総 説

嗅覚における情報伝達・処理プロセスの機序

外池光雄*

Bio-mechanism of Information Processing on the Human Olfaction

Mitsuo TONOIKE

Life Electoronics Research Center, Electrotechnical Laboratory, AIST, MITI

1. 食品に対する人間の感覚の非侵襲計測

食品の科学工学における重要な課題のひとつは、我々人間が様々な食品に接した時、「人間がそれをどのようにに受容しているかを如何に客観的に計測・評価するか」ということであろう。これは食品を口にして摂取するという場合だけではなく、一般に様々な状況（環境）の中で食品に出会ったその瞬間から、既に我々は五感を通じて食品の情報を得ている。そこで、人間のこれらの生体反応を客観的に計測する技術が必要になる。対象が生きた生身の人間であるから、生体を非侵襲（non-invasive）に計測しなければならない。近年、各方面から人間の非侵襲計測・評価法が切望され、単に医学的な必要性はもとより、あらゆる産業分野・応用領域において必須の技術となってきた。食品科学工学分野でもこれらの非侵襲計測技術が、今最も求められていることのひとつである¹⁾²⁾。そこで、本報ではこのような状況を踏まえ、人を対象とした非侵襲計測法についてその開発動向、現状を概観する。特に、食品にとって関わりの深い嗅覚の生体内における情報伝達・処理プロセスの機序について述べる。人を対象としたこれらの計測においては、研究目的であるにしても医療で言われているインフォームド・コンセントが重要である。従ってヘルシンキ宣言で述べられている基準に従って、人の生体計測の際には「被験者にあらかじめ了解を得ること」が必要であることを、強調しておきたい。

2. 嗅覚受容の電気生理

2.1 嗅細胞の特徴

匂いの電気生理をその生理情報の流れの観点から、嗅細胞（olfactory cell）、嗅上皮（olfactory epithelium）を中心とする末梢部分、および嗅球（olfactory bulb）を中心とする第1次神経ネットワーク系の仕組みと計測、それ以降の梨状皮質（piriform cortex）、扁桃体（amygdala）、および前頭眼窩皮質（orbito-frontal cortex）などへの神経投射、匂いの高次中枢部における情報処理機構とそれらの非侵襲計測について述べる。

嗅覚は動物や我々の日常生活に欠かすことのできない重要な、生命維持に必須の感覚である。匂いは嗅覚器である嗅細胞によってまず受容される。嗅細胞は細長い形をした双極細胞で、神経細胞が特殊化し、進化したものと考えられる。嗅細胞は鼻腔の奥の天井部の嗅粘膜（嗅上皮と呼ぶ）に局在している。その数は動物によって異なるが一般に、数十万から数百万個あると言われている。嗅細胞の細胞体は約5~7 μm の大きさで粘液層に覆われている。その樹状突起の先端部は嗅上皮の表面につき出しており、長さ5 μm 程度の嗅纖毛（cilia）が数本はえている³⁾。最近の研究から匂いの受容が行われているのはこの嗅纖毛の膜であることがわかってきた⁴⁾。1991年にBUCKとAXCELがこの膜に存在している匂い受容蛋白群を発見し⁵⁾、7回膜を貫通するG蛋白共役型膜蛋白ファミリーが少なくとも1000個以上は存在すること

* 通産省工業技術院電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センター（〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31）

が明らかにされた。光受容蛋白として知られているロドプシンも同じ G 蛋白共役型レセプターであるが、匂い分子はこの蛋白質の 7 個の膜貫通ドメインが作る穴の中にはまりこんで捉えられるものと考えられる。この G 蛋白共役型レセプターは匂い分子がこのレセプターと結合すると G 蛋白を活性化して匂い情報を嗅細胞内に伝達する。細胞内の匂い情報伝達は、主に以下の 2 つの経路で制御されている。その 1 つは G 蛋白の活性化がアデニル酸シクラーゼを活性化させ、細胞内のサイクリック AMP 濃度を上昇させる経路である。これによって cAMP 依存性陽イオンチャンネルが開かれ、陽イオンの細胞内流入から脱分極を引き起こして活動電位を発生させるものである。もう 1 つの経路は主流ではないが、G 蛋白の活性化がフォスホリパーゼ C を活性化し、イノシトール-1,4,5 三リン酸 (IP_3) の濃度上昇をもたらす。これによって IP_3 依存性 Ca^{2+} チャンネルが開き、嗅細胞膜の脱分極が引き起こされるものである。嗅細胞膜の脱分極が引き金となって活動電位が発生するが、電気的なインパルスは細胞体の根元部分から発生し、これが軸索を伝搬して嗅球へと送られる。嗅細胞から嗅球へ延びて

