

# 情動による声道形状変化のMRI観測

北村 達也（甲南大学知能情報学部）

t-kitamu@konan-u.ac.jp

## 1 はじめに

脳神経科学の研究により、多くの哺乳類では発話運動神経核への下降路が大脳辺縁皮質（帯状回）から発していることが明らかになっている [1]。このことは、ヒトでは情動により発話運動が影響を受けうることを示唆している。本研究では、この知見を背景にして感情音声生成に関する仮説を提案し、磁気共鳴画像法（MRI）を用いた観測によりその検証を試みる。

情動と密接に関連する脳部位は系統発生的に古い脳である大脳辺縁系である。中でも、扁桃体が情動発現に重要であり、扁桃体と連絡のある視床下部、扁桃体と連絡のある中脳中心灰白質も情動に関与することが知られている [2][3]。また、島皮質の重要性も指摘されている [4]。

一方、発話運動に関与する神経経路についても様々な動物を対象にして調査されている。Jürgens[5][6] は、リスザルを対象とした研究により、発話運動制御には2つの神経経路が寄与していることを報告している。1つは、前部帯状回から中脳中心灰白質を介して脳橋の網様体と延髄に入り、そこから発話運動神経核に連絡する経路である。もう1つは、運動皮質から網様体を介して発話運動神経核に連絡する経路である。前者の経路には情動に関与する前部帯状回や中脳中心灰白質が含まれるため、情動が発話に影響を与えられられる。Davisら [7] もネコを対象とした研究から中脳中心灰白質の発話及び情動への関与を指摘している。また、吉田 [8] は、上記の第1の神経経路に含まれる延髄内の疑核が発声に関わる多くの筋を支配していることを詳細に報告している。

この他、Jürgens[6] は、両側の運動皮質に損傷を受けた患者、すなわち上記の第2の神経経路に障害のある患者は話すことも歌うこともできないが、うめく、泣く、笑うといった情動的な発声は可能であることを紹介している。この症例は、上記の第1の神経経路が情動と関連していることを示唆している。

このように、発話が情動から直接的に影響を受けうるということが脳神経科学的研究によって示されている。本研究では、この知見に基づいて情動に伴う発話（情動発話）に関する仮説を提案する。すなわち、情動発話においては、発話の有無に関わらず情動により発話器官に変化が生じ、その副作用として声質が変化した音声が生じるとする仮説である。この仮説を検証するために、本研究では、発話時及び不発話時における情動による発話器官の変化をMRIを用いて観測する。もし情動によって不発話時も発話時と同様の変化が発話器官に生じるのであれば、この仮説を間接的に証明することができる。

本稿では、2節にてこの仮説について説明する。次に、3節にてMRI観測の方法を示し、4節にて得られた結果とその考察を述べる。最後に、5節にて全体のまとめを行う。

## 2 情動発話の副作用仮説

本研究では、福田の感情階層説 [9] に従い、一般に「感情」と呼ばれているものをより原始的な「情動 (emotion)」とより社会的な「高等感情 (feeling)」に分類する。

この説によると、情動には「原始情動 (primitive emotion)」と「基本情動 (basic emotion)」が含まれる。前者は、進化の早い段階で現れた快・不快の情動であり、後者は、その後の進化において現れた喜び、受容・愛情、怒り、恐怖、嫌悪の情動であるとしている。一方、高等感情には「社会的感情 (social feeling)」と「知的感情 (intellectual feeling)」が含まれる。前者は、生物が群れを作り集団生活を営むことにより獲得された感情で、後者は、人間の文化に関連した感情であるとしている。

本研究では、福田のいう「情動」を対象とする。情動は、呼吸、表情、四肢に込める力など、身体の様々な部分に影響を及ぼす [10][11]。これらの変化は発話の意思の有無とは無関係に生じ、かつその影響は発話器官にも及ぶ。本研究では、情動に起因してこのような身体的変化が生じた状態で発話することにより声質が変化し、情動に伴う音声 (情動音声) が生成されるとする仮説を提案する。

この仮説に基づけば、情動音声は「出す」ものではなく、制御不可能な状況で副作用的に「出る」ものである。従って、情動音声の発話 (情動発話) において発話目標は存在しないと考える。つまり、激怒に対応する声質を生成しようと意図して発話器官を制御するのではなく、激怒が発話器官を含む身体の変化を引き起こし、その結果、聞き手に「この人は激怒している」と認識させる声質が生じると考える。

藤崎 [13] は、音声に含まれる情報を、言語情報、パラ言語情報、非言語情報の3つに分類している。そして、感情を一般には話者が意識的に制御しないものとして非言語情報に含めている。彼のいう「感情」は本稿における情動に対応すると考えることができる。

