

総説特集：味覚（うま味）と口腔保健：より健康な生活を目指してー 7

味覚刺激と自律神経・脳活動の関連

杉本 久美子^{1)*}・土橋 なつみ¹⁾・泰羅 雅登²⁾・臼井 信男²⁾(¹東京医科歯科大学・歯学部・口腔保健学科、²東京医科歯科大学大学院

医歯学総合研究科・認知神経生物学)

口腔内に摂り入れた食物からの味覚情報は、大脳皮質の第一次・第二次味覚野に伝えられて、味が知覚・認知されるだけでなく、意識にのぼらない形で自律神経を介して唾液分泌を始めとする消化器系への調節を引き起こす。それと同時に、大脳辺縁系に送られた味覚情報は快・不快の情動を生じ、その評価結果が摂食行動として表出される。このような味覚刺激に対する生体反応が味の質によって異なるのかという点を調べるため、自律神経の応答ならびに脳波による脳活動の解析を行って検討した。その結果、自律神経活動においては、唾液分泌促進効果のあるうま味刺激で副交感神経活動の上昇がみられたのに対し、一様に嫌われる苦味刺激では唾液分泌促進効果が低く、交感神経活動が上昇すること、ならびに副交感神経活動と唾液分泌量との間には正の相関があることが明らかとなり、副交感神経を亢進させるうま味などは他の消化器にも促進作用を及ぼすが、交感神経を亢進させる苦味は負の調節を行う可能性が示唆された。また、脳波から情動の基本的4感情、すなわち喜（満足感）、怒（ストレス）、哀（気落ち感）、楽（リラックス感）のレベルを解析した結果、甘味と酸味刺激中の満足感の上昇や苦味刺激中のストレス上昇とリラックス感低下など、味質により異なる感情の変化パターンが観察され、この方法を用いて刺激に対する情動変化の客観的把握が可能となることが示唆されたので、本稿で紹介する。

キーワード：5 基本味刺激、自律神経活動、脳活動、情動、味覚唾液反射

はじめに

食物を摂取し、消化、吸収する過程は、生命維持のために一生繰り返される機能である。この機能を営むために生体はきわめて巧妙な調節機能を備えている。消化器系全体にわたって、外界から取り入れた食物の成分や量・性状の情報を化学的ならびに機械的センサーで検出し、その情報を基に、効率よく消化液分泌や消化管運動の調節を行っている。

まず、口から取り入れた食物は口腔内の様々な感覚器を刺激し、その情報は脳皮質に到達して、味覚、触圧覚、温度感覚あるいは辛味（刺激性）感覚として知覚され、食の総合的認知が行われる。このとき鼻腔に抜ける食物の香り（フレーバー）も総合的味わいの重要な要素をなす。一方、これらの情報

は同時に扁桃体などの大脳辺縁系に達し、快・不快、すなわち、おいしい・まずいといった情動評価を生み出し、摂食行動を調節する。食後のデザートは別腹、食欲がなくても一旦食べ物を口にすると食事が進むといった日常的体験は、おいしさの情動が胃の働きを活発にし¹⁾、さらなる受け入れ態勢を整えるためと考えられる。また、意識にのぼらない形で、味覚を含む口腔内の感覚情報は自律神経を介して反射的に、消化液の分泌と消化管の運動を促進させ、消化器系に食べ物を受け入れる準備を開始させる²⁻⁹⁾。続いて、胃、腸に食塊が送られると、機械的、化学的刺激はより直接的に反射性調節を引き起こす⁹⁻¹²⁾。消化管の壁には2層の神経叢があり、第二の脳ともよばれる神経細胞のネットワークが存在

Received July 10, 2013; Accepted July 31, 2013

The activities of autonomic nerves and brain associated with taste stimulation.

*Kumiko Sugimoto: School of Oral Health Care Sciences, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University, 1-5-45 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8549; ksugimoto.bohs@tmd.ac.jp; Fax: +81-3-5803-4641

杉本 久美子・土橋 なつみ・泰羅 雅登・臼井 信男

しているため、刺激が加わるとこの内在神経系を介して腸内反射による消化管運動などの調節が行われる。この内在神経系に加えて、副交感神経と交感神経が腸管外から走行支配し、それぞれ促進性および抑制性の調節を行う。延髄および脊髄から出る自律神経による調節はさらに上位の脳からも調節を受けている。食物のおいしさや楽しい食事環境から生じる快情動は、副交感神経を介する促進性調節をより強化し、栄養摂取機能を高める一方で、味気ない食事やストレスは交感神経を介して機能を低下させる要因となる。このように生命維持に不可欠な栄養摂取機能に対して、消化器の感覚から誘発される自律神経活動と情動は重要な調節要素となるため、本稿では味覚刺激がこれらの神経活動に与える影響について紹介し、心身ともに健康な生活を送るための考察を行いたい。