いる軸索は他の神経系とは異なって、無髄の軸索が直接、嗅球へと投射している点が大変興味深い。

2.2 嗅球の神経ネットワーク系

嗅上皮の嗅細胞の 1 個から送られる 1 本の軸索は他の多くの軸索と集合して嗅神経繊維束となり、嗅球表面へ投射されている。それぞれの嗅神経は嗅球の表面に分布している糸球体層 (glomerular layer) のどれか 2 つの糸球体に侵入し、図 1 に示す様に嗅球ニューロンの中の僧帽細胞 (mitral cell), 房飾細胞 (tufted cell), 糸球体周辺細胞 (periglomerular cell) らと樹状突起上にシナプスを形成している。最近、MORI⁵⁾ によって嗅球の糸球体が、各種の嗅細胞から送られてくる匂い分子を識別する機能をもっていることが明らかにされた。最近の森ら⁶⁾ による分子生物学的研究による免疫組織化学法や cDNA プローブを用いた In situ hybridization 法などから、匂い分子の受容体群が嗅上皮上では 4 つのグループに分類されていること、またそれぞれのグループ内の受容体は嗅上皮にある 4 つのゾーン内のどれか特定のひとつのゾーン内の嗅細胞にのみ発現していることが明らかにされた。これは、嗅上皮の特定の受容体発現ゾーン

図 1 嗅神経の全体図 (Shepherd による、文献 7) より引用)

OLFACTORY EPITHELIUM ; 嗅上皮, OLFACTORY COTEX ; 嗅皮質, OLFACTORY BULB ; 嗅球, M ; 僧帽細胞, T ; 房飾細胞, PG ; 糸球体周辺細胞, G_s ; 表層顆粒細胞, G_D ; 深部顆粒細胞, OSN ; 嗅感覚ニューロン, mucus ; 粘液, Cilia ; 嗅纖毛, P ; ピラミダル細胞, frontal lobe ; 前頭葉, thalamus ; 視床, limbic system ; 辺縁系, commissural ; 交連

内の嗅細胞は、その軸索を後に述べる嗅球に存在する 4 つの投射先ゾーンのうちの決まったゾーン内へと投射していることを示している。同じゾーン内における匂いの空間分布では、個々のゾーン内で特定の部位に特定の匂いが集中していることはなかった。つまり、これは多くの種類の匂い受容蛋白が嗅上皮上では大きく 4 つに分類されているが、広くモザイク状に分布しており、嗅上皮上における空間情報よりも嗅細胞自身による匂い受容蛋白発現のサブモダリティーが脳における匂いイメージ形成に重要であることを示している。また、嗅上皮のこの 4 つの特定のゾーン内からの嗅細胞軸索の投射は、それぞれそれらに対応する嗅球のゾーン内へと投射が行われている。例えばウサギの片側の嗅球には約 2000 個の糸球が存在し、図 1 に示す様にひとつの糸球には約 26000 個の嗅細胞の軸索が集められている。これは、嗅細胞の軸索から嗅球へ入力する時に約 2000 個の独立したチャンネルに振り分けが行われていることを意味し、また、約 2000 個ある糸球のうちの特定の 2 個の糸球がひとつの匂いの識別に関与しているらしい。以上の結果を森は「嗅球表面に並んでいる糸球の空間的配置が匂い分子受容体のマップを意味する」と述べている。さらに SHEPHERD⁷⁾ によれば、嗅球部における樹状突起間の神経結合は、抑制性のシナプス結合をする顆粒細胞 (granule cell) の存在によって局所的な相互フィードバック回路が形成されており、これはちょうど視覚系の網膜における神経細胞間ネットワークの局所フィードバック回路に類似、対応していると述べている。この嗅球内の局所回路による相互作用は匂いの情報処理の観点から極めて興味深いものである。

