

畿央大学における私の健康科学に関する研究

山本 隆

畿央大学健康科学部健康栄養学科 (〒635-0832 奈良県北葛城郡広陵町馬見中4-2-2)

My research topics on health sciences in Kio University

Takashi YAMAMOTO

Department of Nutrition, Faculty of Health Sciences, Kio University
(4-2-2 Umami-naka, Koryo-cho, Kitakatsuragi-gun, Nara 635-0832, Japan)

要約 筆者は畿央大学健康科学部健康栄養学科に在職中、「おいしさと健康」に関する研究を主に学部学生とともに卒業研究として行ってきた。本稿はそのすべてを項目ごとにまとめて記載したものである。いずれも学生諸子が目を輝かせて取り組んだ研究であり、それぞれの成果は魅力的なアラカルトになっている。しかし、研究成果を国際誌に発表できたものは少数であったため、ここに研究内容を多くの人と共有し、今後これらの研究を発展させ、完成させる研究者が現れることを期待したい。

Keywords：オレキシン、うま味、コク味、客観的評価法、別腹、わさび、キンモクセイ、唾液分泌

1. はじめに

畿央大学に奉職したのが2008年4月1日であるから2024年3月末日までの期間は16年間に及ぶ。この間種々の研究を楽しく行うことができたのも、その間の総数62名に及ぶゼミ学生、4名の修士課程、そして4名の博士課程の学生諸子との共同研究によるものであり、過不足のない自由な研究環境を与えていただいた畿央大学にも深く感謝したい。

従来、筆者は味覚に関する基礎的な研究を行ってきたのであるが、畿央大学の健康科学部健康栄養学科に籍を置くからには「いつまでもおいしく食べて健康に過ごす」ことに関わる研究をしようと考えていた。そして、この大きな研究テーマには幸いなことにどのような研究を行ってもはずれがないことを実感しつつ、研究は面白くなくてはならない、ワクワクしながら行うものであるという信条のもと、学生諸子とは思いつくまま多様な研究をさせていただいた。なお、以下に述べるすべての動物実験は畿央大学動物実験委員会の承認を得て行われたものであり、人を対象にした官能評価実験に関しては畿央大学研究倫理委員会の承認を得ている。

2. 運動系

運動後にクエン酸の多いレモンなどを摂取すると疲労回復効果があり、運動後は酸味を好むようになると

されている。2010年、修士の研究を開始した西尾¹⁾はそれを確かめようと回転ホイール付きのケージでラットを飼育し、水を与えた場合とクエン酸溶液を与えた場合で回転数(すなわち運動量)に差が出るかを調べることにした。ある日彼から餌を与えないと回転数が増えるみたいですよという報告を受けた。餌箱のセットを忘れたための意外な発見だった。それは面白そうだったので研究テーマを急遽変更することとなり、下記のごとく興味深い結果が得られた。

確かにラットの運動量は、自由摂食状態時(摂食日)に比べて前日夕方6時からの絶食状態時(絶食日)に上昇することが確認できた。空腹のときに運動量が増えるのである。血糖値は、当然ながら摂食日より絶食日で有意に低くなっていた。絶食日に飲み水としてエネルギー源である10%スクロースや10%グルコースを与えると、血糖値は絶食日と比較して有意に高くなり、運動量は摂食日と同様低くなった。しかし、0.1%サッカリン、10%フルクトース、10%コーンオイルを与えた場合、血糖値は上昇せず、運動量は絶食日と同じように上昇した(図1)。すなわち、運動量と血糖値の間には、負の相関が認められたのである。

血糖値の低下は視床下部外側野(摂食中枢)を刺激することがよく知られている²⁾。また、同部位の細胞が有する神経ペプチドであるオレキシンの関与が推察された。オレキシンは摂食行動を活発にするペプチドであるが³⁾、覚醒状態を維持し、探索行動を促進させる働きもあることが知られていたからである。そこで、

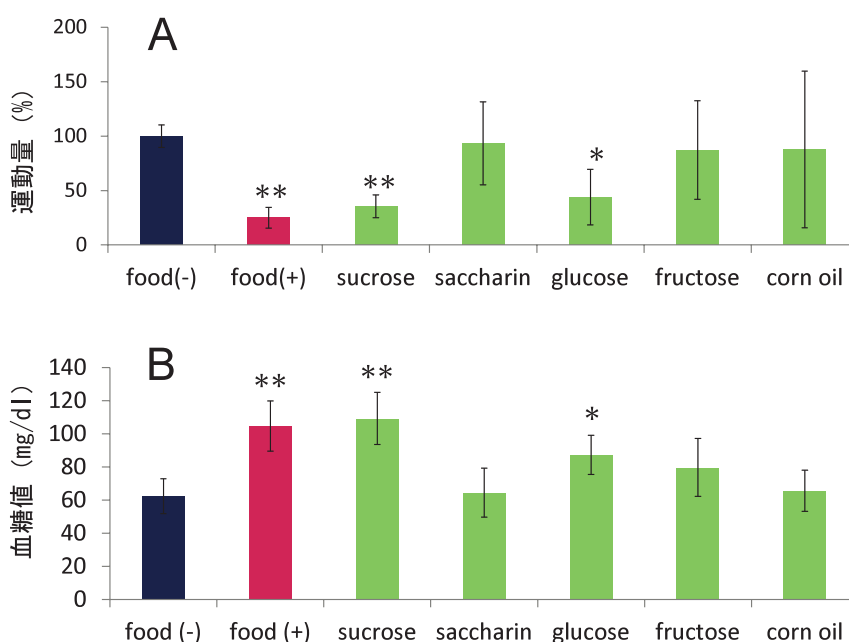


図1 摂取物を変えた時の運動量 (A) と血糖値 (B) (ラット)。運動量は絶食時の運動量を100とした時の相対値で表す。* P < 0.05 ** P < 0.01 西尾¹⁾より

