

# 「匂い」を脳波から捉える

## Considering “smell” from Electroencephalography Study

兒玉 隆之 京都橘大学  
Takayuki KODAMA Kyoto Tachibana University

**Keywords :** *Smell, Emotion, Electroencephalography*

### 1. はじめに

ヒトの脳は、長い進化の過程の中で、古い脳の上に新しい層を積み重ねて作られてきた。そこには、ヒトならではの手を使った巧緻動作や二足での歩行動作といった、複雑な動きを可能にするための幾度とない挑戦があったからであるといえる。この複雑な脳の進化は、単に感覚入力と運動出力を結び付けることだけで成し得たものではない。絶え間ない外界からの様々な感覚情報に対応しながら、それらを捉え、情動や感情を基盤に意思や思考、創造を発動させることで発達させてきた。脳に入力された感覚情報を適切に統合し組織化していく処理過程を感覚統合というが、この感覚統合にはどのような感覚情報が入力されるかが重要となり、それによって出力応答内容が変化する。中でも、嗅覚は、感覚系において特に個体の行動と密接に関連する感覚情報とされ、ヒトの創造性を広げ生活を豊かにする可能性をもつものと考えられている。元来、ヒトの嗅覚は、視覚や聴覚といった主感覚とは違いむしろ従感的な役割と考えられてきた。しかし、このヒトの嗅覚は、八千万種以上の匂いを識別し、視覚や聴覚、触覚（体性感覚）などの他の感覚が機能しない状況下でも、常に機能している。そして、これら他の感覚が薄らいってしまったあとも、匂いは頭の中に記憶として残っている。匂いと脳の関係について、進化論的には、左右大脳半球は、嗅球や嗅索などから成る嗅葉といわれる旧皮質領域が発達したものとされている。海のような水の中でも働かせることのできる嗅覚器官は、いわば遠方探知器の受信装置のようなものともいわれており、海の中での進化とともに、必然的に匂いに関連する脳領域が最初に発達したとされる。

ヒトの第一次嗅覚皮質野は、側頭葉内側部に存在しているが、発生学的には古皮質であり三層構造となっている [1]。嗅内皮質は、同じく古皮質である記憶や学習に携わる海馬へ情報を伝達し、情動反応の処理や記憶固定に携わる扁桃体へと伝えられる。そのため、匂いが単に物理的な感覚情報であれば、匂いの感じ方には個人差が生じないはずであるが、実際には同じ濃度の匂いであっても感じ方は異なる。多くの研究から、質と強度が匂いを決める要素として明らかになればなるほど、感受性の異なるヒトにおいてはその影響を客観的に結論付けることが難しくなる。匂いが、他の

感覚に比べ短い神経伝達プロセスで処理され、新皮質の担う高次機能と旧古皮質の担う記憶や情動が関連しながら処理されていくことを考えると、これらのメカニズムを解明するためには、ヒトそれぞれの一瞬一瞬における心や意識といった領域にも踏み込んで考える必要がある。そのためには、匂いの心象や官能的側面の評価のみならず、刻一刻と変動する匂いの影響を受けた脳の活動状態を、いかにリアルタイムに捉えるかが、匂いの本質的な評価となるのではないと思われる。本稿では、まず匂いが脳内でのどのように処理されていくのかについて概説し、近年、飛躍的に発展を遂げてきた非侵襲脳機能計測法である脳波解析を用いた匂いの研究を中心に、脳は匂いをどのように捉えているのかについて考えてみる。

### 2. 匂いの脳内情報処理

#### 2.1 匂いの受容機構

嗅覚神経ネットワークともいえる匂いの情報処理機構の解明には、Buckら [2] が行った嗅細胞膜に存在する嗅覚リセプター蛋白の遺伝子クローニング研究が重要な報告の一つとなった。この報告により、匂い受容体遺伝子は、ヒトでは約350個の多重遺伝子ファミリーを形成していることが明らかとなり、嗅細胞におけるトランスダクション機構の基本原則が初めて解明された。個々の嗅細胞は一種類の匂い分子受容体を発現することも明らかにされてきた [3]。さらに、嗅細胞から伸長する嗅覚神経が、嗅球に分布する糸球体へ投射する嗅神経ネットワークの原理について飛躍的に解明がなされている [4]。中でも、嗅球内の匂いの種類に応じた「匂い応答地図」は、匂い分子の化学的構造に基づいた表現を担っており、嗅覚も視覚や体性感覚情報と同様に脳内で空間的表現が行われているものと理解できる。そして匂い応答地図には、後天的に獲得された匂いの質を処理するための神経投射のみならず、先天的に侵害的な刺激に対する忌避反応を誘発するような遺伝子が組み込まれた神経投射も関係していることが明らかとなっている。