て興味深いものである。

2.3 嗅球から嗅皮質 (第 2 次嗅覚野) への嗅覚神経ネットワーク

嗅球以降の嗅覚神経は、第 1 次嗅覚野と呼ばれる嗅球部の中の僧帽細胞、房飾細胞から出ていく多数の神経軸索が集まり 1 本の神経繊維束である外側嗅索となって幾つかの部位に投射している。この中で最も重要な部位のひとつが梨状皮質 (piriform cortex) と呼ばれているところである。この梨状皮質は、前嗅核 (anterior olfactory nucleus), 嗅結節 (olfactory tubercle), 扁桃皮質 (amygdaloid cortex) などと共に基本的に解剖学上同様な嗅皮質の層構造を構成している。嗅球が 1 次嗅覚野と呼ばれていることから嗅皮質は第 2 次嗅覚野と呼ばれている。梨状皮質のニューロン回路については HARBERLY & BOWER による詳しい研究⁸⁾ がある。嗅皮質部における梨状皮質内の主細胞は錐体細胞であり、新皮質や海馬の錐体細胞と同様な尖頭樹状突起を持っている。尖頭樹状突起は表層から浅い部位に存在する錐体細胞と深部の錐体細胞とではその突起の長さが異なっていることが知られている。また、図 2 に示される様に、梨状皮質では、抑制性介在ニューロンが関与する部位の違いによってフィードバック抑制、あるいはフィードフォワード抑制の回路が形成されており、これらの抑制回路の存在が梨状皮質における匂いの情報処理に重要な役割を果たしていると考えられる。また、梨状皮質から嗅覚神経が投射する重要な部位の一つに島皮質 (insula) への投射が明らかにされている。ところが最近の Nature 誌に掲載された機能的核磁気共鳴法 (fMRI) を用いた人間

図 2 梨状皮質における介在性ニューロンの抑制回路 (Harberly & Bower, 1984 による⁸⁾)

A; フィードバック抑制, B; フィードフォワード抑制, C; 3 本の axon によるフィードバックとフィードフォワードの混合制御, I; 抑制性介在ニューロン, P; 錐体細胞

の匂いの嗅ぎ分け (sniffing) 実験⁹⁾の結果によると、無臭の空気の場合であっても sniffing を行くと、既に梨状皮質が充分活性化されることが初めて明らかになった。これは sniffing によって吸い込まれた空気の流れて生じた体性感覚の神経興奮が梨状皮質へ送られる神経連絡が存在しているからであろうと説明されている。一方、空気ではなく、実際に匂いを sniffing した場合も当然、梨状皮質が活性化されたが、これは上に述べた嗅球からの嗅覚神経の活動によるものである。つまり、梨状皮質には嗅覚神経からの投射と体性感覚神経の投射の両者の神経結合が存在するという結果を示している。

2.4 高次嗅覚中枢への嗅覚神経投射

第2次嗅覚野と呼ばれている嗅皮質からさらに脳内の高次への神経投射がどのようになっているかについてはこれまでまだ、充分な研究が行われていない。しかし高木¹⁰⁾は、図3に示される様に高等動物のアカゲザルの実験から高次の嗅覚神経投射では嗅球以降の神経路が少な

くとも2系統は存在することを明らかにした。その一つは TANABE ら¹¹⁾によって発見された視床を経由しない神経路であるが、この経路はその後 TAZAWA ら¹²⁾によって視床下部の外側部にある無名質 (substance innominata) を経由して眼窩前頭皮質の外側後部 (LPOF : latero-posterior orbito-frontal area) に達するするものと、扁桃核から直接 LPOF に達するものが明らかにされた。一方、もう一つの経路は YARITA ら¹³⁾によって見つめられた視床の背内側核を経由して眼窩前頭皮質中央後部 (CPOF : centro-posterior orbito-frontal area) に達する神経路である。そしてこれらの2系統の嗅覚神経系はそれぞれ前頭葉眼窩野の異なった2ヶ所の中枢部位 (LPOF と CPOF) に投射していることがわかった。つまり、嗅覚中枢が前頭葉の眼窩野で互いに近接し、且つ一部オーバーラップしている様な2ヶ所の部位に存在していることが明らかになった。また、TANABE ら¹¹⁾が行った無麻酔のサルに対する電気生理実験によれば、