味覚刺激と自律神経活動

動物における自律神経活動の記録から、味覚刺激および胃や腸に到達したうま味や甘味等の成分が迷走神経求心路を活性化し、反射性に迷走神経遠心路の活動を変化させることが明らかにされている^{2,4,9,11)}。ヒトでも同様に味覚刺激による反射が起きる際に自律神経活動の変化を伴うと考えられ、その検証を行うため、5基本味の溶液を1分間口に含んでいる間の副交感神経と交感神経の活動変化を解析した。自律神経活動は、心拍すなわち心電図のR-R間隔の変動を周波数解析し、0.25Hzにピークをもつ高周波数成分(HF)を副交感神経活動の指標、0.07Hzにピークをもつ低周波数成分(LF)をHFで除した値を交感神経活動の指標として推計した¹³⁾。この理論的背景は、呼吸に伴う肺受容器からの信号による心拍変動は副交感神経活動を反映し、動脈の圧受容器からの信号による心拍変動は交感神経と副交感神経の活動を反映するとの考えに基づく^{14,15)}。測定・分析方法の詳細については、他の論文^{8,16)}を参照いただきたい。

5種類の基本味刺激として、3～300 mM ショ糖、1～300 mM NaCl、1～300 mM グルタミン酸ナトリウム(MSG)、0.1～10 mM クエン酸および0.3～100 μ M 塩酸キニーネ(キニーネ)の5～6段階濃度の溶液をそれぞれ甘味、塩味、うま味、酸味および苦味刺激として用いた。まず全口腔法にて各

味質の認知閾値を求めた後、刺激が明確な味として感じられかつ中等度の強さとなるよう閾値の約3倍濃度の溶液を本実験に用いた。使用した最頻の濃度はショ糖とNaClで100 mM、MSGで30 mM、クエン酸で3 mM、キニーネで3 μ Mであった。これらの味溶液を1分間口に含んでいる時の自律神経活動を、無刺激時および純水を口に含んだ時とウィルコクソンの符号付順位検定により比較した。その結果、副交感神経活動は、無刺激時と比較して、MSG刺激中有意に上昇し($p < 0.05$)、クエン酸刺激中に上昇傾向($p < 0.1$)を示したのに対し、キニーネ刺激中は純水時と比べて減少傾向($p < 0.1$)を示した(図1A)。一方、交感神経活動は、キニーネ刺激中に無刺激時、純水時と比較して有意に上昇したが($p < 0.01$)、他の4基本味刺激では有意な変化は認められなかった(図1B)。

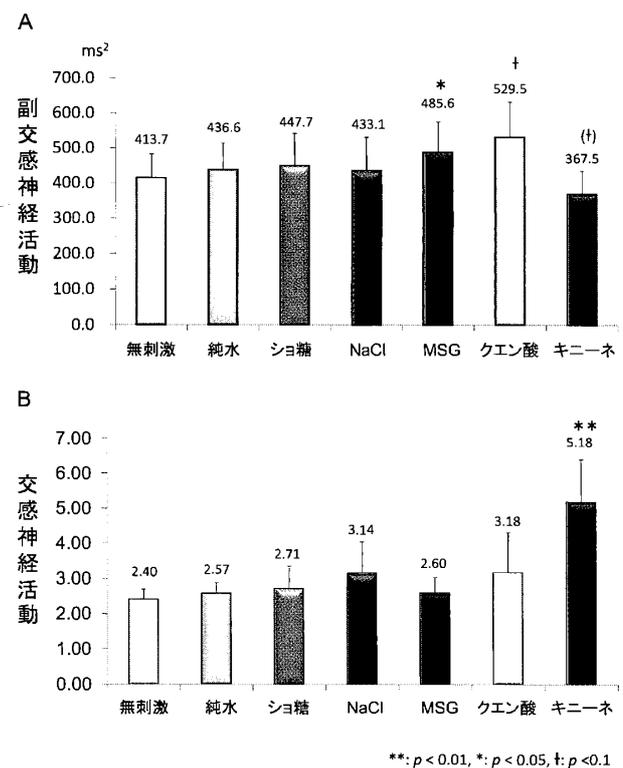


図1 5基本味溶液刺激中の自律神経活動の変化

A: 副交感神経活動。無刺激時と比較して、うま味刺激中の有意な上昇と酸味刺激中の上昇傾向が認められた。苦味刺激では純水時と比較して減少する傾向がみられた。

B: 交感神経活動。苦味刺激中は無刺激時および純水時と比較して有意な上昇が認められたが、他の味刺激では有意な変化は認められなかった。

味覚刺激と自律神経・脳活動の関連

味覚刺激と唾液分泌

味覚刺激による自律神経活動変化のアウトプットとして、ヒトで最も直接的に観察できるのが、味覚唾液反射による唾液分泌である。口腔内に加えられた味覚刺激の信号は鼓索神経、舌咽神経、大浅錐体神経によって延髄孤束核のニューロンに伝達され、その情報が次いで延髄にある上・下唾液核のニューロンに送られる。その結果、副交感神経系の働きにより耳下腺、顎下腺、舌下腺から電解質を含む水様性の唾液が多量に分泌される。一方、ストレスなどによる交感神経系の活性化はタンパク質に富む粘性の高い唾液を少量分泌させる。したがって、唾液分泌は自律神経の活動バランスが反映された結果と捉えることが出来る。

そこで、前項の自律神経活動測定の際に、味覚刺激時の唾液分泌速度を測定し、ウィルコクソンの符号付順位検定により無刺激時および純水時との比較を行った。その結果、無刺激時および純水時と比較すると、5基本味すべての刺激が唾液分泌速度を有意に増加させたが、その中で苦味刺激は促進効果が他の味質に比較して弱かった(図2)。これらの結果を基に、刺激時の唾液分泌速度と副交感神経活動および交感神経活動がどのように関連するかを検討した結果を図3に示す。副交感神経活動と唾液分泌速度との間には正の有意な相関($r = 0.359, p < 0.01$)が認められ、かつ、交感神経活動と唾液分泌速度との間には弱いながら有意な負の相関が認められた($r = -0.294, p < 0.05$)。

