

特集 ■ 超五感

超嗅覚・超味覚



外池光雄

TONOIKE MITSUO

千葉大学



岡田謙一

OKADA KENICHI

慶應義塾大学

1. はじめに

人間の嗅覚・味覚の感覚は種々の化学物質を知覚・認識する機能を有しているが、食物の摂取や生命維持のために重要な役割を果たしていることが考えられる。しかしながら、これまで他の感覚に比べて嗅覚・味覚機能の研究は遅れており、人間の嗅覚・味覚の感覚についてはまだ未解明な課題が数多く残されている。

そこで、本報ではまず最初に人間の嗅覚・味覚機能の検査法・計測法を紹介し、次に人間の嗅覚特性、および味覚特性に関する優れた特徴の事例について述べる。

2. 嗅覚・味覚の検査・計測法

人間の嗅覚・味覚機能を調べる検査法・計測法は、従来、心理学的な手法が主に用いられてきた。心理学的な検査法・計測法は被験者の主観的判断に基づく官能検査法による計測・評価法である。官能検査では、人間の鼻や舌自体がそれぞれ嗅覚や味覚の感覚器であり、その人の脳で知覚され、判断されたアンケート結果によって答えを得ているのが通常である。しかし、一般に官能検査法では個人差がかなり大きく影響するという欠点がある。そこで通常用いられているのは、この欠点を補うために被験者数を多くするか、あるいは訓練され一定の能力を備えた専門のパネラーを用いる方法である。

一方、近年急速に発達して来た客観的計測法に、脳波 (EEG)、脳磁図 (MEG)、機能的磁気共鳴画像法 (f-MRI)、陽電子放射断層画像法 (PET)、近赤外分光法 (NIRS) などの方法が嗅覚や味覚の検査・計測法にも用いられるようになってきた。官能検査に基づく心理的計測法とこれらの客観的計測法は相互に補完するものであり、正しい嗅

覚・味覚機能の検査・計測のためには主観的計測法と客観的計測法の双方の検査・計測法を用いて評価することが必要であると考えられる。

3. 人間の嗅覚特性

嗅覚は、様々な化学物質の分子を遠隔的に捉えて、それらの物質を超高感度に識別する能力を有している。この優れた機能を有効に発揮するために備わっている幾つかの特徴の中から、ここでは特に「能動的嗅覚」と「嗅覚の時間特性」に焦点を当て記述することにした。

3.1 能動的嗅覚

嗅覚の機能は、一般に「受動的嗅覚」と「能動的嗅覚」とに分類することができる。「受動的嗅覚」は人が自然な呼吸をしている状態の中で、言わば受け身的に匂いを知覚するような場合である。例えば、自分ではほとんど意識をしないにも関わらず、匂いが漂って来る状態である。自分で主体的に匂いを嗅がなくても、漂って来る匂いが受動的に知覚される仕組みが「受動的嗅覚」機構である。

これに対して「能動的嗅覚」は、むしろ意識的に自分の方から匂いを嗅ぐ時であり、一般にスニффイングによって鼻で息を吸い込んで匂いを能動的・主体的に嗅ぐ場合の嗅覚である。

N. Sobel によると、スニффイング法で匂いを嗅いだ「能動的嗅覚」では、脳の右側の前頭眼窩野部が活性化されていることが f-MRI の研究から明らかにされた [1]。筆者らもスニффイング法で匂いを嗅ぐ方法で脳磁図 (MEG) 計測を行った結果、やはり、右脳の前頭眼窩

野部に嗅覚の活動が認められる結果を得ている [2]. これらの結果から、少なくとも「能動的嗅覚」では、右側の前頭葉が主な役割を担っている可能性が示唆される。図 1 にスニффイング法を用いた「能動的嗅覚」によって得られた匂いの脳磁図応答の計測結果を示す。