一方、高等感情に伴う発話においては発話目標が存在しうる。そして、話者による音響特徴の制御も可能である (暗黙のうちに) 「怒った声」などの発話目標の存在を仮定していた多くの感情音声研究では、この高等感情を対象にしていたと考えることができる。

多くの場合、情動は身体に緊張 (tense) または弛緩 (lax) を引き起こすと考えられる。発話器官の緊張と弛緩は、音声に様々な音響的变化を与え [14]、話者の情動を知る手がかりとなる。例えば、喉頭の力みは声帯音源波に影響を及ぼす。また、緊張により声道壁の音響インピーダンスが上昇すれば、音声スペクトルの高周波数帯域まで鋭いピークが存在するようになる。

以降の節では、本節で提案した仮説を MRI 観測により検証することを試みる。

## 3 方法

### 3.1 被験者

日本人の俳優2名 (40代男性1名, 30代女性1名) を対象に MRI 撮像を行った。本研究の前に演劇経験のない被験者を対象にして同様の実験を試みたが、MRI 内で、かつ仰臥位にて感情豊かな発話を行うことは極めて困難であった。そこで、本研究では意識的な感情表現の訓練を積んでいる俳優を被験者にした。

### 3.2 対象とした情動

対象とした情動は「平静」「激怒」「喜び」「悲しみ」の4種である。これらの情動下において、発話なしの状態を1回、持続母音「ええ」の発話状態を2回撮像した。

被験者には表1の話者AとBによる対話例を文書で示し、発話なしの状態の撮像では話者Bの気持ちになるよう、発話状態の撮像では下線部を発話するよう依頼した。括弧内の指示も文書に記載した。また、発話なしの状態は「ええ」の構音をして発話の準備をするものではないことも伝えた。さらに、当該の情動を表情でも表現するよう依頼した。情動の発露においては、身体の一部のみを制御することができないと考えたからである。

表 1: 被験者に提示した対話例

情動	対話
激怒	A: 「あの話は全部ウソだったんです」 B: (殴りかからんばかりの怒りで)「 <u>ええ!</u> 許せない!」(驚きではなく怒りを表現)
喜び	A: 「内定が出たんだって?」 B: 「 <u>ええ</u> , そうなんです」(ほっとしたというのではなく喜びを表現)
悲しみ	A: 「あの皿(高価な皿)を割っちゃったんだって?」 B: 「 <u>ええ</u> , そうなんです」

### 3.3 MRI 撮像法

撮像に用いたMRI装置は、ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタに設置された島津 Marconi 社製 MAGNEX ECLIPSE 1.5T Power Drive 250 である。撮像条件を表2に示す。これらのパラメータは、被験者が被験音を一息で発話する間に撮像するために調整されたもので、声道領域を含む3次元画像を約15秒で撮像できる。

被験者には、必ずしも撮像中に発話を持続させる必要はなく、自分自身の情動表現で発話するよう依頼した。また、撮像中に息が切れた場合には、声道形状をそのまま保持し、できるだけ呼吸しないように指示した。

撮像時の音声は光マイクロフォン(Phone-Or SOM)[15]とソリッドステート・レコーダ(Marantz PMD-670)を用いて収録した。撮像後、実験者が収録音声を聴取し、指定した情動に起因する音声に聴こえることを確認した。

## 4 結果

女性被験者と男性被験者の発話時と不発話時の正中矢状断面をそれぞれ図1と2に示す。

まず、女性被験者の結果について述べる。激怒の場合には、発話の有無に関わりなく、下顎が後方に引かれ、咽頭腔および喉頭腔が狭窄している。さらに、喉頭の位置が平静よりも高くなっている。これらは咽頭や喉頭が緊張し力が入っていることを示唆している。喜びの場合、発話の有無によらず、下顎が下降し、咽頭腔および喉頭腔が開大している。そして、