では、嗅覚情報は、さらに上位の嗅覚領域ではどのように処理されていくのであろうか。多様な領域で構成される中、梨状皮質は主要な研究対象とされてきた [5]。Gireら [6] は、梨状皮質ニューロンの電気生理学的解析を用いた研究の

中で、匂いに対するニューロンの発火活動は、その匂いを「報酬」と結びつける連合学習によって変化を示し、匂いが意味する報酬の大きさ、つまり匂いの価値判断と有意に関連することを報告した。嗅上皮と嗅球が匂いの種類を同定し、梨状皮質の神経活動は、匂いの処理に関連する連合線維を介する入力性に大きく依存している [5] ことから、本脳領域は、匂いの種類を判別することより、脳内のネットワークを利用して、意味づけや価値づけの役割を担うものと思われる。これは、応答行動としての行動選択に向けたアクティベーターとしての可能性を有する。

## 2.2 高次脳における匂いの情報処理

ヒトは匂いを脳内でどのように処理し、心身や行動へどのように結び付けていくのか。我々は、生活の中で何らかの匂いを嗅ぐと、過去の出来事（記憶）を鮮明に想起する（プルースト効果）ことがある。例えば、木材を燃やす煙の匂いは、暖炉やストーブから発せられる状況であれば心地よさを感じるかもしれないが、そのような状況でない所で嗅ぐと不安を惹起させるかもしれない。同じ匂いであっても、環境や行動の文脈に依存して「快」とも「不快」とも処理される。これらのことは、嗅覚が複雑なメカニズムによって処理されていることを示唆する。つまり、匂いが脳内で表象されるためには、単に感覚量や刺激量といった情報を脳内処理することだけでなく、意識状態の如何に関わらず情動、記憶や注意などの脳機能との関連が必要な要素であると考えられる。

神経学的にみると、嗅球より上位の神経路は、視床を経由する経路と経由しない経路の二つが明らかとなっている（図1）。そして、嗅覚神経は新皮質に存在する前頭眼窩野に最終的に投射する前に、海馬や扁桃体などの旧皮質の他の部位を経由する。梨状皮質から嗅内皮質を介して海馬へ入力する経路では「認識」に関する情報が、一方、扁桃体周囲皮質を介して扁桃核へ入力する経路では「情動」に関する情報が、それぞれ階層的な段階を経て並列に処理されている [7]。

大気中には、無数の揮発性低分子が存在するとされる中、ヒトは40万種以上の分子を匂いであると推定されている [8]。脳はこの膨大な情報をどのように処理し脳内表象へと変容させていくのであろうか。これらを解明していく上での