昭和大学歯学部の井上富雄教授の協力で、オレキシン欠損 (KO) マウスと野生型 (WT) マウスを用いて絶食日と摂食日の運動量を比較したところ、WTマウスはラットと同じように絶食日に活動量が増加したが、KOマウスでは絶食日に運動量の増加が見られなかった。さらに、免疫組織化学的にも血糖値の低下したラットでは、外側視床下部でのオレキシンがより強く発現していることが確認された。これらの結果は、今まで不明であった絶食時の自発活動亢進に、血糖値とオレキシンが関与することを示したものである。すなわち、空腹時には、血糖値の低下により視床下部外側野の細胞が活性化し、その結果、オレキシン分泌が促進され、覚醒レベルが上昇し、運動量の増加を誘導したものと解釈できる。「空腹時に餌を求めて動き回る」背後のメカニズムとも言えよう。

3. おいしくする研究

ヒトは動物と違い、食材を生のまま食べるのではなく、各種の食材を取り合わせ、各種調味料を用いておいしい食べ物を作り出す調理技術を持っている。甘味、塩味、うま味、油脂の味はおいしくするための基本要素である。よりおいしくするためにはこれらをより高濃度で使う方向にエスカレートし、我々は薄味より濃い味付けを嗜好するようになった。また我々日本人の食文化として、濃い塩分濃度の食べ物が多々あり、塩分の摂り過ぎが健康問題になっている。塩分濃度を減らした薄味に戻すにはいったん慣れ親しんだ者にとっては、物足りない薄味のためおいしく味わえない。そ

のため、減塩食をいかにすればおいしく食べることができるかが重要な課題となっている。

そのための方策として、グルタミン酸ナトリウム (monosodium glutamate, MSG) を添加することによりおいしさを増強するという方法がよく知られている。添加するMSG量はわずかなので、含まれるナトリウムイオン量は塩分濃度にほとんど影響がない。文献的にも実際の調理場面でもそのことは実証されている。我々は、2つの問題意識で研究を進めてきた。一つは、MSG以外の物質でおいしくする作用のあるものはないだろうか？ということ、もう一つはなぜMSGでおいしくなるのか？ということである。

1) 減塩食をおいしくする物質の探索

減塩食の代表として実験では減塩味噌汁 (タケヤみそ特醸、株式会社竹屋、長野、を使用、塩分濃度0.6%または 0.7%に調整) を用い、薄味のこの味噌汁をおいしくする添加物を求めて研究を進めている。初年度 (2014年度) はすでに報告されている物も含めて、思いつくまま自由に添加することにした。人でテストするより実験動物を用いるほうがスクリーニングには効率的だと考え、石田と高井⁴⁾はマウス (C57BL/6SLC) を用い、一方に味噌汁、他方に味噌汁+添加物を置いて2ピン選択実験を行った。添加物をうま味群、甘味群、ミルク群、ペプチド群の4群に分け、各群は3~8種類の物質からなる。結果として、カルノシン、コハク酸、グアニル酸ナトリウム、クリーブを添加すると摂取量が増大することが示された。「体にいいものはそれ自身がおいしいかそれが存在すると食べ物 (料理) がお

いしくなることにより摂取が促進される」という持論に照らせば、抗酸化物質、抗疲労物質として知られるカルノシン (β -alanyl-L-histidine) がおいしさを増強するとなれば我が意を得たりの心境であった。その流れで、樽井と水田⁵⁾ は、しじみに多く含まれ、疲労回復効果があり、体内では肝臓での尿素回路に重要な物質であるオルニチンに減塩味噌汁のおいしさを増強する効果があることを、マウスを用いて明らかにした。研究を続けた水田^{6,7)} は、オルニチンは味細胞に発現するGPRC6Aという受容体に結合し、うま味物質のみならず、甘味、塩味、油 (Intralipos、大塚製薬、東京) の味を増強する新規のコク味物質であることを見出し、学位の仕事にまで発展させた。さらに、足立と吉森⁸⁾ は関節症や食欲不振などの改善に効果があるとされるグルコサミン (アミノ糖) に減塩味噌汁のおいしさを増強する作用があること、アンタゴニストの作用から味細胞に発現するカルシウム感受性受容体 (calcium-sensing receptor, CaSR) というコク味受容体に結合して作用を発揮する可能性を示唆した。また、ヒトでも味噌汁をおいしくする作用のあることを官能評価により示すことができた。