図3 アカゲザルの実験より得られた複数の嗅覚経路と匂い応答性 (高木による¹⁰⁾, 1989)

OB; 嗅球, LOT; 外嗅索, MOT; 内嗅索, PPF; 前梨状皮質, MA; 扁桃核内側部, MD; 視床背内側核, CPOF; 眼窩前頭皮質の中央後部の嗅覚領, LPOF; 同外側後部の嗅覚領, AMG; 扁桃核基底核, Septal Ncl.; 中隔核, Ncl. Accumbens; 側坐核, Olfactory Tubercle; 嗅結節, LHA; 外側視床下部

LPOF に微小電極を刺入して記録した脳細胞の応答の結果から上記の中枢部位における細胞の匂いに対する応答選択性のヒストグラムは、LPOF では 8 種類の匂い刺激に対する応答パターンの中で 1 種類の匂いのみに応答する細胞が 50% 以上存在し、匂いの選択特性が極めて高いことがわかった。また、YARITA ら¹³⁾によって同様な 8 種類の匂い刺激に対して調べられた CPOF の中枢部位における細胞の応答パターンは LPOF の部位の応答パターンとは明らかに異なり、LPOF で見られた様な匂いに対する高選択性は得られなかった。従って、以上の実験結果から LPOF の中枢と CPOF の中枢では匂いの情報処理機能が異なっており、LPOF では匂いの識別機能を行っていること、CPOF では分析的ではなく統合的な情報処理を行っているのではないかと推測された¹⁰⁾。

3. 化学感覚の非侵襲計測

化学感覚とは嗅覚、味覚のことであるが、どちらの感覚についてもこれまで客観計測の困難さ、刺激法の開発の困難があり、匂いや味では現在でも何が刺激量の基本量であるかさえ不明瞭である。一般に嗅覚や味覚の感覚は個人差が大きく、感覚の標準化が難しいのが実情である。さらに匂いや味を正確に計測できるセンサーや測定器はまだ開発途上であるなど、匂いや味が抱えている問題は複雑、且つ深刻である。これは、匂いや味が化学物質による物質刺激そのものであって、光（電磁波の波）や音（空気粗密波）のように統一的に定義される基本物理量が未だに不明だからである。この課題は嗅覚や味覚に関する最も本質的なものであるが、我々人間が匂いや味を如何に知覚・認知しているかをもっと客観的に調べることができれば、何が匂いや味の基本量であって、それらが生体内では如何に情報処理されているかを解明することができるであろう。ここでは主に匂いに対する脳磁図（MEG）を用いた非侵襲計測の現状を述べる。

4. 匂いの脳磁図（MEG）計測

4.1 匂いを知覚している脳内中枢部位を脳磁図より特定

最近、我々は 122 チャンネルの全頭型脳磁計（Finland, Neuromag 社製）を用いて匂いに対する脳磁図（MEG）計測の実験によって、匂いを知覚している人間の脳の中枢部位を初めて特定する成果を得た¹⁴⁾。この MEG 実験では、以前に我々が 3 チャンネルの同軸 1 次微分型 SQUID（米国、Quantum Design 社製）を用い