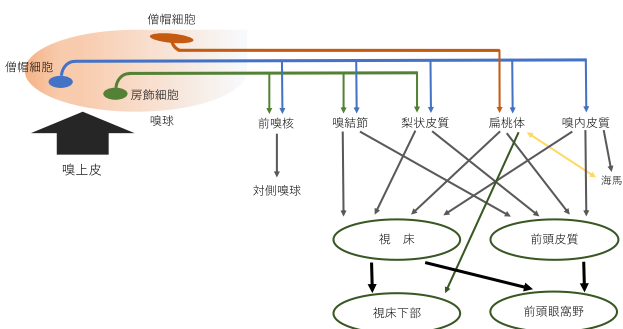


図1 嗅覚の処理経路

一つの手がかりとして、「脳の機能局在」がある。機能局在とは、脳（主に大脳皮質）が領域ごとに異なる機能を担っているとする理論である。機能局在は、ブローカやウェルニッケの失語症に関する臨床解剖学的記述によって発展を遂げた。そして20世紀初頭に、大脳皮質の細胞構築学的分類による機能的区分を実証的に行ったブロードマンは、「脳地図」を作成し機能局在を詳細に作り上げた。このブロードマンの脳地図は、もともと脳の各領域の層構造の違いに基づいた分類であったが、この分類は機能的差異にもつながることが多くの報告で示されてきた。現在では、脳機能局在論に対して否定的な立場もあり、脳の機能は脳全体で処理されているという全体論的な考えも展開されているが、著者は両者からの解釈が必要と考えている。匂いに対する脳の反応は、全頭的な評価から捉えながらその様相や局在性を明らかにすることが重要である。そして匂いは一瞬にして脳内へ入力され処理される。そのため、時間分解能に優れた解析方法が必要となり、かつその結果が情動、認知機能さらには行動との因果性を証明できるものとならなければならない。脳波を用いて匂いを捉えることは、これらのことを解決できる一つの手段となりうる可能性を秘めている。

## 3. 脳波による匂いの脳機能評価

### 3.1 脳波とは

近年、ヒトの匂いに関する脳内情報処理の研究は、脳波 (Electroencephalography : EEG)、磁気共鳴機能画像法 (functional Magnetic resonance imaging : fMRI)、脳磁図 (Magnetoencephalography : MEG) や陽電子放射撮像法 (Positron emission tomography : PET) などによる非侵襲脳機能計測法の発展に伴って進歩を遂げてきた。これらの計測法には、時間分解能を得意とするものや空間分解能を得意とするものなどそれぞれの特徴がある（図2）。

脳波は、1924年にドイツの精神科医ハンスベルガーがヒトで初めて計測を行い、1929年にヒトの脳内電気活動には様々な波形成分やリズムがあることを報告して以来、医学を中心に様々な領域で長きに渡って用いられている。他の計測法に比べ、非侵襲性が高く、特に時間分解の側面

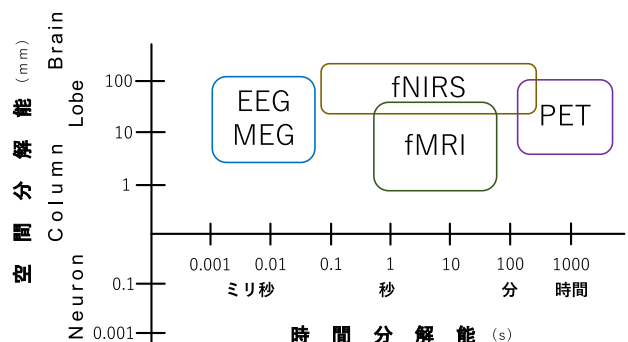


図2 非侵襲脳機能計測法の比較

「匂い」を脳波から捉える

から解析が必要な研究においては有用な脳機能計測法である。脳波は、ニューロンから生じる電気的活動を、頭皮上や頭蓋内から電極間の電位差として計測したものである。その発生源は、大脳皮質錐体細胞の樹状突起におけるシナプス電位（主にシナプス後電位）とされ、数十万から数百万単位のニューロンの電位が加重されて脳波として計測が可能となっている。一般に脳波といえば、狭義には自発的に生ずる基礎活動あるいは背景活動のことを指す。この活動の解析手法は、周波数解析などを用いて基礎律動を判読し、その特性を神経生理学や心理学的側面などから評価することで行われる。一般的には次のような周波数で分類される。

- ▶  $\delta$  (デルタ) 波: 2(1.5)~4(6) Hz 帯域。睡眠時に出現。脳外傷でも出現する。
- ▶  $\theta$  (シータ) 波: 4(6)~8 Hz 帯域。眠気にて出現。記憶想起、イメージ時や緊張からの解放時に出現する。
- ▶  $\alpha$  (アルファ) 波: 8~13 Hz 帯域。リラックス時に頭頂後頭領域に出現・増加。深い自己内観時にも増加する
- ▶  $\beta$  (ベータ) 波: 13~30(24) Hz 帯域。覚醒時や集中時に出現・増加。脳神経活動の基盤となる帯域である。
- ▶  $\gamma$  (ガンマ) 波: 30(24)~70(100) Hz 帯域。注意・認知処理時に出現・増加。感覚統合時に出現する。