以上述べたようにおいしさはコクと関係することが示唆されたので、田中と馬淵⁹⁾ はコク味物質として同定されているL- γ -Glutamyl-L-Valyl-Glycine (γ -Glu-Val-Gly) (味の素株式会社からの提供) を昆布だしと鰹だしに添加したときの効果をマウスとヒトで調べた。動物はコク概念が分からないので、コクの実験では人の評価に頼らざるを得ない。この物質の添加で

マウスでは昆布だしより鰹だしの嗜好性を強め、ヒトではコクの特徴である厚み、持続性、広がりを増大させたが昆布だしより鰹だしでより強力な効果が得られた。昆布だしのうま味物質はMSGが主体であり、鰹だしではイノシン酸ナトリウム (inosine monophosphate, IMP) であるから、 γ -Glu-Val-GlyはMSGよりIMPの応答を強めると考えられるが、このことは筆者らの最近のラットの実験結果とも一致する¹⁰⁾。

清水ら¹¹⁾ は減塩味噌汁にミニトマトのしぼり汁を0.5%の割合で添加するとコクが出ておいしくなることを見出した。上村ら¹²⁾ はミニトマトのどの成分がその効果に関与するのかを調べるため、ミニトマトに含まれるグルタミン酸、アスパラギン酸、糖分、塩分、クエン酸、ビタミン、アミノ酸を単独、あるいは種々の組み合わせで減塩味噌汁に添加しておいしさやコクを測定したが、結局すべての成分を添加しないとおいしさやコクは有意に増加しないことがわかった。コク概念はあいまいでその評価にも個人差が大きいことから、清水らは2023年度の卒業研究として、コクの評価系の作成を試みている。単純な溶液モデルを作成し、そこにコク味物質を添加すると多くの人が共通にしかも明確にコクが出たと感じる。そういった標準評価系ができれば、新規のコク味物質の探索に有効な手段となるであろう。我々はコクという言葉を実用的に使っているが、その概念は欧米人にとって理解しにくいようである。科学的にコクを説明する試みはなされているが¹³⁾、今後明確にすべき重要な研究テーマである。

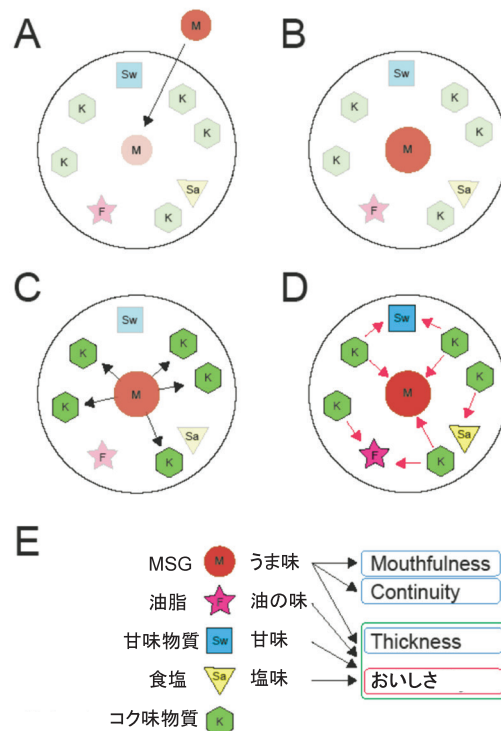


図2 添加されたMSGは、コク味物質の作用を活性化し、食べ物にコクを付与し、おいしくすることを示す模式図。詳細は本文参照。Yamamoto et al.¹⁸⁾ より

2) なぜうま味調味料の添加で料理はおいしくなるのか？

うま味調味料の主成分はMSGで、そこにIMPなどの核酸関連うま味物質が少量含まれている。これらのうま味物質の水溶液はおいしい味ではないので、うま味という味が加わるによりおいしくなるのではないが、複雑な組成の調理品にこれらのうま味物質が添加されるとおいしい調理品になる。Yamaguchi and Kimizuka¹⁴⁾ (1979) は薄めのビーフコンソメにMSGを添加するとコクが出ておいしくなると報告している。コクに関しては、Ueda et al.¹⁵⁾ の1990年の論文がパイオニアとなるもので、中華スープあるいはうま味溶液にニンニク抽出物を添加すると、厚み(Thickness)、口の中の広がり(Mouthfulness)、持続性(Continuity)の3つの要素(これらはコクの3要素とされている)が増強された状態になり、それをkokumi(kokumi flavor)と称した。コク味はkokumiの和訳である。論文で使用したkokumiという言葉は日本人が日常的に使うコクに相当する英語として国際誌では一般的な用語となっている。その後、Ohsu et al.¹⁶⁾ (2010年)により、ニンニク抽出物のようにコクを出す物質(コク味物質)の受容体はCaSRであり、そのアゴニストであるグルタチオン^{16,17)} や γ -Glu-Val-Gly¹⁶⁾ は強いコク味物質であることが示されている。

コクはコク味物質によって生じると考えれば、MSGはコク味物質の作用を増強する可能性を示唆している。一方で、コク味物質はうま味、甘味、塩味、油脂の味を増強することが知られている。Mouthfulnessはうま味の特徴であり、Continuityもうま味の特徴である。Thicknessは濃厚感のことで、これは食材に含まれている、あるいは調味料として添加するうま味、甘味、塩味、油味が増強された状態で、味の複雑性をも意味する。また、これらの味は快感を呈するので、おいしさの増強につながる。以上は筆者の考えであり、それをまとめたものが図2の模式図である¹⁸⁾。