て予備的に行った匂いの MEG 実験¹⁵⁾において既に計測していた応答部位と同様な部位に人の嗅覚中枢部位が求められた。この実験では嗅覚が正常な 6 人の成人男性被験者（全員右利き）で行われ、非磁性的匂い刺激装置により被験者の呼吸に同期させた 300 msec の匂い（アミルセテート、バナナ臭）の刺激パルスを左右どちらかの鼻腔に注入刺激し、嗅覚誘発脳磁界の応答が 122 チャンネルの全頭型脳磁計（Neuromag-122）を用いて測定された。我々は空気弁（air-valve）制御式の非磁性製の嗅覚刺激装置を新たに開発した。磁気シールドルーム内の被験者には改良した麻酔用マスクと光ファイバーセンサーが取付けられ、マスクの呼吸弁の開閉を光で検出し、被験者の呼吸に同期して匂い刺激が行われた。この実験の結果、図 4 に示すように嗅覚誘発脳磁界の応答波形（応答ピークの波形潜時：約 320～450 msec）が大脳前頭部の両半球の部位から初めて明瞭に計測された¹⁴⁾。この解析では、2 ダイポール法を適用し、匂いの知覚に対する人間の識別中枢が大脳前頭部眼窩溝深部のかなり深い部位の左右両半球にやや非対称に存在していること、また匂いの刺激を行った方の鼻と同じ側の同側大脳半球の応答は反対側の応答よりも大きく、かつ反応時間が約数 10 msec 早く、その応答部位は反対側の応答部位よりもやや前方、少し深い部位に出現し、同側優位性が認められた¹⁶⁾。一般に、匂いを刺激した側と同側の方の応答波形の潜時が短く、振幅値も大きくなり、匂いの応答は同側優位であるという傾向が得られている。この 2 ダイポール法の信号源推定では、80% 以上の再現性ある結果が得られた。次に実験を行った 6 人の被験者毎に各被験者の MRI 脳断層画像を撮影し、嗅覚 MEG 実験で得られた信号源の部位を各人の MRI 脳画像上に合わせて嗅覚の中枢部位を解析・検討した。この結果、図 5 の MRI 脳断層画像の代表例が示す様に、いずれの被験者においても信号源の部位推定が同様に再現性あることが明らかとなった¹⁷⁾。また、対側の大脳半球の嗅覚中枢部位は同側の部位と異なるが、無臭空気の圧力を通常の匂いの刺激時よりも約 5 倍に強くして無臭空気刺激を同側の鼻腔に行った対照実験によって、反対側の側頭部一次体性感覚野より得た三叉神経応答成分と考えられる脳磁図応答（応答ピーク潜時：約 230～300 msec）とは明瞭に区別された。約 5 倍の空気圧刺激にして発生させた体性感覚磁界応答の振幅のピーク値では匂いに対する応答磁界信号の振幅値の約半分以下の大きさであり、また空気圧刺激による磁界応答成分はピークからの減衰時間が早く、匂いの応答磁界信号ピークの時間帯では、空気圧

図 4 122 チャンネルの全頭型脳磁計による嗅覚脳磁図波形
 上が頭の前方、頭の上から見た図（校正値は 100 msec, 100 ft/cm）
 （匂いはアミールアセテート、40 回加算波形）

による影響は無視できた。これによって圧刺激による磁界信号が匂い刺激の磁界応答信号には影響を及ぼしていないことが明らかになった¹⁸⁾。以上の実験結果とその解析によって、人間の嗅覚中枢部位が初めて前頭葉眼窩野の両側の 2ヶ所の溝部分 (lateral orbito-frontal sulcus) 近辺に推定された。これらの推定部位は高木らによる無麻酔のサルの生理学実験¹⁹⁾で計測された嗅覚中枢部位に大変良く一致していること、また、ZATORRE ら¹⁹⁾の陽電子放射画像撮像法 (PET; positron emission tomography) による人間の嗅覚実験データや

ROLLS ら²¹⁾によるサルの実験データ、KOIZUKA ら²²⁾による機能的核磁気共鳴画像撮像法 (f-MRI; functional magnetic resonance imaging) の嗅覚実験結果とも良く対応する結果となっている。

一方、KETTENMANN ら²³⁾は、被験者の呼吸同期によらない匂い刺激装置を用い、匂いの誘発脳波測定で KOBAL ら²⁴⁾が用いたのと同様な flow 法による匂い刺激法によって匂いの MEG 実験を行い、上側頭部 (superior temporal)、島皮質部 (insula) など側頭部の部位に匂いの信号源が得られたと報告している。また SAKUMA ら²⁵⁾

図 5(a) 右、左の片側鼻腔の匂い刺激によって計測された嗅覚中枢の応答推定部位 (水平断 MRI 脳スライス上)