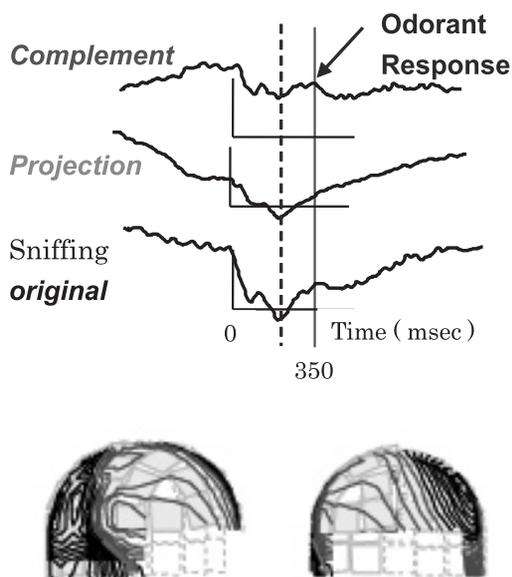


図 1 「能動的嗅覚」刺激による匂いの脳磁図応答
* 口絵にカラー版掲載

3.2 嗅覚の時間特性

次に、嗅覚の重要な特徴である時間特性に関する研究結果について述べる。

3.2-1 2点閾値

皮膚上の距離が近い 2 点を先端が尖ったもので触れてみると、2 点と感ずる間隔と 1 点と感ずる間隔がある。この 2 点と感ずる最小距離を 2 点閾値という。2 点閾値を広い意味において「感覚において二つの刺激対象を分離できる閾値」と定義すると、痛覚(触覚)の他の五感覚情報についての 2 点閾値を定義することができる。また、2 点閾値には空間的な 2 点と時間的な 2 点があると考えられる。痛覚で用いられているものは空間的な 2 点閾値である。視覚においては、時間的な 2 点閾値よりも素早く静止画像を更新すれば動画として認識され、視力検査では空間的な 2 点閾値を測定している。

嗅覚情報の場合、体を静止している状態では香りの位置関係を認知する事はできない事から、空間的な 2 点閾値は無限大と考えられる。一方、嗅覚の時間的な 2 点閾値は 2 回の香り射出を 2 回と感ずる時間間隔と定義でき、

これを「嗅覚の分離 2 点閾値」と呼ぼう。さて人間が香りを感じるのは息を吸っている時だけである。健康者の安静時の呼吸周期は約 5 秒(吸気: 2 秒, 呼気: 3 秒)であるが、実験によると吸気の前半 2/3 ほどしか香りを感じる事ができない [3]. したがって、嗅覚の分離 2 点閾値を測定するには、息を吸い始めてから約 1.3 秒の間に精度良く 2 回の香り射出を行う必要がある。

3.2-2 嗅覚ディスプレイと香りパルス

これまで開発されたほとんどの嗅覚ディスプレイは、ある程度広い空間に少なくとも数秒間以上は香りを感じさせる事を目的としているために、嗅覚の分離 2 点閾値の測定には適さない。そこで総務省 SCOPE の支援を受け、図 2 に示す香りディスプレイを用いて分離 2 点閾値の測定実験を行った。この香りディスプレイはインクジェット方式のヘッドから 100msec. の時間幅で香料を射出し、また射出量は 255 段階の制御が可能である。一つのヘッドには四つの香りカセットが格納され、これが 3 組有るので合計 12 種類の香りを独立に取り扱う事ができる。最小の射出量は使用する香料により若干異なるが実測で約 600pl/100msec. であり、この装置で用いる 5% 溶液での香料量は 30pl となる。

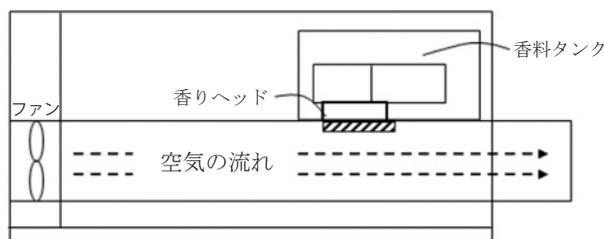


図 2 香りディスプレイ

一般に香りの強弱を表す尺度として、モル濃度や重量パーセント濃度で表した次の三つの閾値が用いられる。

- (a) 検知閾値：匂いを感知できる最小濃度
- (b) 認知閾値：匂いの種類を認知できる最小濃度
- (c) 弁別閾値：匂いの強度について感覚的に区別することができる濃度

