

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：32202

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700885

研究課題名(和文)食品テクスチャーを表す擬音・擬態語の脳内表現解析

研究課題名(英文)Identification of a neural response for onomatopoeia related to food textures

研究代表者

檀 はるか (Dan, Haruka)

自治医科大学・医学部・客員研究員

研究者番号：80589911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：テクスチャーを表す擬音・擬態語の脳内表象を脳磁計(MEG)を用いて解析した。まず、テクスチャーの感知に関わる口腔感覚領域について、MEG計測下で下唇に対する知覚刺激を行った。その結果、口腔感覚刺激の反応源を標準脳座標系上に表現することを実現した。つぎに、ABAB型オノマトペの脳神経応答をMEGを用いて解析した。オノマトペと非オノマトペが分離する第三モーラの脳活動に着目したところ、右縁上回、右角回、右側頭葉後部において、ABAB型オノマトペに有意な信号強度増加を確認した。この結果は、ABAB型オノマトペの第三モーラにおける繰り返し構造が、音韻・意味処理を強化している可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：This study aims to elucidate neural substrates for onomatopoeia related to food texture. First, we examined if magnetoencephalography can detect the oral sense area in the cortex. We verified that the 20-ms latency cortical response of trigeminal somatosensory-evoked field components localized at the primary sensory cortex can serve as a robust neurofunctional marker for the lip sensation. Second, we explored neural representation for cortical processing of ABAB-type four-morae onomatopoeia, rich in Japanese vocabulary for texture expressions. We assessed cortical activity evoked by ABAB-type onomatopoeia using MEG. Source analyses using minimum norm estimation revealed stronger neural activity for ABAB-type onomatopoeia than ABCD-type control words at the third morae in the inferior parietal cortices. This suggests that the third morae in the onomatopoeia accelerated phonological and semantic processing of the words in these regions.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：テクスチャー MEG 脳磁計 口腔感覚 オノマトペ 擬音・擬態語 脳内表象 脳機能イメージング

1. 研究開始当初の背景

世界の言語の中で、日本語の食品テクスチャー用語の多さは突出しているが、それは擬音語・擬態語の豊富さに起因している。擬音語・擬態語による、食感覚の生き生きとした表現は、脳内のどのような活動に起因するのだろうか。本研究は、テクスチャーを表す擬音・擬態語が、脳内でどのように処理、表現されているかについて、脳機能イメージング法を用いて明らかにすることを目的とする。これらの用語は、言語中枢だけでなく、その意味に深く関連した感覚領域に活動を生じさせる可能性がある。その活動が、言語処理プロセスの初期（無意識下）か、あるいは後期の意味内容の想像に付随するものかを分離検討し、テクスチャー擬音・擬態語特有の脳活動パターンを明らかにする。また、複数の脳機能イメージング法を併用し、テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現を、様々な対象（子供、高齢者、患者など）にて計測できる基盤を築くことを最終目標とする。

2. 研究の目的

日本語は多様なテクスチャー表現を有する。その多様性を支えるのは、擬音語・擬態語の豊富さである。擬音語・擬態語は高い感覚訴求力を有するが、その脳内表象は未解明である。そこで本研究は、テクスチャーを表す擬音・擬態語が、脳内でどのように処理、表現されているか、脳磁計(MEG)を中心とした脳機能イメージング法を用いて解明することを目的とする。このために、本研究では、まず、「口腔間隔領域の MEG による同定」を実施した後、「テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現の時空間解析」を行った。

（口腔間隔領域の MEG による同定）

テクスチャー関連擬音・擬態語は、言語中枢のみならず、関連した感覚領域に活動を生じさせることが予想される。テクスチャーを感知するのは口腔であるため、特に口腔感覚領域は重要な役割を担うと考えられる。したがって、テクスチャーの関知に関わる口腔感覚領域がどのように MEG で同定可能かをあらかじめ検討しておく必要がある。