なお、コク味物質として本文では2つの名前を挙げたが、受容体や作用メカニズムは現在不明ではあるものの、ペプチド類、アミノ酸、ビタミン類、無機・有機の塩や酸などが広い意味でコク味物質になりうると筆者は考えている。

食材には未知のコク味物質が種々含まれていて、そこにMSGなどのうま味物質が存在すると、味細胞レベルで相互作用が生じ、おいしさが増強すると考えられる。祭りに例えれば、MSGは神輿(みこし)である。コク味物質は担ぎ手衆であり、肩に乗せる担ぎ棒はコク味受容体である。いずれも単独では役割を果たせな

い。掛け声とともに神輿を揺すりながら練り歩くさまはコクの発現である。まさにおいしさのお祭り騒ぎといった感じである。そのためには、御輿の大きさとそれに見合う担ぎ手の人数のバランスが重要である。

4. おいしさの客観的評価法

おいしさの評価は主観に基づく官能評価法が広く用いられている。官能評価法は有用であるが、個人の主観的な判断によるため種々の環境因子の影響を受けやすいことが問題とされている。そこで、おいしさの客観的な評価法が求められるのであるが、我々は以下に述べる3つの方法を検討した。

1) 脳活動を指標とした評価法

西尾と峰松¹⁹⁾、佐野²⁰⁾は、機能的近赤外分光分析(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)装置(FOIRE-3000、島津製作所)を用い、被験者の前額部(ブロードマン10野に相当)の12チャンネルから、脳細胞の活動を反映するとされる酸素化ヘモグロビン濃度(oxyHb)を計測した。甘味や苦味溶液を摂取した場合、oxyHbの変化は被験者により大きく異なり、一定の傾向を見出すことはできなかった。これは同じ濃度の溶液でも人によって感じ方が違うことに起因すると考えられたので、被験者の好きな食べ物・嫌いな食べ物を摂取させた。その結果、特に前額部下において、好きな食べ物(飲み物)に対してoxyHbは減少し、嫌いなものに対しては増大する結果が得られた。また、おいしさの異なる4種類のゼリーを作り、それを食べてもらおうと、おいしさの評価が高いものほど前額下部のoxyHbは低下し、有意な負の相関を示した。

峰松^{21,22)}はさらに実験を重ね、被験者がおいしいと感じるほど前額最下部のoxyHbは低下することを実証し、学位論文としてまとめた。この知見を実際の評価の場面で応用するためには、誰にでも使える簡便かつ安価な装置を用いる必要がある。そこで、江崎と天竺²³⁾は携帯型fNIRS計測装置(HOT-2000、NeU社製)を用い、前額最下部からの血流量を計測した。5人の被験者に用いた総数30の味刺激につき、飲み込み後30秒間の血流量の平均値とおいしさ評価の間で有意な負の相関がみられた。この結果は先に述べた研究結果と一致したことから、本装置は取り扱いの容易な携帯型でありながらおいしさの客観的評価に使用可能であることが示唆された。現在、携帯型fNIRS装置はおいしさの客観的評価法として有効に活用されている^{11,12)}(図3)。

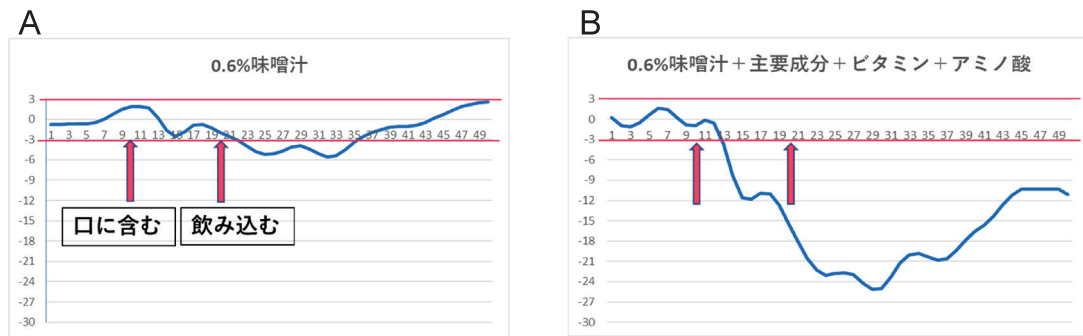


図3 減塩味噌汁を味わったとき(A)と減塩味噌汁にミニトマトの成分を添加したとき(B)の脳血流量の変化。携帯型NIRS装置により前額部から記録。上村ら¹²⁾より

2) 自律神経活動を指標とした評価法

自律神経活動の測定には心拍や指尖脈波の一拍ごとの間隔 (R-R間隔) を解析することにより自律神経活動を定量化する心拍変動パワースペクトル解析法が用いられている。心拍変動を解析対象とした心臓自律神経機能の評価の原理は交感神経活動及び副交感神経活動がパワースペクトル曲線の特定周波数帯域のピークに反映されることに基づいている。心拍変動のパワースペクトルには0.04から0.15Hz付近の低周波数成分 (LF) と0.15から0.4Hz付近の高周波数成分 (HF) が通常観察される。LFは主に交感神経活動と一部副交感神経活動を反映し、HFは副交感神経活動のみを反映するとされている。従って、副交感神経活動はHF値、交感神経活動はLF/HF値を用いるのが慣例となっている。