一方、外部から刺激を与えることにより、その刺激に対する反応として出現する波形は、誘発電位や事象関連電位 (Event-related potentials : ERP) (以下、ERP) といわれる。ERPは、脳内における予期、知覚、注意、判断、意思決定などの認知処理過程に関連した神経活動を反映した電位である。1946年にWalterらが、期待、意欲や動機づけなどに関連する随伴陰性変動 (Cognitive negative variation : CNV) を報告して以来、様々な脳波波形が報告されてきた。中でも、P3 (もしくはP300) 成分は、ERPの代表的な脳波成分であり、視覚や聴覚刺激を中心としたオッドボール課題のような認知課題を行った際に生じる内因性の活動電位を反映したものである。波形の時間要素を現す潜時は、刺激事象に対する脳内情報処理速度の指標とされ、振幅は、認知文脈が更新された際に向けられる注意資源量を反映した指標と考えられている [9] (図3)。

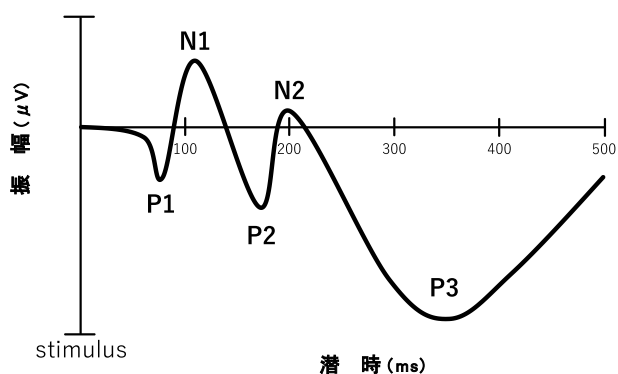


図3 事象関連電位

3.2 匂いの脳波研究

ヒトにおける嗅覚の非侵襲脳機能研究は、これまで様々なツールを用いて行われているが、EEG研究が最初とされる。1962年、Moncrieff [10] は、匂い刺激時の脳波の原波形を視察して $\alpha$ 波帯域の神経活動が抑制されることを報告した。1967年、Allisonら [11] が匂いをヒトの鼻孔に吹き付ける方法によって大脳頭皮上から嗅覚誘発脳波を計測することに成功し、匂いの脳内応答を脳波によって記録した。さらに、外池ら [12] は、被験者の呼吸の吸期に同期して匂いを短いパルス状にして鼻孔に吹き付ける呼吸同期式匂い刺激法を用いて刺激後約1秒間の応答脳波波形を算出し分析した結果、波形成分のもつ神経生理学的情報が主観的な匂い知覚成分と対応する可能性を明らかにした。さらに現在に至るまで、脳波を用いた様々な匂いに関する神経生理学的研究が進められてきた。

古賀 [13] は、臭気時の安静脳波活動について検証しており、無臭対象として設定したホホバ油臭に比べ、ムスコン臭は後頭部の $\alpha$ 波帯域の振幅値を減少させることを報告した (図4)。

嗅覚刺激を用いたERP研究では、嗅覚事象関連電位 (Olfactory event-related potentials : OERP) (以下、OERP) と呼ばれるERP同様の成分指標が用いられている。匂いの刺激濃度が高くなると、刺激の知覚に伴って一般的注意を反映するN1成分や、選択的注意によって誘起されるP2成分は大きく増幅される。これらの成分は、刺激に対する脳内注意資源量が大きいほど高振幅に記録される。OERPを用いた臨床研究では、統合失調症を呈した患者は、健常者と比較しN1およびP2成分の振幅が大きく減少 [14] し、アルコール依存症患者はN1-P2潜時の遅延とP2成分振幅値の減少を示す [15] ことが報告されている。一方、P3成分は、N1やN2に比べ処理過程に様々な要因が影響を及ぼす。匂い刺激の呈示時間の違いは潜時の変化をもたらし、匂いを暴露させた際の認知課題時のP3成分は、振幅が影響を受けるなど、刺激条件や課題によって振幅や潜時が変化することが明らかとなっている [16]。

これらのように、脳波は、頭皮上の電極によって脳内で生じた神経細胞群による集合的な電位を経時的に記録し、匂いが及ぼす繊細な脳機能の変化を捉えることを可能としている。しかし、細胞から頭皮上までの構造が違うことから、電気抵抗率にも違いが発生し電界歪の影響が生じるため、空間分解脳