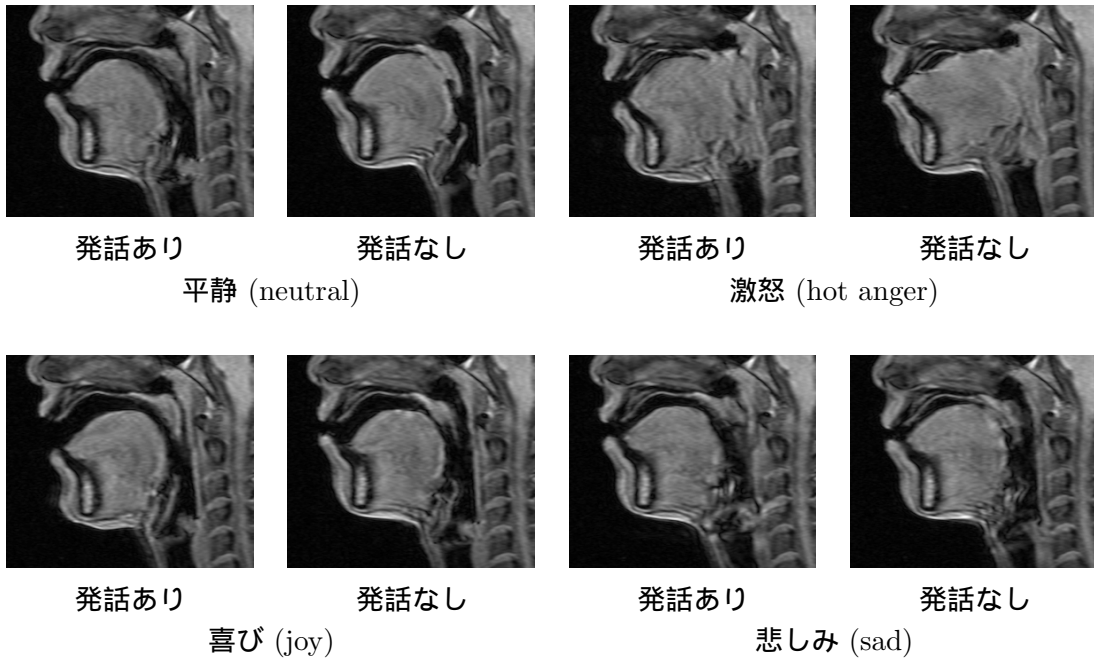


図 1: 女性被験者の 4 つの情動（平静，激怒，喜び，悲しみ）における正中矢状断面の MR 画像「ええ」の発話をした状態（発話あり）と発話をしていない状態（発話なし）における画像。

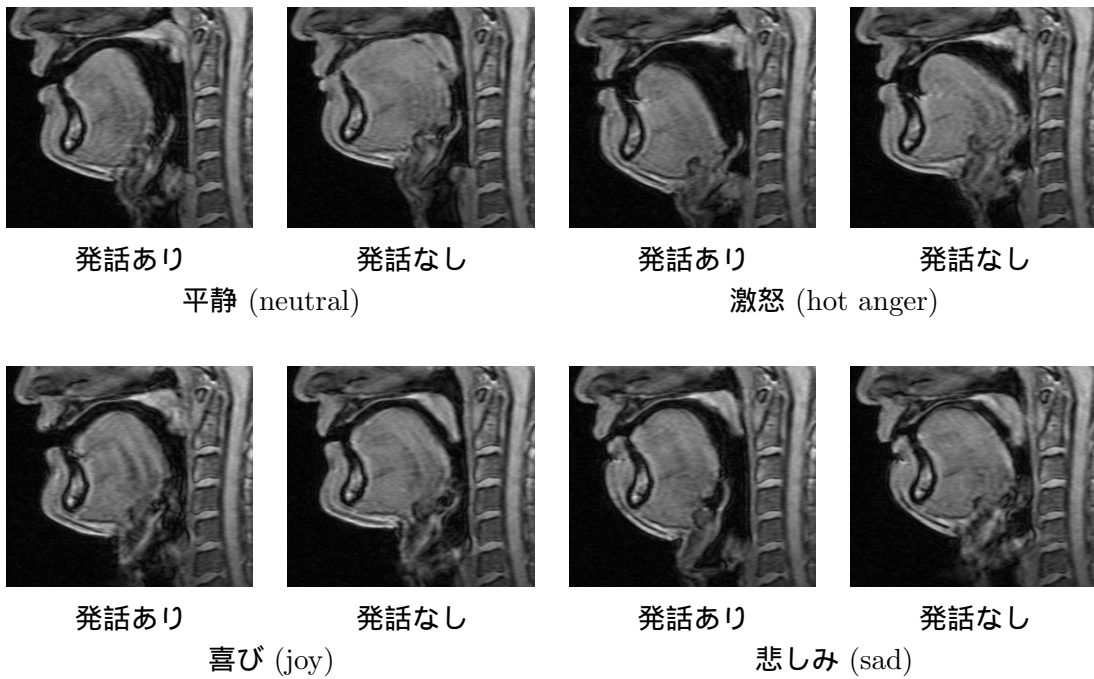


図 2: 男性被験者の 4 つの情動（平静，激怒，喜び，悲しみ）における正中矢状断面の MR 画像．発話ありと発話なしの画像．

表 2: MRI の撮像条件

撮像シーケンス	Fast Spin Echo 法
Echo time (TE)	3.36 msec
Repetition time (TR)	10.0 msec
Flip angle (FA)	10°
撮像領域	256×256 ( 分解能 512×512 pixels )
スライス	矢状方向, 厚み 2.5 mm, 間隔 2.5 mm
加算回数	1 回