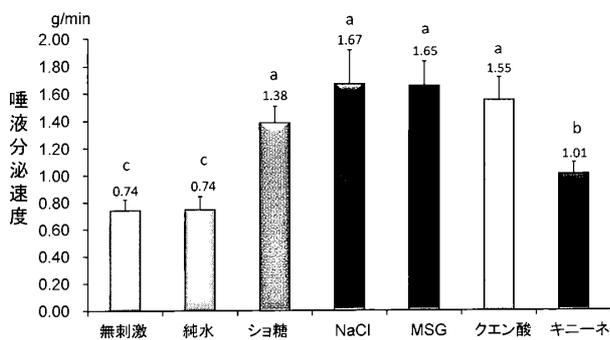


図2 味覚刺激による唾液分泌速度の変化

5基本味刺激すべてが無刺激時および純水時と比較して唾液分泌速度を上昇させたが、苦味は他の味質に比較して促進効果が低かった。

異なるアルファベット間には有意差があることを示す ($p < 0.01$)。

ここまでの結果を総合すると、うま味や酸味刺激は副交感神経活動を高めて唾液分泌を効果的に促進すること、さらには消化器系全体をも活性化する可能性が示唆された。一方、苦味刺激は、副交感神経活動の低下と交感神経活動の上昇を生じ、唾液分泌への効果も低いという特徴がみられたが、これは嫌われる味であることに起因していると推測される。実際に、味の好みについて5段階(1.嫌い、2.どちらかといえば嫌い、3.どちらでもない、4.どちらかといえば好き、5.好き)で回答を得た結果、甘味 4.42 ± 0.16 (平均値 \pm 標準誤差, $n = 25$)、塩味 4.17 ± 0.19 、うま味 4.58 ± 0.13 、酸味 3.96 ± 0.18 、苦味 2.42 ± 0.23 となり、苦味以外の味質は4前後と好む者が多かったのに対し、苦味はほとんどの被験者で嫌われる味であった。このことから、口腔内に味覚刺激が加わると、基本的には副交感神経系を介する無条件反射の経路を介して唾液分泌が促進されるが、嫌い(不快)の情動を生じる味の場合は交感神経活動の上昇も伴い、基本の反射性調節に修飾を加える可能性が示唆された。

味覚刺激と情動：脳波からの解析

食物を味わう時に生じる快・不快の情動は、前述のように自律神経を介する反射性調節に影響を与えるだけでなく、摂食行動に直接的かつ強力な影響を及ぼす。好物を摂取するときには、食物に関する視覚、味覚、嗅覚、口腔内体性感覚の情報が総合されて、過去の経験に照らしてこの食べ物はおいしく身体に有益という情動評価がなされ、食欲は増進さ

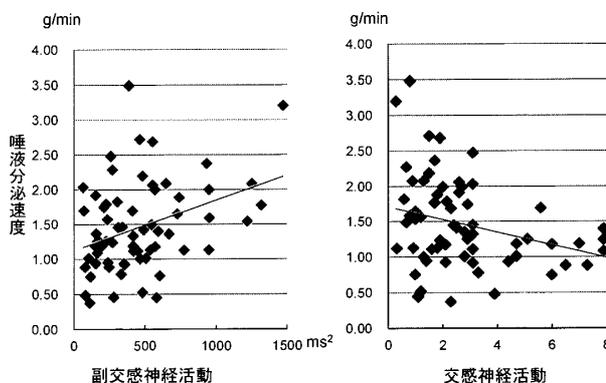


図3 自律神経活動と唾液分泌速度との関係

唾液分泌速度は、副交感神経活動と正の相関($r = 0.359, p < 0.01$)を示し、交感神経活動とは負の相関($r = -0.294, p < 0.05$)を示した。

杉本 久美子・土橋 なつみ・泰羅 雅登・臼井 信男

れ、積極的に摂取する行動として表出される。逆に、ある食物を摂取して食中毒やアレルギーを起こすといった経験をすると、負の情動体験となり、それ以降その食物を忌避して摂取しないという行動が定着する。このように食物を味わう際には、味の知覚・認知に加えて情動に関わる脳の活動が生じており、一人ひとりが感じる情動を客観的に捉える事ができれば、言語的コミュニケーションが困難な認知症患者等においても、内的にどのように感じているのかを把握することが可能となる。

味覚刺激時のヒトの脳活動を非侵襲的に検出する方法として、近年、Magnetoencephalography (MEG: 脳磁図)¹⁷⁻¹⁹⁾、functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI: 機能的磁気共鳴画像法)²⁰⁻²²⁾、Near-Infrared Spectroscopy (NIRS: 近赤外分光法)²³⁾などが利用されている。特に、MEGやfMRIは空間解像能が高いため、味覚刺激時の脳内活動領域とその応答性についてこれらを用いた詳細な検討が行われている。活動領域として、大脳皮質第一次味覚野である島皮質、前頭・頭頂弁蓋部は共通して報告されており、その中でも各基本味に対してより強く選択的に活性化される領域があるとの報告もなされている²²⁾。さらに、第一次味覚野から情報を受け、嗅覚など他の感覚情報も総合して高次の食の総合判断が行われる眼窩前頭皮質では、快と不快の刺激で異なる領域が活性化され、情動処理に重要な扁桃体は両刺激により活性化されることが報告されている²⁰⁾。このように、味覚刺激中に活性化される脳領域についての知見は得られつつあるものの、その活動に伴って実際にどのような情動を生じているのかについて客観的に分析した報告はまだない。