植原と津野²⁴⁾ はラベンダー、ジャスミンの香り、コーヒー飲料の各試料に対する好みの程度 (嫌い-好きのアナログスケールを使用) とLF/HFの交感神経活動の相関性を調べた。その結果、刺激からの時間経過で相関性が変わる傾向にあることを見出した。まず、香りを感じることで注意が喚起され、飲料を伴うコーヒーの場合にはさらに味わえるという期待感 (欲求) が掻き立てられることで、交感神経が活動状態になる。その後、それを口にすることで欲求を満たすことが出来、満足感とともに交感神経活動が下がり、気分的にも落ち着くというデータを得ることが出来た。

なお、その後の卒業研究でこの自律神経活動は味噌汁にトマトを添加しておいしくなったことを示す客観的評価法としても活用した¹¹⁾。

3) 顔面表情の解析による評価法

甘くておいしい食べ物を口にするとにっこりし、レモンなどすっぱいものが口に入ると思わず顔をしかめる。このようにおいしさ・まずさで顔の表情が変わることは日常生活で誰もが経験することである。そこで、

おいしさの客観的な評価法として顔の表情変化が使えるのではないかと考えた。加藤と西川²⁵⁾、衣川ら²⁶⁾ は、既製の人工知能 (AI) 技術を活用して、各種味溶液を摂取したときの顔の表情の感情解析を行い、その結果をもとに、おいしさ・まずさの客観的評価法の確立を目指した。以下に述べる成果は現在国際誌に掲載されている²⁷⁾。

被験者 (大学生、女性10人) に種々の濃度の基本味 (甘味、塩味、酸味、苦味、うま味) 溶液を摂取させ、その味について「甘くておいしいです」といったように感想を5秒以内で述べてもらった。この間の表情を動画として記録しておき、動画から得た表情の静止画像を表情解析AIアプリに入力すると、解析結果として悲しみ、怒り、喜び、恐怖、自然体、照れ、嫌気、驚きの8つの感情項目が0～100の数値とともに表示される。このとき、被験者には摂取した溶液のおいしさを-10 (極めてまずい) から+10 (極めておいしい) のアナログスケールで評価してもらった (主観的嗜好度)。図4は味わったときの顔面表情の分析結果の一部を示したものである。おいしさの評価と各感情項目の数値をもとに重回帰分析を行い、顔面表情から嗜好度 (おいしさの程度) を予測する次の計算式を得た。

$$\text{嗜好度} = 0.242 \times (\text{驚きと恐怖の平均値}) + 0.138 \times \text{喜び} + 0.097 \times \text{自然体} + 0.021 \times \text{悲しみ} + 0.055 \times \text{嫌悪} + 0.031 \times \text{怒り} - 0.584 \times \text{照れ} - 8.943$$

この計算式の妥当性を調べるため、この回帰式の算出に関与しなかった別のグループの被験者 (年齢の異なる男女12人) が、種々の飲み物 (コーヒー、お茶、ジュース、みそ汁など11種類) を味わったときに示す顔面表情の感情値をこの式に代入したときの計算値 (予測値) を求めた。その値を被験者の評価した実測値 (官能評価値) と比較した。種々の観点から両数値の相関性、一致性を統計学的に解析した結果、計算値

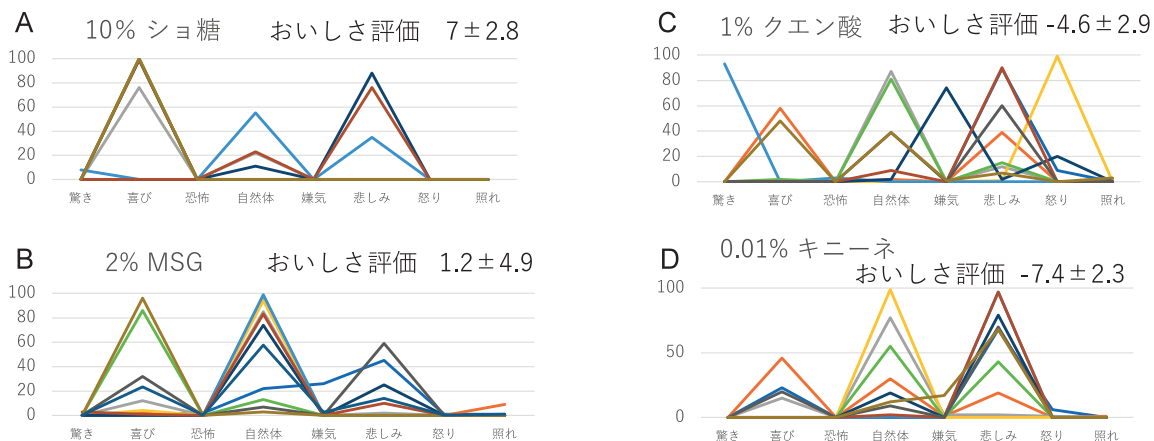


図4 甘味(ショ糖)、うま味(MSG)、酸味(クエン酸)、苦味(キニーネ)を味わったときの7つの感情項目の出現状況と官能評価値 ± SEM (n=10)。加藤と西川²⁵⁾より