このためには、標準脳座標系において、口腔感覚領域の座標位置が記載されていることが望ましい。ところが、従来の MEG 研究では、口腔感覚領域を標準脳座標系で表すという慣習がないため、新たにこれを取得する必要が生じた。口腔内の刺激は現実的ではないため、口唇の電気刺激の脳内表象を MEG によって同定し、標準脳座標系に記載することを試みた。また、口腔感覚領域の反応が口唇部への電気刺激に由来するものかどうかを確認するために、局所麻酔による遮断実験を行なった。

（テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現の時空間解析）

テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現の時空間解析をおこなうためには、MEG 実験で

用いられる言語刺激の時間的構造を統制する必要がある。テクスチャー用語は語数や品詞構成が多様であり、全てを用いることは適切ではない。そこで、時間的構造が比較的に一定である、ABAB 型のオノマトペに着目した。これらは、「さくさく」、「ぱりぱり」といった単語であり、1、2 モーラ目と 3、4 モーラ目が対応した繰り返し構造となっている。この特徴を活用し、ABAB 型のオノマトペにおいて特異的な脳応答を同定し、さらに、この効果が単なる音韻の繰り返しによるものか、それとも、AB が内含する意味に依存した現象であるかを検討する。

3. 研究の方法

（口腔間隔領域の MEG による同定）

被験者は自治医科大学倫理委員会の承認のもとでインフォームドコンセントを得た、右利きの健康な成人ボランティア 10 名（平均年齢：31.0、標準偏差：6.8、女性 2 名、男性 8 名）を被験者とした。

各被験者に対し、脳磁計システム(PQA160C 横河電機)内で以下の手順で脳磁計測を行った。被験者の両下唇に刺激電極をテープにより固定する。通常時での三叉神経体性感覚誘発電位/磁界 (TSEF) の測定を行う。

下顎片側のオトガイ孔部に局所浸潤麻酔を行う。麻酔側の感覚の消失を確認後、麻酔下での TSEF の測定を行う。

実験刺激刺激としては電気刺激装置（ユニークメディカル、2ch）を使用し、持続時間 0.3ms の biphasic pulses の電気刺激を与えた。刺激間隔は 404ms とし、左右交互に 1000 回ずつ刺激を行った。電流刺激強度は各被験者の感覚域値の 4 倍とした。ただし、下唇に運動が観られた場合、目視により運動閾値を決定し、運動閾値の 0.9 倍とした。

個人レベルでの解析として、本研究では TSEF の各成分のうち、波形の恒常性が高く、強度と潜時で個人差が小さい 20ms 付近の成分 p21m (Nagamatsu, 2000) に着目し ECD (Equivalent Current Dipole) による信号源解析を行った。

集団レベルでの解析として、個々の MRI 脳構造画像に対し、SPM8 を用い MNI 標準テンプレート ICBM152 への標準化を行った。個人 MRI 画像上で推定された信号源座標に関しても同様に標準化を行い、被験者間平均、標準偏差を算出した。また、麻酔前後での信号源の電流強度についても比較を行った。

（テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現の時空間解析）

本研究の実験における被験者は、右利きの健康成人ボランティア 13 名（男性 11 名、女性 2 名、平均年齢 33.3 歳）であった。

オノマトペ刺激として、ABAB 型オノマトペ（さくさく等）これに対応する ABCD 型の意味語（さくげん等）発音特性の類似する ABAB オノマトペ様無意味語（たくたく等）と ABCD 型無意味語（たくげん等）が生成可能な 7 4

組、計 296 語の刺激を日本語の語彙全体から抽出した。これらのモーラ長を一定にし、音声刺激を作成した。

各音声刺激は、第一モーラから第四モーラまでそれぞれ 170ms、180ms、210ms、200ms となるように語長を統制した。被験者には、ランダム化された全 296 個の刺激を 1 セットとして、計 4 セットの音声刺激をイヤータブ経由で提示した。被験者は提示された各音声刺激に対し、その単語が意味を有するか否かをボタン押しにより判別した。

横河電機製 vision-PQA160C の MEG 装置を用い、脳磁図計測を行った。解析では 0.3Hz-500Hz のフィルタを適用し、第一モーラ刺激提示前 100ms をベースラインとし、各条件での加算波形を求めた。