そこで、今回、大がかりな設備を必要とせず、フィールドでのデータ採取が可能な脳波計測を行い、味の種類によって生じる情動の違いを捉えることを試みた。脳波は臨床的にも確立されている脳活動の記録方法であるが、従来、味覚刺激による誘発電位を100回以上加算平均することにより有意な信号を得る試みが行われてきた²⁴⁾。一方、本研究で使用した感性スペクトル解析システム((株)脳機能研究所)は、1回の計測で情動解析が可能という利点を有し、国際10-20法にしたがって、頭皮上に設置した10箇所の電極から導出した脳波を分析する^{25,26)}。実際の実験の様子とプロトコルを図4に示す。こ

の解析システムは、喜(満足感)、怒(ストレス)、哀(気落ち感)、楽(リラックス感)の各要素を主観的に純粹体験しているときの脳波パターンとの相互相関を分析することで、様々な感覚経験をしている時の情動の4要素のレベルを推計するものである。本システムを用いて、被験者が口腔内に注入された5mlの刺激溶液を閉眼状態で20~30秒間味わう際の情動変化を解析した。刺激溶液は、明確に味の質を感じられ情動を伴う条件とするために高めの濃度とし、0.5Mおよび1.0M ショ糖、0.03M または0.1M クエン酸、0.5M MSG、0.3mM キニーネを用いた。さらに、おいしさを高めるために使用される辛味成分のカプサイシン(0.03mM または0.1mM)を刺激に用い、感作を避けるために刺激順序は最後とした。

各刺激による4基本感情(怒・喜・哀・楽)の変化例を図5に示す。この被験者においては、ショ糖刺激時にストレスの下降と満足感・リラックス感の上昇がみられ、MSG刺激時にストレスの下降と満足感の上昇、キニーネ刺激時にストレス・気落ち感の上昇とリラックス感の下降などの変化がみられたが、カプサイシンでは主観的辛さが弱かったことを反映して、大きな変化はみられなかった。感情レベルは個人によるばらつきが大きいいため、各被験者のデータをZ変換により規準化したうえで、閉眼無刺激時を基準として各刺激時における被験者12名の平均を求めた結果(図6)、味の質により異なる感情変化を生じる可能性が示唆された。被験者数が少ないため、純水と比較した変化が有意とならないものが多いものの、ショ糖では、ストレスの低下と満足感・リラックス感の上昇、クエン酸では、ストレス・リラックス感の低下、満足感の上昇、キニーネでは、ストレス・気落ち感の上昇とリラックス感低下といった味の質による特徴的変化パターンが得られた。概括すると、全員に好まれる甘味ではポジティブな感情変化がみられ、嫌われる苦味ではネガティブな感情変化が生じていることが明確に示された。一方、MSGで明確なパターンがみられなかった要因としては、全員うま味自体は好むものの、MSG溶液を単独で味わうとおいしく感じられず、塩味などの他の味と混合して始めておいしく感じられる性質があるためと考えられ、今後混合刺激を用いて検討する必要がある。ショ糖、クエン酸および