は実測値とよく一致することが分かった(相関係数: 0.97, $P < 0.001$)。顔面表情のAI分析結果からおいしさの程度を数値として予測できることを示した本研究は世界でも初めてのものである。研究面だけではなく、新商品の開発や市場調査など実際の場面でおいしさの客観的な判定手段として活用できるものと期待される。また、おいしさをうまく表現できない幼児、お年寄りがどのようにおいしさを感じているのかを味わった後の自然な顔の表情から数値として示すことができるものと考えられる。なお、我々の研究ではスマートフォン対応のAIアプリ(「顔診断」)を用いたが、世界的に広く使われているオランダNoldus社製のFaceReaderというAIアプリを用いて現在さらに研究を進めている。

5. 別腹

おいしさは大切であるが、食べ過ぎには注意が必要である。メインの食事を終えておなかがいっぱいと言いつつも甘いデザートが出ると、これは別腹だからと言いつつも平らげてしまうことは誰もが経験しているはずである。別腹の条件とその仕組みについては次のような考えがある²⁾。1) 食事が終わる頃に血糖値が上昇することで視床下部の満腹中枢が刺激され満腹感を感じる。このとき摂食中枢の活動は停止している。2) お菓子やデザートを出されると、私たちはおいしいということをすでに知っているため「食べたい」という欲求が生まれる。3) すなわち、ドーパミンやβエンドルフィンが分泌され、満腹中枢から摂食中枢へ活動が切り替えられて摂食中枢からオレキシンが分泌される。4) その結果、胃の運動が亢進し別腹が生じる。筆者は別腹は前頭葉の発達した人間特有のものではないだろうかと推測していたので、動物

にも別腹があるのかというテーマで2年間にわたり延べ5人の卒研生が、ラットを用いて実験を行った。

下野と杉田²⁸⁾は、机の上に透明のプラスチック製円形シリンダー(直径30cm、高さ40cm)を置き、ラットを一匹ずつ入れて観察者の前で警戒することなく練り餌(粉末飼料:水=1:1)を食べる訓練を行った。また、デザートとしてチョコ、ポーロ、ラムネ、えびせん、おととと、ポン菓子などを同時に提示して自由に摂取させ、新規恐怖をなくし、それぞれのおいしさを学習させた。別腹の実験では、シャーレに入れた練り餌を満腹するまで食べさせた後、別のシャーレに入れたデザートを与えた。その間のラットの行動はビデオカメラにて撮影した。観察した3匹のラットはすべて餌で満腹した後でもいずれか好みの菓子を食べることを観察した。すなわち、ラットにも別腹があることを確認した。面白いことに、2匹のラットはポーロをもっぱら食べ、他の1匹はチョコだけを選んで食べるようになった。同じ条件でトレーニングしたにもかかわらず、菓子の好みの個体差が生じたが、その原因はよくわからないままである。

三反田ら²⁹⁾はさらに工夫しながら別腹の実験を行った。変更点は菓子の摂取場所をシリンダー内ではなく、ホームケージ内とした。練り餌の後で菓子が提示されることをラットが学習する可能性があると考えたからである。シリンダー内では練り餌だけ食べるという条件の下、別腹実験日には、満腹するまで練り餌を食べさせた後、菓子を提示したところ、すぐにそれを食べたことからラットにも別腹が生じるのがより明確になった。次に、薬物投与実験を行った。食事に際しておいしいと思うのは脳内麻薬物質(オピオイド)として知られるβ-エンドルフィン、もっと食べたいと思う摂食意欲を引き起こすのはドーパミンであることが知られている³⁰⁾。図5に示すように、ドーパミン

D1受容体阻害剤であるSCH-2339、ドーパミンD2受容体阻害剤であるRaclopride、オピオイド受容体阻害剤であるNaloxonを1日1種類4匹のラットに投与した。投与15分後に、練り餌を満腹するまで与えた後に菓子を与える実験を行った。ドーパミンD1受容体阻害剤の前投与により、練り餌と菓子の摂取量は生理食塩水投与のコントロールに比べ、有意に低下したが、ドーパミンD2受容体阻害剤ではやや低下したものの有意

差は認められなかった。オピオイド受容体阻害剤の投与は練り餌の摂取量のみを有意に低下させた。菓子の摂取量も低下したが有意の変化ではなかった。摂取意欲に関係するD1受容体をブロックしたために餌も菓子の摂取しなかったものと思われる。また、おいしさをブロックするオピオイド受容体阻害剤の作用で練り餌のおいしさはブロックされたが、菓子の強いおいしさをブロックするほどの阻害効果がなかったと考えら