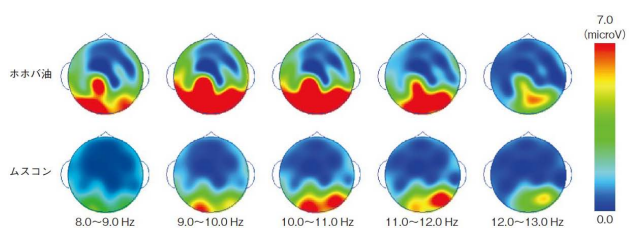


図4 香りが $\alpha$ 波帯域の活動に与える影響 [13]



が低い点が短所とされ、脳内神経活動領域や責任領域を推定することが精度上困難とされてきた。近年、脳内の活動信号源を推定する解析手法の発展に伴い、脳機能イメージング手法として神経活動領域を標準脳画像へ重畳し描き出せることができるようになってきている。著者は、この手法の一つであるLORETA (Low resolution brain electromagnetic tomography) 解析 (<https://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>) を用いて研究を行っている。これにより時間的・空間的側面から脳活動を検証することが可能となる。

## 4. 匂いが及ぼす脳機能への影響

### 4.1 匂いと認知機能

脳は、匂いを意識的に検出せずともその影響を受けることが明らかになってきている。このことを検証した最初の研究として、Kirk-Smithら [17] は、検出されない匂いであっても不安を生み出す無意識の条件付けになることを発見し報告した。さらに、Lorigら [18] は、この研究を発展させ脳波を用いて検証している。方法は、ガラクソリド (麝香臭) を臭気刺激とし、それを低、中および高濃度条件に分類し投与した際の脳波を分析した。低濃度は、意識的に検出できないレベルの臭気であった。続いて、被験者は、ランダム化された順序で提示されたすべての濃度条件および無臭統制条件下にて、文字検出課題という認知課題を実施し、検出までの反応時間を計測した。その結果、低濃度条件に比べ無臭統制条件の方が $\alpha$ 波帯域の活動値が大きくなった。また、反応時間においては、低濃度条件は、無臭統制条件に比べ約二倍の時間を要する結果となった。さらに、匂いが及ぼす認知過程への影響を調べるために、事象関連電位P2とP3成分を用いて検証を行っている。方法として、臭気中まれに発生する聴覚刺激 (低音のトーン) の出現回数を数えるように課題設定し、その際のERPを算出した。その結果、P2およびP3成分は無臭統制条件に比べ臭気暴露時に振幅値は増加した。これらのことから、匂いは、意識的に検出されない場合でも、心身の緊張状態に影響を及ぼし、行動に関連した中枢神経系への影響、つまり適切な刺激評価や認知機能の遂行に必要な「文脈の更新」のプロセスに影響を及ぼす可能性を有することが明らかになった。

また、匂いと記憶の機能の関連について、これまでの研究では、EEG計測を行うと $\beta$ 波から $\gamma$ 波帯域の神経オシレーション (振動) 活動が観察されることが知られている。この神経オシレーションの同期が、特化した機能をもつ脳領域群を統合させる役割を持つことが明らかにされてきた。Igarashiら [19] は、海馬依存的な学習である「匂い-場所」連合課題をラットに対して実施し、85%以上の正答率が得られるまで三週間トレーニングさせ、その期間中の神経活動について検討している。その結果、学習に伴い嗅内皮質と海馬の20-40 Hz帯域のオシレーション活動の同期が強化された。嗅内皮質の外側部は、嗅球や梨状皮質からの直接投射を受けて嗅

覚信号を海馬へと送り込む領域であり、海馬に豊富な神経連絡を作っている。そのため、20-40 Hz帯域の同期強化が、嗅皮質-海馬ネットワークの機能的結合を促進している可能性を示唆している。Buzsákiら [20] も、陳述記憶の記録および想起の過程において、嗅内皮質と海馬のオシレーションが作用していることを報告している。日常の中でよく起こるブルースト効果の神経基盤にも、この活動同期性が関与するかもしれない。ヒトの嗅覚は意識下に存在し、無意識のうちにヒトの脳活動や行動に影響を与えている [21]。Larssonら [22] は、対象者に音、匂い、絵や単語などの手がかりを与えて自身の体験を想起してもらった際、匂いを手がかりにした条件は、他の感覚刺激や言葉刺激の条件に比べ、自身に関する事象や状況、感情などを鮮明に思い出す傾向が強くなることを報告している。興味深いのは、半ば受動的な嗅覚刺激によって、それをきっかけに記憶が意識化されることである。そして単に言語的な想起にとどまらず、その時に感じた情動や感情といったものを伴う記憶として思い出されるのである。匂いによる記憶想起の際には、扁桃体-海馬ネットワークが強く活性化され、前頭前皮質の神経活動性は相対的に少ない [23] とされる。これらのことは、匂いをきっかけとする記憶想起の神経基盤には、認知機構よりも情動が大きく影響を及ぼしている可能性を示唆している。