(b) MRI 脳画像 (垂直断スライス) 上の嗅覚中枢推定部位

- 匂い刺激鼻腔と同側の応答部位
- ▲ 匂い刺激鼻腔と対側の応答部位

は匂い刺激と無臭空気刺激とをランダムに刺激し, 呼吸同期式刺激法で匂いの MEG 実験を行い, 匂い応答の MEG 波形から無臭空気刺激応答の MEG 波形を差し引くことによって 2 つの応答ピークを検出している. この中の約 322 msec 潜時の応答は Sylvius 裂上部の頭頂葉に, また約 626 msec 潜時の応答ピークは同様に Sylvius 裂上面であるが, やや深部に推定している. このように, まだ研究者によってデータの不揃いはお互いにあるため, 匂いの中枢部位の推定や匂いの情報処理の仕組みの解明について今後一層究明していくことが重要である.

4.2 脳磁図による匂いの認知実験

我々が物事を知覚, 識別する過程というのは匂いを知

覚する嗅覚系のように各感覚器を通じて外界から与えられた入力情報が, 大脳のそれぞれの感覚に対応する感覚皮質領野 (第 1 次感覚野) に達した時である. これは外部の感覚刺激による物理的な刺激の特性 (大きさ, 強さなど) に直接依存するが, 最近, 心理的な内部の精神状態によって影響を受ける電位 (あるいは磁界) として, 事象関連電位 (あるいは事象関連磁界) が注目されるようになってきた. 事象関連電位 (あるいは関連磁界) は外部刺激の物理的特性に依存するのではなく, むしろ脳の内部で処理されている内因性の精神状態に左右される. 例えば脳波研究では「認知応答」と呼ばれている P 300 の応答が知られている²⁶⁾. 典型的な P300 実験は, 出現確率が異なる 2 種類の刺激を被験者にランダムに提示

図 6 匂いの MEG オドボール課題実験 (rare 応答波形 122 ch の重ね合わせ)
(Tonoike M & et al. 1998²⁸⁾)

して被験者には低頻度で出現する刺激に注目させ、低頻度の刺激がきた時ボタン押しをさせるか、あるいは低頻度刺激の回数を数えさせる。このような課題を一般にオドボール課題と呼ぶが、この実験時の脳波（あるいは脳磁界）応答を求めると、低頻度刺激の応答波形中に潜時が約 300 ミリ秒で出現する明瞭な応答ピークを得ることができる。これが P300 と呼ばれている反応波形であり、低頻度刺激の方に注意を集中することによって、出現する反応であるため、物事を認知した結果によって出現する応答と考えられ、「認知応答」と呼ばれている。しかし、この応答波形の起源は実はまだ良くわかっていない。

最近、我々²⁷⁾は 2 種類の匂い刺激に対してこのようなオドボール課題による MEG 実験を実施している。この実験では被験者に与えられる 2 種類の匂いパルスの提示確率を 1:3 のように変えてランダムに刺激し、稀な提

示確率で与えられる匂いのみ注意させて、その提示回数を数えさせ、脳磁界応答を計測した。この結果、図 4 で得られたのと同様な MEG 応答が大脳両側半球の前頭葉眼窩野部より計測されると共に、図 6 に示すようにさらに稀な匂いの刺激時にのみ、側頭部位近辺から、より遅い潜時の P300 応答ピークが新たに検出された²⁸⁾。この応答は匂いの認知に関連した応答成分であろうと考えられる。現在、匂いに対する認知のメカニズムがどのようなになっているかをさらに詳しく調べているところである。

4.3 その他の非侵襲計測法

現在、人間の脳の中中枢神経系、並びに代謝系の活動を非侵襲的に計測するために脳波 (EEG; electroencephalography) や 脳 磁 図 (MEG; magnetoencephalography) は必須の技術となっているが、この他に核磁気共鳴画像撮像法 (MRI; magnetic

resonance imaging), 陽電子放射画像撮像法 (PET; positron emission tomography), などの非侵襲計測技術も用いられている。しかし, 匂いや味に関する MRI 研究や PET 研究は世界的にもまだ数が少ない。匂い刺激に対する fMRI の研究では KOIZUKA ら²²⁾ の先駆的研究があり, この実験では嗅覚検査に用いられているアリナミンテスト法が用いられた。この fMRI 実験の結果では, 両側の前頭眼窩野の周辺に血流の増大が認められている。