味覚刺激と自律神経・脳活動の関連

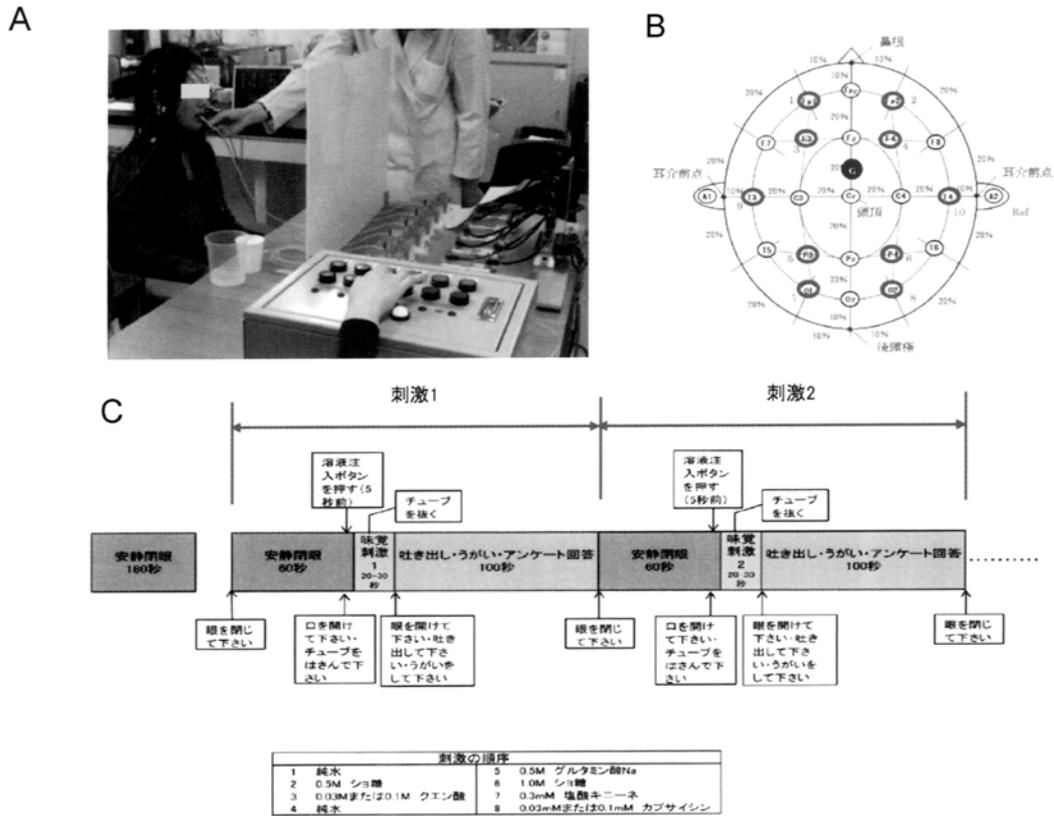


図4 味覚・辛味刺激による脳波変化の記録実験

- A: 被験者の口内に外径4 mmのチューブを挿入し、コントロール装置でシリンジを押すことにより5 mlの各溶液を一定速度で注入した。
- B: 国際10-20法に従い、赤丸で示した10箇所電極より脳波を導出した。
- C: 実験のプロトコル。閉眼時を規準として刺激時の変化を抽出した。

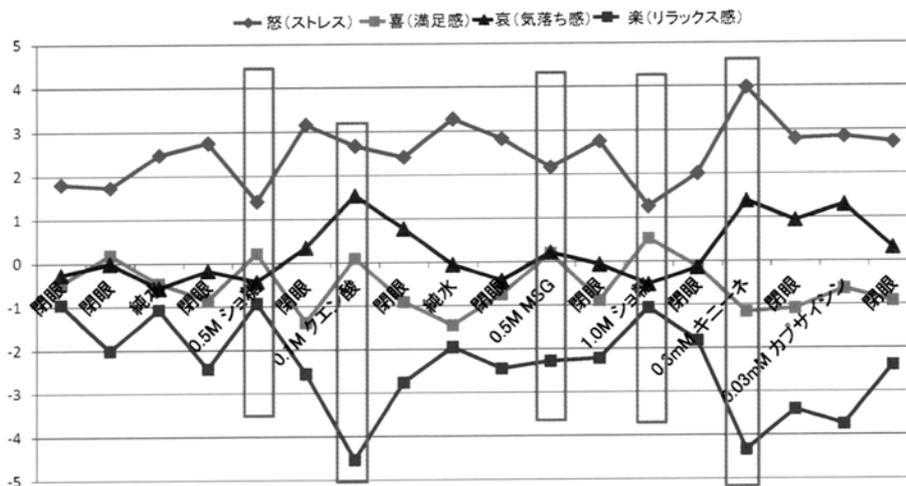


図5 味覚および辛味刺激による4基本感情の変化例
味覚刺激により変動した部分を赤枠で示した。

杉本 久美子・土橋 なつみ・泰羅 雅登・臼井 信男

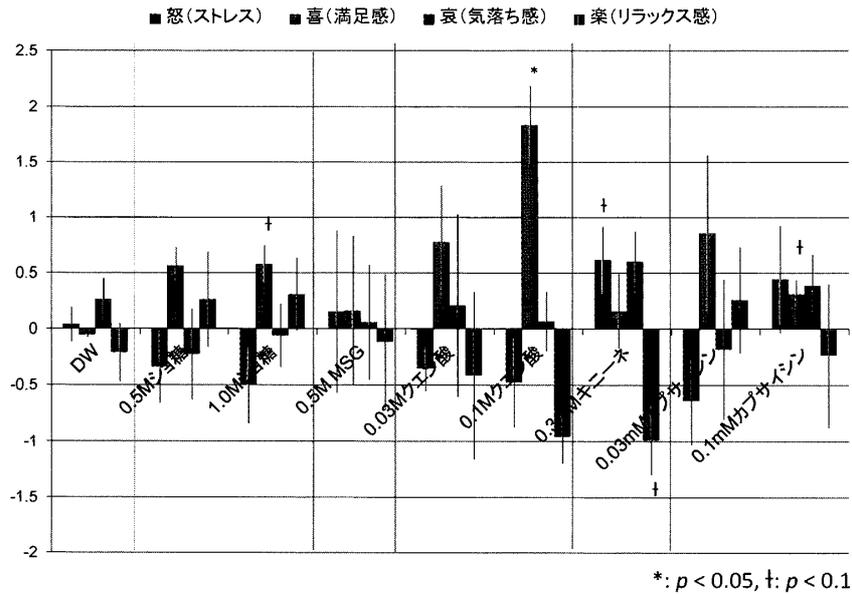
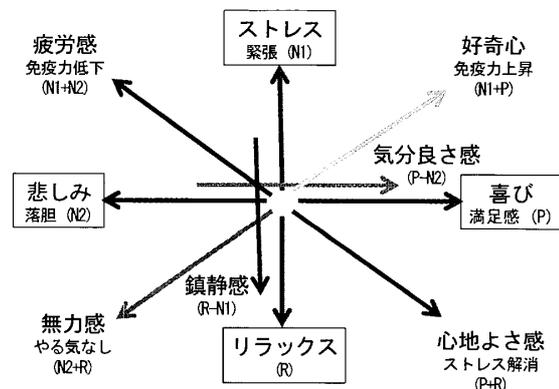