課題の平均正答率が 60%を上回る被験者 9 名に関して、Minimum norm estimation を用い、脳表 750 点の電流密度をもとに信号限を推定した。さらに関心領域として、中前頭回、下前頭回、中心前・後回、縁上回、角回、側頭葉後部を設定し、各領域での合成電流密度波形を解析した。オノマトペと非オノマトペが分離する第三モーラの脳活動に着目し、品詞と意味の 2 要因について、信号源強度の分散分析をおこなった。

4. 研究成果

(口腔間隔領域の MEG による同定)

個人解析結果として、図 1 に、被験者 1 名の代表的な結果を示す。麻酔前における両側下唇刺激時の TSEF では、それぞれ p21m 成分が見られ、ECD 解析の結果では対側の体性感覚野に信号源が推定されている。対して、下顎右側への麻酔後の麻酔側では TSEF は消失が見られ、信号源は推定不可となった。非麻酔側での TSEF に関しては、麻酔前と比較して信号強度・潜時・信号源座標で共に同等の反応が再現された。他の被験者についても、麻酔による感覚の消失に伴って麻酔側での TSEF は消失し、それ以外の条件では p21m 成分による体性感覚野の活動が見られた。

集団解析結果として、図 2 に標準化された各被験者の信号源座標を軸断面上にプロットした。図に示された信号源座標の平均値及び標準偏差は、右側下唇刺激時 (-46 ± 4 , -21 ± 6 , -41 ± 6 [mm])、左側下唇刺激時 (46 ± 7 , -17 ± 3 , 38 ± 7 [mm]) であった。また、この標準化された平均信号源座標は、LBPA40 で表現される post central gyrus に位置する事を確認した。

次に信号源の電流強度の比較を行った。麻酔後の信号源電流強度に関しては、麻酔前の信号源推定によって得られた座標を指定して電流値を求めた。図 3 にこの結果を示す。t 検定の結果により、麻酔下における麻酔側での電流強度は、麻酔前・非麻酔側と比べ優位に低下していた。

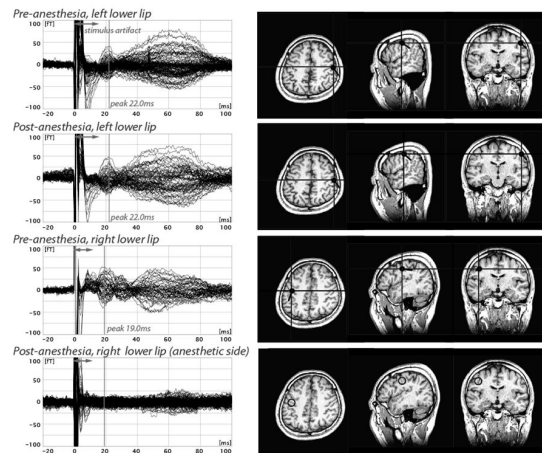


図 1. 代表被験者のセンサ信号波形と p21m 信号源上から、麻酔前左側下唇刺激時、麻酔後左側下唇刺激時 (非麻酔側)、麻酔前右側下唇刺激時、麻酔後右側下唇刺激時 (麻酔側) における、センサ信号の重畳波形と ECD 解析による信号源の座標・電流の向きを示す。

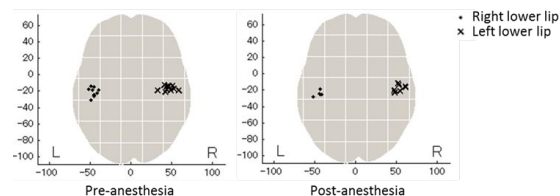


図 2. 標準化された各被験者の信号源座標
左: 麻酔前における両側下唇刺激時の標準化信号源座標 (全 10 名)
右: 麻酔後における非麻酔側刺激時の標準化信号源座標 (左右下唇各 5 名)

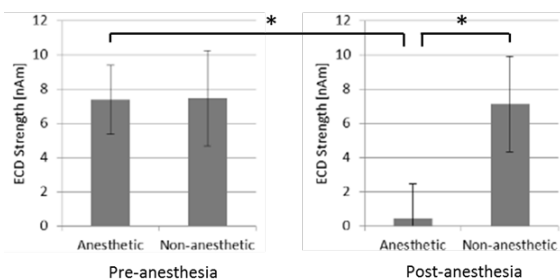


図 3. 麻酔前後における麻酔側と非麻酔側での信号源電流強度の比較 (* : $p < 0.001$)
左: 麻酔前における麻酔側と非麻酔側での信号源電流強度の比較
右: 麻酔後における麻酔側と非麻酔側での信号源電流強度の比較