一方, 石合ら²⁹⁾ は側頭葉切除後の患者に匂い識別実験を行い, 9 種類の果物の匂いとハッカ臭を用いて匂いの識別テストをした結果, 匂いの神経支配が同側性であること, しかし側頭葉を両側に切除した患者では嗅覚が著しく低下することを発見した。またこれら患者の側頭葉切除後の MRI 脳画像と, 匂いの識別能力との間に相関があることを明らかにした。さらに匂いの PET 実験で, 田崎³⁰⁾ は種類の異なる多くの匂いをつぎつぎに刺激する方法を用い, 鼻の匂い順応を抑えて匂いを連続的に嗅がせて測定した結果, 前頭部のかなり深い部位が血流の増大を示した。田崎はこの部位が前頭葉眼窩野か, あるいは嗅球部の可能性もあると述べている。

5. 食品科学工学における食品の感覚・感性計測の展望

食品に対する感覚・感性を計測することは, すなわち, 食品に接し, またこれを享受する人間の感覚・感性を科学的客観的に計測することでもある²⁾。これまで概観してきたように, 近年の人間に対する生体情報計測技術の発展は誠に目覚ましいものがあり, 従来では計測できなかったような人間の通常の状態での生体内の反応が, 最先端技術を用いて客観的に計測・評価できるようになってきている。また, これまで考察してきたような種々の非侵襲的手法を駆使することによって, 今後, 人間の感覚・感性に対する脳内の情報処理過程が益々明らかにされていくであろう。そこでこれからの食品科学工学分野においても, これまで研究されてきた食品に関する種々の物理化学的な研究の成果や官能検査技術等で進められてきた人間の心理学研究の実績をも活かしながら, さらに食品に対する人間の感覚・感性を非侵襲的・客観的に計測評価できる技術を如何に発展させるかが極めて重要な課題になるであろうと考えられる。

文 献

- 1) 外池光雄: 香りと脳波, 日本食品科学工業会第 44 回大会講演集, 13-15 (1997)。
- 2) 外池光雄: 生体情報計測システム, 「食品感性工学」(相良泰行, 編), 朝倉書店, p.44-68 (1999)。
- 3) NAKAMURA, T., GOLD, G.H.: A cyclic nucleotide-gated conductance in olfactory receptor cilia, *Nature* 325 : 442-444 (1987)。
- 4) BUCK, L., AXCEL, R.: A novel mutigine family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition, *Cell* 65 : 175-187 (1991)。
- 5) MORI, K., YOSHIHARA, Y.: Molecular recognition and olfactory processing in the mammalian olfactory system, *Prog. Neurobiol.* 45 : 585-620 (1995)。
- 6) 森 憲作: 匂い分子認識のメカニズム, 匂いの応用工学, 初版, 栗岡 豊, 外池光雄編, p.14-23, 朝倉書店, 東京 (1994)。
- 7) SHEPHERD, G.M., GREER, C.A.: Olfactory bulb, In *The Synaptic Organization of The Brain*, SHEPHERD, G.M. (ed.), Forth Edition, p.159-203, Oxford, Oxford University Press (1998)。
- 8) HARBERLY, L.B. and BOWER, J.M.: Analysis association fiber system in piriform cortex with intracellular recording and staining techniques. *Journal of Neurophysiology* 51, 1, 90-112 (1984)。
- 9) SOBEL, N., PRABHAKARAN, J.E., DESMOND, G.H., GOODE, R.L., SULLIVAN, E.V. and GABRIELI, J.D.E.: Sniffing and smelling: separate subsystems in the human olfactory cortex. *Nature* 392, 282-286 (1998)。
- 10) 高木貞敬: 霊長類の嗅覚領とその働き, 匂いの科学 (高木貞敬, 渋谷達明編), 朝倉書店, p.114-123 (1989)。
- 11) TANABE, T., YARITA, H., IINO, M., OOSHIMA, Y. and TAKAGI, S.F.: An olfactory projection area in orbitofrontal cortex of the monkey. *Journal of Neurophysiology* 38, 1269-1283 (1975)。
- 12) TAZAWA, Y. and *et al.*: Studies on the olfactory input to the lateral hypothalamic area in the monkey. *Neurosci Research* 4, 357-375 (1987)。
- 13) YARITA, H., IINO, M., TANABE, T., KOGURE, S. and TAKAGI, S.F.: A transthalamic olfactory pathway to orbitofrontal cortex in the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 45, 69-85 (1980)。
- 14) TONOIKE, M., MAEDA, A., KAWAI, H., KAETSU, I.: *Electroenceph. Clin. Neurophysiol., Suppl.* 47, 143-150 (1996)。
- 15) 外池光雄・中村真理・足立善昭・武林正峯: アルミニウム製簡易磁気シールドルーム内における嗅覚脳磁波測定, 電子技術総合研究所彙報, 58, 7, 609-623 (1994)。