### 4.2 匂いと情動

匂いによって惹起される快・不快のような情動は、大脳辺縁系、主に扁桃体の活動によって生じる。情動は、刺激や様々なきっかけに対し直接的に脳内で意識されるものではなく、むしろその多くを前意識的に評価したのちに、情動を内言語的に顕在化させる機構の働きによって惹起される。これを二次情動というが、この二次情動では、扁桃体を中心とする情動回路の中の特に前頭皮質にある前頭眼窩野が大きな役割を果たす [24]。先に概説したOERPを用いて、バラの香気成分 ( $\beta$ フェニルエチルアルコール) が性差に及ぼす影響を検討した研究 [25] でも、嗅覚検査を行い、認知閾値や検知覚値といった嗅覚閾値にはともに差は認めなかったが、P3成分には性差を認めた。つまり、嗅覚閾値などの低次機能の差ではなく、香りによって影響を受けた情動やより高次な皮質レベルでの機能の性差を反映した可能性を示唆している。前頭眼窩野は、匂いの検出時よりも匂いの親しみやすさを判断している際に活動性をより高め [26]、機能解剖学的な性差を有することも明らかとなっていることから、本結果には、本領野の関与が推察される。

これまで、情動に関連する脳機能に関して、自己や他者の心の世界の推論に関連するメンタライジングネットワークや身体認識の顕著性に関連するサリエンスネットワークなど、いくつかのネットワークが明らかとなっていった。その背景には、脳機能は合目的な条件下では、並行的あるいは相互依存的に活動する機能的ネットワークとして捉えることの必然性が存在する。その中の一つに、前頭眼窩野の一部をネット

「匂い」を脳波から捉える

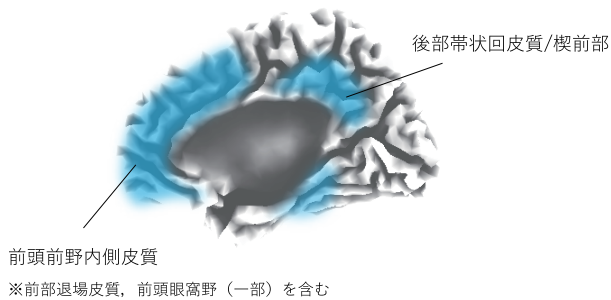


図5 デフォルトモードネットワークの脳領域

ワーク領域とする「デフォルトモードネットワーク (Default mode network) [27]」がある。これは、前頭前野内側皮質、後部帯状回皮質や楔前部など大脳皮質正中線上に位置する領域から成り立っている (図5)。

デフォルトモードネットワークは、外へ意識的な注意を向けず、安静にしている状態で脳活動が高まる集合的な脳領域の総称である。本ネットワークは、自己の身心内部に注意が向けられている時と関係があり、自身の身体状態や感情状態の認識と深く関わっているとされている [28]。これまで、デフォルトモードネットワークにおける神経活動性の変化については、 $\alpha$ 波帯域で検証した研究が報告されている。本帯域の成分は、安静状態における情動変化を反映する脳波であり、緊張状態やストレス状態時には振幅値やパワー値が大きく変動する。