図6 味覚および辛味刺激による4基本感情の変化

Z変換によりノーマライズして閉眼時を規準とした12名の平均値を示し、エラーバーは標準誤差を示す。味の質により異なる変化パターンがみられた。ウィルコクソンの符号付順位検定を行い、純水を口に含んだ場合と比較して有意な変化または変化傾向がみられたものにマークを付した。クエン酸とカプサイシンの各濃度については被験者は6名。

カプサイシンは2段階の濃度を使用した。前2刺激は濃度にかかわらず同様の感情パターンを示したのに対し、カプサイシンでは濃度によるパターンの違いが認められた。低濃度カプサイシンではストレス低下がみられたが、高濃度で辛みが強くなると逆にストレスが上昇する結果となり、刺激性の上昇に伴って、生じる感情パターンも変化することが示された。

さらに、図7に示すように基本感情を加減することにより、複合感情(好奇心、無力感、疲労感、心地よさ感、鎮静感、気分良さ感)を求めることも可能とされており²⁷⁾、この方法に従って刺激時の複合感情変化を検討した結果を図8に示す。各刺激について純水のパターンとの比較で表しているが、好まれる甘味刺激では心地よさ、気分よさ、鎮静感などが強まり、嫌がられる苦味刺激では心地よさ感や鎮静感が低下し、疲労感が増した。また、刺激性の強いクエン酸、キニーネおよびカプサイシンは共通して好奇心を高めたが、クエン酸と低濃度のカプサイシンにはキニーネと異なり、心地よさ感や気分よさ感を高める効果が認められた。摂食・嚥下障害患者に対し、感覚を覚醒させるために、クエン酸やカ



(株)脳機能研究所より資料提供

図7 基本感情と複合感情の関係

プサイシンの刺激が利用されているが、この結果はそれらの刺激が不快を生じない可能性を示すと考えられる。

今回、脳波記録から基本感情および複合感情の分析を行った結果、好まれる味と嫌われる味に対して異なるパターンの感情変化が捉えられたことは、逆にいえば、脳波パターンから客観的に味の快・不快を推測できる可能性を示唆すると考えられる。