- 16) TONOIKE, M., YAMAGUCHI, M., KAETSU, I., KIDA, H., SEO, R., KOIZUKA, I. : *Olfaction and Taste XII, New York Academy of Sciences*, Vol. **85**, 579-590 (1998).
- 17) 山口雅彦・外池光雄・早崎真照・吉川弘一・嘉悦勲・吉村眞一・肥塚 泉・岸 典明：日本味と匂学会誌, **3**, 3, 502-505 (1996).
- 18) 外池光雄・山口雅彦・嘉悦 勲・肥塚 泉：第11回生体生理工学シンポジウム論文集, **BPES** , **96**, 225-228 (1996).
- 19) 高木貞敬：嗅覚の神経機序, 醫學のあゆみ, **113**, 8, 451-463 (1980).
- 20) ZATTORE, R.J., JONES-GOTMAN, M., EVANS, A.C. and MEYER, E. *Nature*, **360**, 339-340 (1992).
- 21) ROLLS, E.T., CRITCHLEY, H.D. and TREVES, A. : The representation of olfactory information in the primate orbitofrontal cortex. *J. Neurophysiol.*, **75**, 1982-1996 (1996).
- 22) KOIZUKA, I., YANO, H., NAGAHARA, M., SEO, R., SHIMADA, K., KUBO, T. and NOGAWA, T. : *ORL* **56**, 273-275 (1994).
- 23) KETTENMANN, B., HUMMEL, C., STEFAN, H. and KOBAL, G. : Multiple Olfactory Activity in the Human Neocortex Identified by Magnetic Source Imaging. *Chemical Senses*, **22**, 5, 493-502 (1997).
- 24) KOBAL, G. and HUMMEL, T. : Olfactory evoked potentials in humans. In GETCHELL, T.V., DOTY, R.L., BARTOSHUNK, L.M. and SNOW, J.B. (eds.), *Smell and Taste in Health and Disease*. Raven Press, New York, p.255-275 (1991).
- 25) SAKUMA, K., KAKIGI, R., KANEOKI, Y., HOSHIYAMA, M., KOYAMA, S., NAGATA, O., TAKESHIMA, Y., ITO, Y. and NAKASHIMA, K. : Odorant evoked magnetic fields in humans. *Neuroscience Research*, **27**, 115-122 (1997).
- 26) SUTTON, S., BAREN, M., ZUBIN, J. and JOHN, E.R. : Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, **150**, 1187-1188 (1965).
- 27) 山口雅彦・外池光雄・松本義也・瀬尾 律・嘉悦勲・貴田浩之・肥塚 泉：日本味と匂学会誌, **4**, 3, 633-636 (1997).
- 28) TONOIKE, M., YAMAGUCHI, M., MATSUMOTO, Y., KAETSU, I., SEO, R., KOIZUKA, I. and KIDA, H. : *Recent Advances in Human Neurophysiology*, HASHIMOTO, I. & KAKIGI, R. (eds.), Elsevier Sciences Publishers B.V., The Netherlands, p.835-843 (1998).
- 29) ISHIAI, S., SUGISHITA, M., SHIMIZU, H., SUZUKI, I. and ISHIIJIMA, B. : Monorhinal smell identification ability before and after temporal lobectomy. *Olfaction and Taste*, **11**, 634 (1994).
- 30) 田崎京二：脳研究とポジトロン CT, 第5回高砂香料シンポジウム, 26-36 (1987).

(平成12年5月2日受理)