匂い刺激に対する $\alpha$ 波帯域の変動を検証した研究報告では、好ましいと感じた快適臭はパワー値を増加させるという報告 [29] がある一方、Toriiら [30] は、好みの匂いを嗅いだ時にはパワー値は減少するとしており、その理由に情動や感情の誘起を挙げている。著者らは、段階的に濃度を変化させたアンモニアを臭気刺激として、それらに対する瞬間的な情動変化について、 $\alpha$ 波帯域成分を用いて比較検証した [31]。 $\alpha$ 波帯域の活動値には、デフォルトモードネットワークのハブとされる頭頂葉楔前部領域の神経活動値をLORETA解析にて算出し用いた。その結果、意識的には不快な匂いと評価されなかった濃度の臭気刺激においても、無臭統制条件と比較して有意に神経活動値は減少を示した。この結果は、不快な匂いが $\alpha$ 波帯域の活動性を減少させることを明らかにしたことだけでなく、匂いの処理システムにおいては、意識的な認知理解と、無意識に脳内で処理される情動反応の間に機能的な差異を有することを明らかにしたものと考えられる。ヒトの匂いの知覚強度は対数関数的な増減を行うため、一概にアンモニア含有量に比例して快不快が誘起されるものではない。そのため、匂いに対する意識的な主観感情は、一定の刺激量に達することでしか誘起されないであろう。匂いの脳内表現を捉え可視化するという事は、単なる嗅覚刺激の受容から誘起される経験、知識を加味した意識的な主観的判断のみを意味するのではなく、その根底にある情動との関連性、つまりネットワークの視点から総合的に評価していくことなのではなかろうか。

## 5. おわりに

匂いの非侵襲脳機能計測研究は、近年著しい発展を遂げ、従来未解明であった嗅覚の情報処理システムに新しい重要な知見を与えつつある。このような中で、匂いの処理過程においては記憶や情動の機能が大きな影響を及ぼすことが明らかにされてきた。そして、より高次の嗅覚皮質が働くことでさらにそれらは意識化されていく。ヒトの脳は、入力された情報とそれに対してどのように応答するか情報を常に“結び付け (バインディング)”している。嗅覚で言えば、匂いといういわばボトムアップ的なひとつの入力情報をきっかけに、嗅いだそのヒトの匂いに関するこれまでの情動的・認知的な記憶や知識をバインディングさせるのである。そのことによって、時に脳は無意識に匂いに反応し、さまざまな感情を発現させ、生きていくために必要な行動や行為へと匂いを活かしていくのである。しかし、嗅覚情報が並列的かつ階層的な複雑な処理経路の中でどのようにバインディングされているかは、まだ未解明の課題である。匂いが心身へ及ぼす影響をより詳細に検証するためには、脳内の時間的空間的側面からの検証が必要である。そのための解決の一つの手段に、脳波解析がなるかもしれないと考えている。

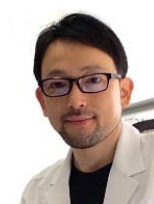
## 参考文献

- [1] Haberly, L. B., and Bower, J. M.: Olfactory cortex: model circuit for study of associative memory?, Trends in Neurosciences, 12(7), pp.258-264, 1989.
- [2] Buck, L., and Axel, R.: A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition. Cell, 65(1), pp.175-187, 1991.
- [3] Mori, K., and Sakano, H.: How is the olfactory map formed and interpreted in the mammalian brain?. Annual Review of Neuroscience, 34, pp.467-499, 2011
- [4] Serizawa, S., Miyamichi, K., Nakatani, H., et al.: Negative feedback regulation ensures the one receptor-one olfactory neuron rule in mouse. Science, 302(5653), pp.2088-2094, 2003.
- [5] 山口正洋: 匂い情報の皮質処理: 嗅皮質の構造と機能について, 生体の科学, 68(1), pp.64-68, 2017.
- [6] Gire, D. H., Whitesell, J. D., Doucette, W., et al.: Information for decision-making and stimulus identification is multiplexed in sensory cortex. Nature Neuroscience, 16(8), pp.991-993, 2013.
- [7] 小野田法彦, 須貝外喜夫: 嗅覚中枢の神経生理学, におい・かおり環境学会誌, 35(4), pp.175-181, 2004.
- [8] 五十嵐景, 吉田郁恵, 森憲作: 脳における匂い感覚地図, 生体の科学, 58(4), pp.300-307, 2007.