これらの結果から、局所麻酔下での TSEF の信号源推定の結果により、下歯槽神経麻痺状態において皮質電流が消失することが確認できた。また、MNI 標準脳座標系による集団レベルでの解析によって、皮質電流源の空間的局在、信号強度の両方で再現性が見られた。このように、口腔感覚刺激の反応源を明

確にし、その脳内表象を標準脳座標系上に表現することを実現した。

(テクスチャー擬音・擬態語の脳内表現の時空間解析)

図4に右縁上回(R SMG)、右角回(R ANG)、右側頭葉後部(R TEMP)における、合成電流密度波形の被験者間平均値を示す。特に右角回において、オノマトペ有意意味語-名詞有意意味語の比較において第三モーラに付随した電流密度の増加が見られた。

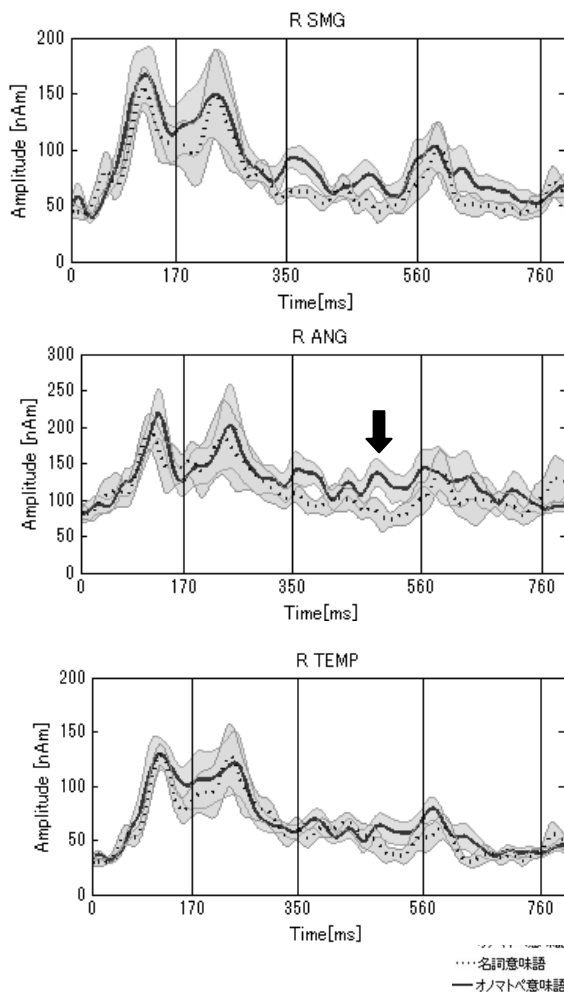


図4. 被験者間平均電流密度波形
オノマトペ後開始からの時系列をオノマトペ意味語と対応名詞意味語について示している。上から順に、右縁上回、右角回、右側頭葉後部の活動を示している。右角回に顕著な脳活動を矢印で示した。

分散分析を用いた解析の結果、品詞と意味の交互作用が有意となり[F(1, 8) = 9.1, p<0.05]、単純主効果を調べたところ、オノマトペ有意意味語条件の振幅はオノマトペ無意味条件よりも有意に増大した[F(1, 16) = 5.5, p<0.01]。また、有意意味条件において、オノマトペ条件は名詞条件よりも有意に活動が増大した[F(1, 16) = 12.0, p<0.05] (図5)。

右縁上回、右角回、右側頭葉後部における被験者間合成電流密度のオノマトペ有意意味語-名詞有意意味語間の比較において、第三モーラに付随した電流密度の増加を確認した。

このことは ABAB 型オノマトペの第三モーラをトリガーに音韻・意味処理が加速している可能性を示唆している。

これらの結果は、ABAB 型オノマトペの第三モーラにおける繰り返し構造が、音韻・意味処理を強化している可能性を示唆している。本研究によって、日本語に頻出するオノマトペ特有の認知処理メカニズムが見いだされた。