これらの値は香りの種類により異なる。そこで分離2点閾値の測定では、香料の射出量をそれぞれの香りの認知閾値により正規化し、100msec. 幅で認知閾値の2倍の射出量の香りを呈示する事とし、以後これを香りパルスと呼ぶ。

3.2-3 嗅覚の分離2点閾値

異なる種類の香りパルスの分離2点閾値には、分離検知閾値(2種類の香りを感知できる最小の時間間隔)と分離認知閾値(2種類の香りを特定できる最小の時間間隔)がある。分離検知閾値よりも短い間隔で二つの香りが呈示されると香りが混じり1種類の香りと認識され、分離認知閾値より短いと2種類の香りが呈示された事を認識してもそれらを特定することが出来ない。

実験では天然香料のレモン、ラベンダー、ペパーミントの5%溶液を用いて、一吸気中に二つの香りパルスを射出し、分離検知閾値と分離認知閾値を測定した。実験手法は吸気の開始と同時にある香りパルスを射出した後、いろいろな間隔で異なる香りパルスを射出して香りパルスの射出回数と種類を尋ねるというものである。24人の被験者に対して、3種類の香りから2種類の順序である6通りの組合せ全てを行った平均結果は、分離検知閾値0.75秒、分離認知閾値0.98秒となった。統計処理を行った結果、これらの値は香りの種類には影響されないが、個人差が大きい事が分かった [4]。

3.2-4 新しい香り呈示の可能性

我々は日常生活において、一呼吸の間に複数の香りを同時に嗅ぐ事は無い。目の前に二つの香料があっても、それらが混ざった香りがするだけである。しかし、上記の実験結果は、パルス状の香りを呈示すれば一吸気中で二つの香りを感じさせる事が可能である事を示している。より精密に実験を進めれば、嗅覚のインパルス応答が求められるかもしれない。現在、健康診断で嗅覚を調べる事は殆どない。しかし、実用的な医療用嗅覚ディスプレイが開発されれば「あなたの嗅力は1.5です」と言われる日も来るであろう。

4. 人間の味覚特性

人間の味覚機能の特性については、第5の基本味と呼ばれている「うま味」に注目した。「うま味」は日本で発見され、日本の伝統的な料理法や食生活に古くから用いられてきたが、最近まで欧米社会では、苦味、甘味、酸味、塩味の4原味が基本味とされるのが主流であった。

しかし、最近になって、グルタミン酸やイノシン酸を主体とする「うま味」が独立した第5番目の原味であり、「うま味」のリセプターの発見によって、「UMAMI」として世界的に認められるようになった。また、「うま味」の大きな特徴である相乗作用効果によって、食の「おいしさ」に関わることが明らかになってきた。

4.1 「食のおいしさ」の計測・評価法

人間の味覚機能は、上述のように「うま味」を含む五つの基本味によって構成されていることが明らかになったが、ここでは「食のおいしさ」の計測・評価法に関する研究について述べることにしたい。

そこで我々は、人が「うま味」成分を摂取した後、胃から吸収された「うま味」成分が人の脳活動にどのような影響を及ぼすかについての研究を開始した [5]。図3は被験者が朝食後、約2時間経った頃「うま味」成分の一種であるグルタミン酸ナトリウム (MSG) を摂取後、約10分程度経た時の脳活動を f-MRI によって計測した結果の一例である。この時、被験者には飲食物に関する画像と、非飲食物の画像 (風景画) がランダムに目の前のスクリーンに呈示されており、これらの画像の知覚の差異を f-MRI によって計測・解析したものである。図3の○で示したように、まずは味覚中枢部位と言われている島皮質領野が活性化される結果であった。