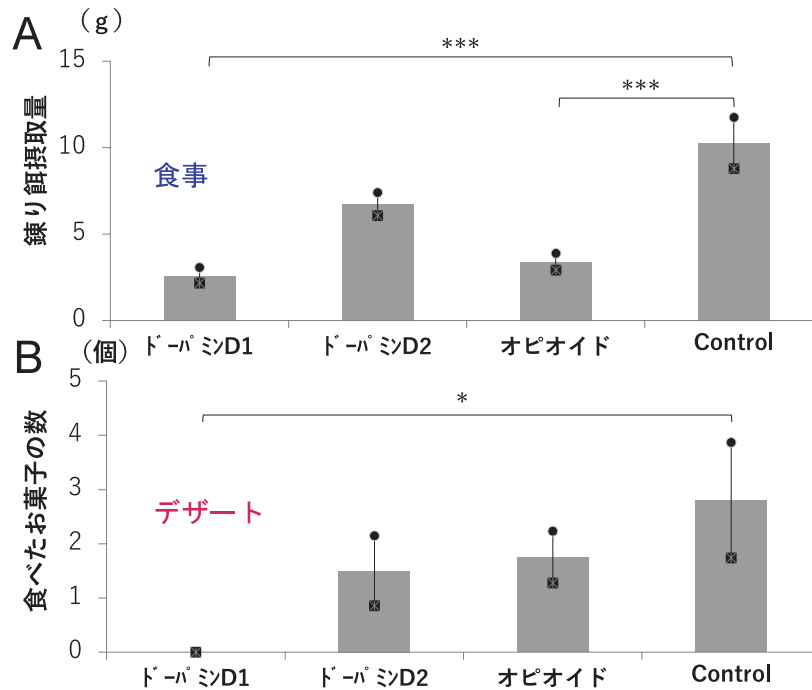


図5 食事（練りえさ）とデザート（菓子）の摂取量に及ぼす各種受容体阻害剤の影響（ラット）。薬物投与のないコントロール群との比較。* P < 0.05 *** P < 0.001 三反田ら²⁹⁾より

れる。薬物濃度を変えてさらに検討する必要がある。

6. わさびの糖尿病予防効果

食生活の欧米化や運動不足などの生活習慣に起因して、肥満やインスリン抵抗性が生じ、その結果、2型糖尿病の発症リスクが高まっている。わが国では糖尿病患者やその予備軍が決して少なくないことから、糖尿病の発症を抑える食品を探求することは大いに意義があると思われる。奈良地域の特産品の中から有効な食品（食材）を探索することを目標に、大和茶（緑茶）とわさび（本わさび、*Wasabia japonica*）を候補食品とすることにした。奈良県は全国的に見て必ずしも本わさびの生産量が多いわけではないが、吉野、宇陀地方は近畿地方でも数少ないわさびの生産地で、香り高く高品質な沢わさびは、特に十津川村や野迫川村で生産が盛んである。茶とわさびを候補にした理由は、抗酸化性の強い食品が種々の生活習慣病予防効果があ

り、緑茶の有用性が指摘されていること、また、わさびに含まれる化学物質が糖尿病予防効果を示す可能性があるという報告³¹⁾があるからである。この研究は5年間にわたり、延べ15人の卒研生が種々の観点から研究を行った。

尾崎ら³²⁾は、2型糖尿病自然発症モデル動物として、OLETF (Otsuka Long-Evans Tokushima Fatty) ラット（実験開始時5週齢、体重約100g、雄性）を用いた。実験では、まず、平均体重が同じになるように群分けをした。粉わさびや粉末茶をエサに混入して与えるため、飼料はすべて粉末食とした。ラットは、粉末飼料のみのコントロール群、粉わさび、あるいは、粉末茶を粉末飼料に混合して与える実験群に分けた。飲料水としては、脱イオン水を自由摂取させた。粉末飼料（標準食としてのCE-2、あるいは肥満誘発食としてのCLEA Rodent Diet Quick Fat、日本クレア、東京）、粉わさび（本わさび、株式会社つえーピー、大分）、大和茶（粉末緑茶、松、大和茶販売株式会社）を用い

た。肥満誘発食Quick Fatはショ糖と脂肪の成分が多く、高カロリー食となっている。12匹のラットを4匹ずつの3群にわけ、無添加の粉末食 (CE-2)、1.5%の大和茶を含む粉末食、1.5%のわさびを含む粉末食を5週齢より毎日摂取させた。飲水量、食餌量には3群間で有意差は認められなかった。①多飲・多尿 ②体重減少 ③高血糖値・HbA1c値の上昇 ④インスリン抵抗性増大・インスリン分泌量低下、の4項目から糖尿病と判断したラットはコントロール群、大和茶群で2匹ずつ認めたが、わさび群には認めなかった。わさびの中に何らかの糖尿病予防効果のある物質が含まれている可能性を示すものであることから以後の実験ではわさびの効果を検討することにした。

まず、仲家ら³³⁾はわさび濃度を変えたときの糖尿病抑制効果を調べた。ラットを8匹ずつの3群に分けた。わさび無添加の粉末食 (糖尿病発症を促進するた

めQuick-Fatを使用)群、低濃度わさび食群 (4匹の0.38%わさび粉末食群と4匹の0.75%わさび粉末食群)、高濃度わさび食群 (4匹の1.5%わさび粉末食群と4匹の3%わさび粉末食群)である。なお、0.38%わさび群と0.75%わさび群の結果には差が認められなかったので、一括して低濃度わさび食群 (L群)とし、同様に高濃度わさび食群も一括してH群とした。糖尿病予備軍と思える症状が発現するまでの飼料摂取量、水摂取量、体重は、3群とも差はなかった。図6に生後5か月から生後8か月までの1ヶ月ごとの糖負荷後の血糖値の経時変化を示す。コントロール群、低わさび (L) 群に比べ、高わさび (H) 群の血糖値上昇は少なく、ほぼ安定していることがわかる。それに比べ、コントロール群やL群の中には激しく血糖値の上昇を示すラットが認められた。なお、これら両群の中にも血糖値の上昇を示さないラットがいることにも注意する必要がある。