味覚刺激と自律神経・脳活動の関連

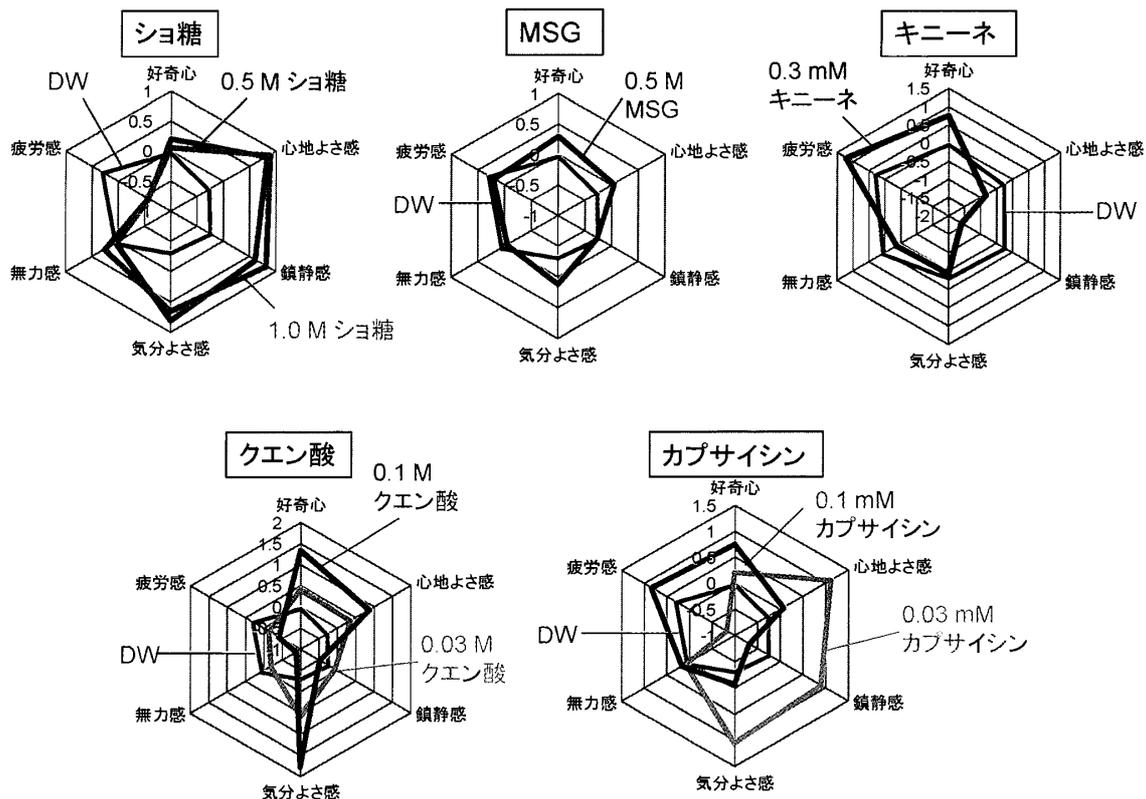


図8 基本感情の結果(図7)から求めた味覚・辛味刺激に対する複合感情の変化
各刺激について、純水を口に含んだ時との比較で示した。

おわりに

味覚刺激に対する感性解析に加えて、現在、頭皮上21箇所を設置した電極の記録から、一定の周波数帯域のニューロン活動量を検出、マッピングする方法(NAT: Neuronal Activity Topography)²⁸⁾を用いて、刺激時に特定の周波数帯域の脳波活動が高まる領域の同定を試みている。現時点では、脳波からの分析は空間的解像度が悪く、味の種類による反応パターンの違いは全く見出されていない。しかし、味覚刺激とカプサイシンによる体性感覚刺激では若干の違いが認められており、4～8 Hzの θ 帯域では味覚刺激中両側頭部近辺にニューロン活動量の増加がみられ、カプサイシンでは頭頂部近辺での活動増加が観察された。また、8～13 Hzの α 帯域では、味覚刺激中に前額部や右前頭部を中心にニューロン活動の増加がみられており、NIRSで観察された活動領域の前頭前野²³⁾との対応、情動との関連が示唆されるが、この分析に関しては今後さらに検討を重ねる必要がある。

本稿で、味覚刺激中の自律神経活動および脳波の分析から他覚的、客観的に刺激に対する生体反応と

情動変化を検出する試みを行い、味の快・不快の違いが異なる自律神経活動と脳活動を引き起こすことを報告した。今回は基本的味刺激のみを用いているが、今後実際の食物の味わいに近づけるように、複雑な味やうま味をおいしく感じられる条件下で実験を行い、この方法の有用性を検証していきたいと考えている。特に、脳波による分析は、大がかりな装置を必要とせず、フィールドにおいても利用できる利点があるため、主観的感じ方を言語表現できない認知症等の対象者に対して、その内面を推し量る上で有用なツールになる可能性があり、内面理解を対象者への対応に活かし、健康とQOLの向上のためのサポートに役立ていくことが期待される。

謝 辞

本研究実施にあたり多大なご協力をいただいた東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科小児歯科学分野の三輪全三先生、上原奈緒子先生ならびに(株)脳機能研究所の武者利光先生、田中美枝子先生に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Inui-Yamamoto C, Furudono Y and Yamamoto T: Hedonics of taste influence the gastric emptying in rats. *Physiol Behav* 96, 717-722 (2009)
- 2) Jiang ZY and Nijijima A: Effects of taste stimuli on the efferent activity of the gastric vagus nerve in rats. *Neurosci Lett* 69, 42-46 (1986)
- 3) Ikuno H and Sakaguchi T: Gastric vagal functional distribution in the secretion of gastric acid produced by sweet taste. *Brain Res Bull* 25, 429-431 (1990)
- 4) Mattes RD: Physiologic responses to sensory stimulation by food: nutritional implications. *J Am Diet Assoc* 97, 406-413 (1997)
- 5) Neyraud E, Sayd T, Morzel M and Dransfield E: Proteomic analysis of human whole and parotid salivas following stimulation by different tastes. *J Proteome Res* 5, 2474-2480 (2006)
- 6) Proctor GB and Carpenter GH: Regulation of salivary gland function by autonomic nerves. *Autonom Neurosci: Basic & Clinical* 133, 3-18 (2007)
- 7) Harthoorn LF, Brattinga C, Van Kekem K, Neyraud E and Dransfield E: Effects of sucrose on salivary flow and composition: differences between real and sham intake. *Int J Food Sci Nutr* 60, 637-646 (2009)
- 8) 杉本久美子: 味覚・うま味と自律神経活動. 味と匂誌 17, 109-115 (2010)
- 9) Nijijima A: Effects of oral and intestinal stimulation with umami substance on gastric *vagus* activity. *Physiol Behav* 49, 1025-1028 (1991)
- 10) Horn CC: Electrophysiology of vagal afferents: Amino acid detection in the gut. *Ann N Y Acad Sci* 1170, 69-76 (2009)
- 11) Toyomasu Y, Mochiki E, Yanai M, Ogata K, Tabe Y, Ando H, Ohno T, Aihara R, Zai H and Kuwano H: Intragastric monosodium L-glutamate stimulates motility of upper gut via vagus nerve in conscious dogs. *Am J Physiol - Regl Integr Comp Physiol* 298, R1125-R1135 (2010)
- 12) Kitamura A, Sato W, Uneyama H, Torii K and Nijijima A: Effects of intragastric infusion of inosine monophosphate and L-glutamate on vagal gastric afferent activity and subsequent autonomic reflexes. *J Physiol Soc* 61, 65-71 (2011)
- 13) Kamath MV and Fallen EL: Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function. *Crit Rev Biomed Eng* 21, 245-311 (1993)
- 14) Smith ML, Carlson MD and Thames MD: Reflex control of the heart and circulation: implication for cardiovascular electrophysiology. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2, 441-449 (1991)
- 15) Ori Z, Monir G, Weiss J, Sayhouni X and Singer DH: Heart rate variability. Frequency domain analysis. *Cardiol Clin* 10, 499-537 (1992)
- 16) Uehara N, Takagi Y, Miwa Z and Sugimoto K: Objective assessment of internal stress in children during dental treatment by analysis of autonomic nervous activity. *Internatl J Paediatric Dent* 22, 331-341 (2012)
- 17) Kobayakawa T, Endo H, Ayabe-Kanamura S, Kumagai T, Yamaguchi Y, Kikuchi Y, Takeda T, Saito S and Ogawa H: The primary gustatory area in human cerebral cortex studied by magnetoencephalography. *Neurosci Lett* 212, 155-158 (1996)
- 18) Yamamoto C, Takehara S, Morikawa K, Nakagawa S, Yamaguchi M, Iwaki S, Tonoike M and Yamamoto T: Magnetoencephalographic study of cortical activity evoked by electrogustatory stimuli. *Chem Senses* 28, 245-251 (2003)
- 19) Onodera K, Kabayakawa T, Ikeda M, Saito S and Kida A: laterality of human primary gustatory cortex studied by MEG. *Chem Senses* 30, 657-666 (2005)
- 20) Faurion A, Cerf B, Van De Moortele P-F, Lobel E, Leod PM and Bihan DL: Human taste cortical areas studied with functional magnetic resonance imaging: evidence of functional lateralization related to handedness. *Neurosci Lett* 277, 189-192 (1999)
- 21) O'Doherty J, Rolls ET, Francis S, Bowtell R and McGlone F: Representation of pleasant and aversive taste in the human brain. *J Neurophysiol* 85, 1315-1321 (2001)
- 22) Schoenfeld MA, Neuer G, Tempelmann C, Schüßler K, Noesselt T, Hopf J-M and Heinze H-J: Functional magnetic resonance tomography correlates of