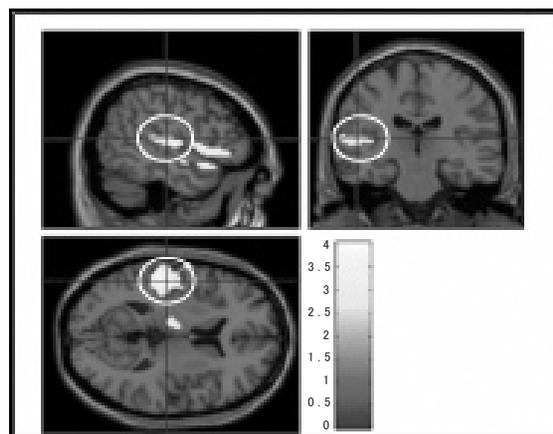


図3 MSG「うま味」成分による f-MRI の脳応答図

5. 「嗅覚・味覚」研究の今後の展望

これまで述べて来たように、嗅覚・味覚の感覚に関する研究は、現在では遺伝子レベルの研究手法を用いた細胞・分子の研究が大きく進み、匂いのリセプターが遺伝子レベルから解明され、Buck L. and Axel R. は [6]、匂いのリセプター研究でノーベル医学・生理学賞を受賞している。

匂いや味を受容器に関するこれらの研究の著しい進展は、人工的な嗅覚・味覚のセンサー研究を一層推進することになった。また、このような嗅覚・味覚研究の急速な進展に伴って嗅覚・味覚に関するディスプレイ呈示装置の開発や、伝送装置の開発も急速に行われることになった。さらに、これらの種々の嗅覚・味覚のデバイスや装置の開発は、これらの組み合わせ技術の進展をも促す原動力となった。この結果、現在では視覚や聴覚と同じように匂いや味を感覚を情報伝送する「超嗅覚・超味覚」技術が身近な極めて近未来の課題となって来たのである。

参考文献

- [1] Sobel, N., Prabhakaran, N., Desmond, JE., Glover, GH., Goode, RL., Sullivan, EV., and Gabrieli, JD.: Sniffing and smelling: separate subsystem in the human olfactory cortex. *Nature*, 392, pp.282-286 (1998)
- [2] Tonoike, M., Yamaguchi, M., and Hammada, T. :Noise reduction on the olfactory neuromagnetic measurements using SSP method. *Bimag2000*, pp.238-291 (2000)
- [3] Ami Kadowaki, Junta Sato, Yuichi bannai, Kenichi Okada : Presentation Technique of Scent to Avoid Olfactory Adaptation, *ICAT2007*, pp.97-104 (2007)
- [4] 門脇亜美, 佐藤淳太, 大津香織, 坂内祐一, 岡田謙一: 一呼吸中での香り切り替えにおける嗅覚の時間特性の測定, *におい・かおり環境学会誌*, Vol. 40, No. 1, pp.1-10 (2009)
- [5] 佐久間宏之, 宇野富徳, 釣木沢朋和, 今田敏文, 外池光雄: 非侵襲計測を用いたうま味の人に対する効果, *千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター第7回シンポジウム, ポスター発表講演要旨集*, p.45 (2009)
- [6] Buck, L., and Axel, R., : A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odorant recognition. *Cell*, 65, pp.175-187 (1991)

【略歴】

外池光雄 (TONOIKE Mitsuo)

千葉大学 大学院工学研究科 人工システム科学専攻
メディカルシステムコース 教授

1985年静岡大学文理学部理学科物理専攻卒業, 1985年工学博士(大阪大学). 1995年電子技術総合研究所大阪LERC生体エレクトロニクス研究室長, 2001年産業技術総合研究所関西センター副研究ラボ長, 2007年より現職. 専門は生体医工学. 著書『においと脳・行動』, 『におい・香りの情報通信』など多数.

岡田謙一 (OKADA Kenichi)

慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授

工学博士. 専門は, CSCW, グループウェア, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション. 情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GW研究会主査などを歴任. 現在, 情報処理学会 BCC 研究グループ主査, 日本 VR 学会理事. 情報処理学会論文賞 (1996,2001,2008), 情報処理学会 40 周年記念論文賞, 日本 VR 学会サイバースペース研究賞, IEEE SAINT'04, ICAT'07 最優秀論文賞を受賞. 情報処理学会フェロー, IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会会員.