喉頭の位置は平静よりも低くなっている。これらは咽頭や喉頭が弛緩し、力が抜けていることを示唆している。悲しみの場合には、発話の有無に関わらず MR 画像にぶれが見られる。これは撮像中にこの部位が動いたことを示している。

男性被験者の場合も情動による発話器官の変化が観察されるが、上記の女性被験者の変化とは異なる点がある。これは情動が発話器官に与える影響には個人差があることを示している。激怒の場合、発話の有無に関わりなく、舌を前方に押し出している様子が見てとれる。これによって咽頭腔上部及び口腔後部の容積が増大している。一方、喉頭腔は平静と比較して狭窄しており、この点は女性被験者と一致する。しかし、喉頭の位置は平静よりも低くなっており、女性被験者とは異なる。喜びの場合には、発話の有無によらず、咽頭腔下部と喉頭腔が開大している。この点は女性被験者と同じであり、これらの部分が弛緩していることを示唆している。しかし、下顎がやや突き出されている点と MR 画像にぶれが見られる点は女性被験者と異なる。悲しみの場合、この男性被験者は発話の有無に関わらず下顎を引き上げ、舌を上昇させている。そのため、他の情動の場合と比較して発話時の狭めが狭窄している。

以上の結果により、発話の有無にかかわらず発話器官は情動により影響を受け、さらに発話時と不発話時の発話器官の変化には同様の傾向があることが明らかになった。この結果は、たとえ発話をしなくても発話器官は情動により変化し、かつその変化の傾向は発話時も維持されることを示している。これらのことは、我々が提案した仮説を支持する結果といえる。

## 5 おわりに

本研究では、情動を伴う発話では発話目標が存在せず、情動による身体的変化の副作用として声質変化が生じ、情動音声（情動に伴う音声）が生成されるとする仮説を提案した。この仮説は、情動に関わる脳部位が発話運動制御にも関わるという脳神経科学の知見を背景にしている。そして、本研究では、MRI を用いて情動が発話器官に及ぼす影響を観測することによってこの仮説の傍証を試みた。男女各 1 名の俳優を対象にした実験の結果、激怒、喜び、悲しみによる発話器官の変化は発話時と不発話時において同じ傾向を示した。この結果は、我々が提案した仮説を支持する結果といえる。今後、被験者を増やしさらに検討を進める予定である。

また、硬性側視鏡を用いた直接的観測により、情動下での咽頭腔及び喉頭腔の変形についても調査している。まだ予備的な段階ではあるが、本研究の結果と同様に、情動下では発話

時の有無によらず同じ傾向の変形が観測されている．この観測法による検討もさらに進める予定である．

## 謝辞

本研究の一部は，2009年度総務省SCOPE(071705001)の援助を受けた．ご助言，ご議論いただいた，赤木正人先生（北陸先端科学技術大学院大学），榊原健一先生（北海道医療大学），及び本多清志様に感謝いたします．

## 参考文献

- [1] 本多, 3章 音声の生物学的基礎, 音声, 岩波書店 (2004).
- [2] 二木, 情動のメカニズムの探求, Riken BSI News, 3 (1999).
- [3] 高橋ら, 2章 感情の起源, 感情の心理学, 日本放送出版協会 (2007).
- [4] 杉田, 情動の表出と理解の神経機構, 信学誌, 89(1), 17–21 (2006).
- [5] Jürgens, Neural pathways underlying vocal control, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 235–258 (2002).
- [6] Jürgens, The neural control of vocalization in mammals: A review, *J. Voice*, 23(1), 1–10 (2007).
- [7] Davis *et al.*, Neural control of vocalization: Respiratory and emotional influences, *J. Voice*, 10(1), 23–38 (1996).
- [8] 吉田, 嚙下および発声に關与する筋を支配する運動ニューロンの中樞神経内の局在, 呼吸・嚙下・発声の制御, 篠原出版, 9–43 (1982).
- [9] 福田, 感情の階層性と脳の進化: 社会的感情の進化的位置づけ, 感情心理学研究, 16(1), 25–35 (2008).
- [10] ダーウィン, 浜中訳, 人及び動物の表情について, 岩波書店 (1931).
- [11] 吉川編, 顔と心: 顔の心理学入門, サイエンス社 (1993).
- [12] 藤崎, 音声の韻律的特徴における言語的・パラ言語的・非言語的情報の表出, 信学技報 HC94(217), 1–8 (1994).
- [13] Laver, *The phonetic description of voice quality*, Chap. 4, Cambridge Univ. Press. (1980).
- [14] コバテル(株), (株)アコー, 光マイクロホン騒音計, 音響誌, 64(11), 686–689 (2008).