) 講述, 北原一敬 内藤史郎 編著, 話しことばの原理と教育-言調聴覚法の理論, 216-217, 明治図書
- 7) 岩村圭南 (1996) 発音指導-基本的な考え方と指導方法. クロード・ロベルジュ 木村政康 編著, 日本語の発音指導-VT法の理論と実際, 80-94, 凡人社
- 8) 木村政康 (1996) VT法 (ヴェルボトナル法), 鎌田 修, 川口義一, 鈴木 睦 編著, 日本語教授法ワークショップ, 151-175, 凡人社
- 9) 木村政康 (1997) VT法を使った発音指導の実際, 月刊日本語, 10: 24-32
- 10) 現代雑誌九十種の用語用字 (1962), 国立国語研究所報告21
- 11) Maeda E, Kleiner-Fisman G, Pascal-Leone A (2002) Motor facilitation while observing hand action: specificity of the effect and role of observer's orientation. *J Neurophysiol* 87: 1329-1335
- 12) Meister IG, Borojerdi B, Foltys H, Sparing S, Huber W, and Töpper R (2003) Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language. *Neuropsychologia* 41: 401-406
- 13) Nishitani N and Hari R (2000) Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proc Natl Acad Sci USA* 97: 913-918
- 14) Nishitani N and Hari R (2002) Viewing lip forms: cortical dynamics. *Neuron* 36: 1211-1220
- 15) 日本語教育のための基本語彙調査 (1984), 国立国語研究所
- 16) Oldfield R (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113
- 17) Rizzolatti G and Arbib MA (1998) Language within our grasp. *Trends Neurosci* 21: 188-194

他者の身振りを伴う発話観察中の口唇部支配運動野の興奮性変化

- 18) Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V and Fogassi L (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn Brain Res* 3: 131-141
- 19) Rizzolatti G, Fogassi L and Gallese V (2001) Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci* 2: 661-670
- 20) Sparing R, Meister IG, Wienemann M, Buelte D, Staedtgen M, and Boroojerdi B (2007) Task-dependent modulation of functional connectivity between hand motor cortices and neuronal networks underlying language and music: a transcranial magnetic stimulation study in humans. *Eur J Neurosci* 25: 319-323
- 21) Sundara M, Namasivayam AK, and Chen R (2001) Observation-execution matching system for speech: a magnetic stimulation study. *Neuroreport* 12: 1341-1344
- 22) 土岐 哲 (1982) アクセント, 日本語教育学会編, 日本語教育事典, 26-43, 大修館
- 23) Watkins KE, Strafella AP, and Paus T (2003) Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia* 41: 989-994
(平成21年2月2日受付, 平成21年3月19日訂正,
平成21年4月14日受理)