- [9] 兒玉隆之, 片山脩, 森田喜一郎: 脳波研究をいかにリハビリテーションへ活用するか, 機器・試薬, 41(2), pp.97-102, 2018.
- [10] Moncrieff, R. W.: Effect of odours on E.E.G. records, Part I. Perfumery Essential Oil Rec, 53, pp.757-760, 1962.
- [11] Allison, T., and Goff, W. R.: Human cerebral evoked responses to odorous stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 23(6), pp.558-560, 1967.
- [12] 外池光雄, 栗岡豊: 呼吸同期式嗅覚刺激による嗅覚誘発電位の精密計測, 脳波と筋電図, 9(3), pp.214-223, 1981.
- [13] 古賀良彦: 脳波の現状と今後の発展, 臨床検査, 57(10), pp.1070-1076, 2013.
- [14] Kayser, J., Tenke, C. E., Malaspina, D., et al.: Neuronal generator patterns of olfactory event-related brain potentials in schizophrenia. *Psychophysiology*, 47(6), pp.1075-1086, 2010.
- [15] Maurage, P., Callot, C., Philippot, P., et al.: Chemosensory event-related potentials in alcoholism: a specific impairment for olfactory function. *Biological Psychology*, 88(1), pp.28-36, 2011.
- [16] Tang, B. B., Wei, X., Guo, G., et al.: The effect of odor exposure time on olfactory cognitive processing: an ERP study. *Journal of Integrative Neuroscience*, 18(1), pp.87-93, 2019.
- [17] Kirk-Smith, M. D., Van Toller, and C., Dodd, G. H.: Unconscious odour conditioning in human subjects. *Biological Psychology*, 17(2-3), pp.221-231, 1983.
- [18] Lorig, T. S.: EEG and ERP studies of low-level odor exposure in normal subjects. *Toxicology and Industrial Health*, 10(4-5), pp.579-586, 1994.
- [19] Igarashi, K. M., Lu, L., Colgin, L. L., et al.: Coordination of entorhinal-hippocampal ensemble activity during associative learning. *Nature*, 510(7503), pp.143-147, 2014.
- [20] Buzsáki, G., and Moser, E.: Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal-entorhinal system. *Nature Neuroscience*, 16(2), pp.130-138, 2013.
- [21] Lorig, T. S., Huffman, E., DeMartino, A., et al.: The effect of low concentration odors on EEG activity and behavior. *Journal of Psychophysiology*, 5(1), pp.69-77, 1991.
- [22] Larsson, M., Willander, J., Karlsson, K., et al.: Olfactory LOVER: behavioral and neural correlates of autobiographical odor memory. *Frontiers in Psychology*, 5, 312, 2014.
- [23] Arshamian, A., Iannilli, E., Gerber, J. C., et al.: The functional neuroanatomy of odor-evoked autobiographical memories cued by odors and words. *Neuropsychologia*, 51(1), pp.123-131, 2013.
- [24] 政岡ゆり, 河村満, 本間生夫: 香りと呼吸の脳内連関(特集: 香りと脳), 脳と神経, 57(8), pp.631-638, 2005.
- [25] 廣瀬有香, 原恵子, 太田克也 ら: バラの香りが事象関連電位P300に与える影響の性差, 42(3), pp.71-77, 2014.
- [26] Royet, J. P., and Plailly, J.: Lateralization of olfactory processes. *Chemical Senses*, 29(8), pp.731-745, 2004.
- [27] Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., et al.: A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(2), pp.676-682, 2001.
- [28] Northoff, G., and Bermpohl, F.: Cortical midline structures and the self. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), pp.102-107, 2004.
- [29] Hwi, K. K., Goto, M., and Matsunami, K.: The effect of aromatic oils on the EEG. Elsevier Science BV, pp.1068-1074, 1998.
- [30] Torii, S., Okazaki, Y., and Winchester, J. D.: EEG topography of affective response to odor, *Olfaction and Taste XI*, ed. by Kurihara, K., Suzuki, N., Ogawa, H., Springer-Verlag, pp.646-649, 1994.
- [31] 兒玉隆之, 樋口絵理, ボサールセリーヌら: ヘアカラー製品の匂いがもたらす神経生理学的影響, 日本感性工学会論文誌, 18(3), pp.195-200, 2019.

(2020年9月2日受理)

著者紹介



兒玉 隆之 (正会員)

国立療養所福岡東病院附属リハビリテーション学院卒(理学療法士)。久留米大学大学院医学研究科博士課程修了。博士(医学)。2013年より京都橘大学健康科学部理学療法学科准教授。2019年より京都橘大学大学院健康科学研究科教授。2010年度および2012年度優秀論文賞受賞。The 8th International Congress on Vascular Dementia & The First Cognitive Impairment European MeetingにてBest Poster Award 2013受賞。2017年度第22回日本ペインリハビリテーション学会学術大会優秀賞受賞。現在は、神経生理学的視点から情動、認知機能や運動機能障害に対する神経リハビリテーション開発研究に従事。