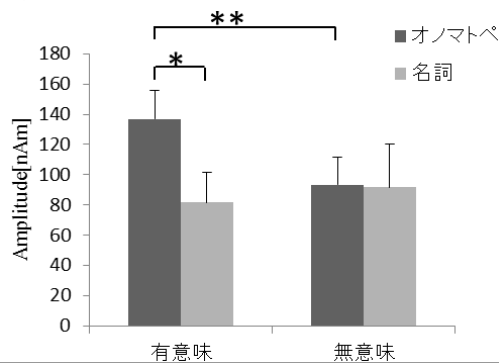


図5. 右角回における各音声刺激での電流密度
右角回における3モーラ目の電流密度強度を示した。
* p<.05, ** p<.01。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Tsuzuki, D., Cai, D. S., Dan, H., Kyutoku, Y., Fujita, A., Watanabe, E. and Dan, I. Stable and convenient spatial registration of stand-alone NIRS data through anchor-based probabilistic registration. *Neuroscience Research*, 72(2), 163-71 (2012)

Moriai-Izawa, A.#, Dan, H.#, Dan, I., Sano, T., Oguro, K., Yokota, H., Tsuzuki, D., and Watanabe, E. Multichannel fNIRS assessment of overt and covert confrontation naming. *Brain and Language*, 121(3):185-93 (2012) (# Equal contribution)

Otsuka, T.#, Dan, H.#, Dan, I., Sase, M., Sano, T., Tsuzuki, D., Sasaguri, K., Okada, N., Kusama, M., Jinbu, Y., and Watanabe, E. Effect of anesthesia on trigeminal somatosensory evoked magnetic fields. *J Dental Res*, 91(12), 1196-201 (2012) (# Equal contribution)

Monden, Y.#, Dan, H.#, Nagashima, M., Dan, I., Tsuzuki, D., Kyutoku, Y., Gunji, Y., Yamagata, T., Watanabe, E., Momoi, M.Y. Right prefrontal activation as a neuro-functional biomarker for monitoring acute effects of methylphenidate in ADHD

children: An fNIRS study.
NeuroImage: Clinical, 1(1), 131-140 (2012)
(# Equal contribution)

Dan, H., Dan, I., Sano, T., Kyutoku, Y., Oguro, K., Yokota, H., Tsuzuki, D., Watanabe, E. Language-specific cortical activation patterns for verbal fluency tasks in Japanese as assessed by multichannel functional near-infrared spectroscopy. *Brain and Language*, 126, 208-216 (2013)

Nagashima, M., Dan, I., Monden, Y., Dan, H., , Tsuzuki, D., Mizutani, T., Kyutoku, Y., Gunji, Y., Momoi, M. Y., Watanabe, E., Yamagata, T. Neuropharmacological effect of methylphenidate on attention network in children with attention deficit/hyperactivity disorder during oddball paradigms as assessed using fNIRS. *Neurophotonics*. in press (2014).

〔学会発表〕(計3件)

檀はるか、盛合彩乃、檀一平太、小黒恵司、横田英典、續木大介、渡辺英寿、呼称課題の発生有無に伴う脳活動パターンの光トポグラフィによる検討、第16回認知神経科学会学術集会、2011年10月23日、福岡県北九州市産業医科大学

佐野俊文、檀はるか、水谷勉、籠宮隆之、皆川泰代、渡辺英寿、檀一平太、言語処理におけるオノマトペ特有な神経応答の同定、第28回日本生体磁気学会、2013年6月7日、新潟県新潟市朱鷺メッセ

佐野俊文、大塚剛郎、檀はるか、神部芳則、渡辺英寿、檀一平太、脳磁図による下歯槽機能障害の客観的評価法開発、第16回日本薬物脳波学会、2013年7月12日、栃木県那須市リゾートホテルラフォーレ那須

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

檀はるか (DAN HARUKA)

自治医科大学・医学部・客員研究員

研究者番号：80589911