味覚刺激と自律神経・脳活動の関連

- taste perception in the human primary taste cortex. *Neurosci* 127, 347-353 (2004)
- 23) Okamoto M, Dan H, Clowney L, Yamaguchi Y and Dan I: Activation in ventro-lateral prefrontal cortex during the act of tasting: An fNIRS study. *Neurosci Lett* 451, 129-133 (2009)
- 24) Mizoguchi C, Kobayakawa T, Saito S and Ogawa H: Gustatory evoked cortical activity in humans studied by simultaneous EEG and MEG recording. *Chem Senses* 27, 629-634 (2002)
- 25) Musha T, Terasaki Y, Haque HA and Ivanitsky GA: Feature extraction from EEGs association with emotions. *Artif Life Robotics* 1, 15-19 (1997)
- 26) Musha T, Kimura S, Kaneko K, Nishida K and Sekine K: Emotion spectrum analysis method (ESAM) for monitoring the effects of art therapy applied on demented patients. *Cyber Psychol Behav* 3, 441-446 (2000)
- 27) 萩原一平: ころへ働きかける商品開発とニューロマネジメント. 研究開発リーダー 4, 26-34 (2007)
- 28) Musha T, Matsuzaki H, Kobayashi Y, Okamoto Y, Tanaka M and Asada T: EEG markers for characterizing anomalous activities of cerebral neurons in NAT (Neuronal Activity Topography) method. *Biomed Engin* 60, 2332-2338 (2013)

<著者紹介>

杉本 久美子 (すぎもと くみこ) 氏略歴

- 1973年 大阪大学薬学部卒業
 1973年 東京医科歯科大学歯学部技官
 1983年 薬学博士の学位取得 (大阪大学)
 1986~1987年 米国モネル化学感覚研究所 研究員 (Postdoctoral fellow)
 1992年 東京医科歯科大学大学院歯学研究科助手
 1997年 同講師
 1997年 米国ルイジアナ州立大学生物科学研究員
 2004~2010年 東京医科歯科大学 歯学部口腔保健学科教授
 2011年~ 東京医科歯科大学 歯学部口腔保健学科口腔保健工学専攻教授



土橋 なつみ (つちはし なつみ) 氏略歴

- 2007年 九州大学歯学部卒業
 2012年 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科口腔機能再構築学系 (小児歯科学) 専攻博士課程修了
 2012年 東京医科歯科大学歯学部口腔保健学科口腔保健工学専攻口腔保健基礎工学講座口腔基礎科学分野非常勤講師



杉本 久美子・土橋 なつみ・泰羅 雅登・臼井 信男

泰羅 雅登（たいら まさと）氏略歴

- 1981年3月 東京医科歯科大学歯学部卒業
- 1985年3月 東京医科歯科大学大学院歯学研究科博士課程修了
- 1985年4月 (財) 東京都神経科学総合研究所流動研究員
- 1987年4月 日本大学医学部 (第一生理学)
- 1990年11月 米国 Johns Hopkins 大学客員研究員 (兼任)
- 1991年7月～ 米国 Minnesota 州立大学客員講師 (兼任)
- 1993年3月
- 2004年5月 日本大学総合科学研究所教授
- 2005年4月 日本大学大学院総合科学研究科教授
- 2010年5月 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科教授



臼井 信男（うすい のぶお）氏略歴

- 1990年 日本大学文理学部心理学科卒業
- 1992年 日本大学大学院文学研究科心理学専攻博士前期課程修了
- 1998年 日本大学大学院文学研究科心理学専攻博士後期課程修了 博士 (心理学)
- 1997年 山梨県環境科学研究所環境生理学研究室 研究員
- 2002年 科学技術振興事業団 (社会技術研究システム) 研究員
- 2004年 科学技術振興機構 (CREST) 研究員
- 2011年 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科認知神経生物学分野 技術補佐員