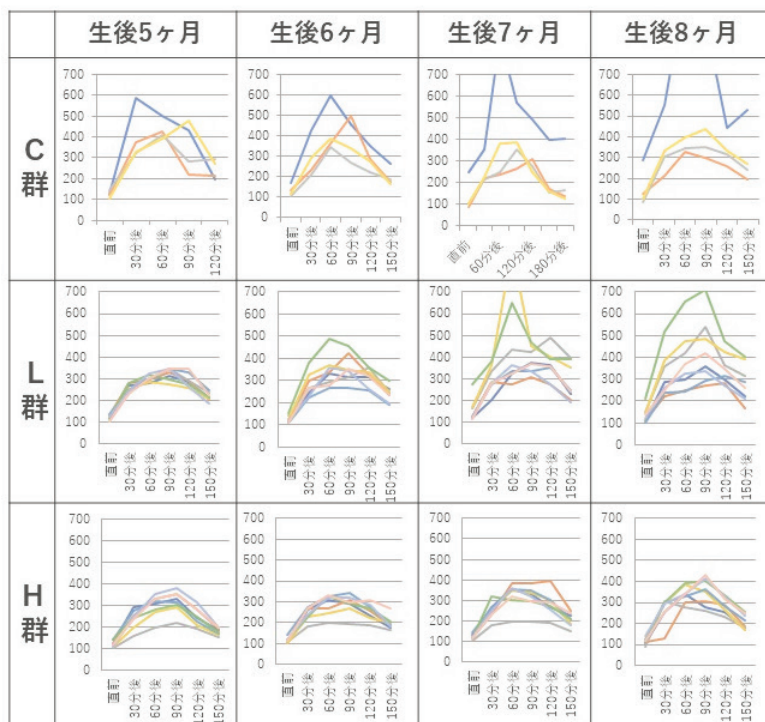


図6 わさび摂取のないコントロール群 (C群)、低濃度わさび摂取群 (L群)、高濃度わさび摂取群 (H群) における糖負荷後の血糖値の経時変化 (OLETFラット)。仲家ら³³⁾より

OLETFラットであっても、糖尿病の発症のし易さには個体差が認められることがわかる。

上記のように、わさび1.5%含有飼料を与え続けたラットは、少なくとも生後8か月は糖尿病を抑制するという結果が得られたので、次の実験として、荒井ら³⁴⁾は連続摂取ではなく、間欠的に摂取する条件ではどのような効果が得られるかを検討することにした。わさび1.5%飼料を与え続けた群とわさびを与える頻度を半分に減らした群 (わさび1.5%飼料とわさびを含まない固型飼料を2週間おきに与えた群) の2群で比較し

た結果、わさび食を与え続けた群からは糖尿病を発症しなかったが、2週間ごとにわさびを与えた群からは糖尿病発症のラットが出現した。このことから、糖尿病発症の遅延には、わさびを摂取し続けた方が効果的であることがわかった。

わさびの辛みの有効成分はアリルイソチオシアネート (allyl-isothiocyanate, AITC) である。植田ら³⁵⁾はAITCがわさびの糖尿病予防効果に有効か否かを調べるため、粉わさびを加熱処理することにより、AITCを消滅させる試みを行った。予備実験において、

210°C、18分の加熱で、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）による分析の結果、AITCはほぼ完全に消失していることを確認した。加熱わさびを1.5%の割合で混合した群と正常わさびを1.5%の割合で含む群につき糖尿病予防効果を検討した。ただし、この実験では、糖尿病をより短期間で発症させる目的で、肥満誘発食 Quick Fatと10%ショ糖溶液を毎日摂取させることとした。その結果、4か月齢ではコントロール群と加熱わさび群のほとんどのラットが糖尿病の症状を示した。4か月齢までは正常わさび群は糖負荷後の血糖値の経時的上昇度が低く、糖尿病に対する抵抗性を示したが、それ以後は本わさび群も血糖値は上昇するようになり、加熱わさび群との差がなくなった。このような過度な糖尿病誘発条件下では、わさび摂取効果は認められたものの限定的であることがわかった。腸内フローラ解析を（株）テクノスルガ・ラボ（静岡市）に依頼して行った。コントロール群、加熱わさび群、わさび群の糞を対象として、リアルタイムPCR法を用いて腸内細菌の割合を分析した結果、各群ではほぼ類似の解析結果となったが、他の群に比べて、わさび群で Clostridium cluster XIが多い傾向にあった。

稲葉と岸田³⁶⁾は上記本わさびと市販の西洋わさび（エスピー食品）の効果を比較した。AITC含量は西洋わさびの方がやや多かったが、糖尿病予防効果は本わさびの方がやや有効であったことから、本わさびにはAITCの他に糖尿病を予防する有効成分が含まれていることが示唆された。

結果のまとめと結論：筆者ら³⁷⁾は以上述べた成果の途中経過をすでに報告しているが、その後の追加実験により、糖尿病か否かの判定ができた44匹の OLETFラットのうち、コントロール群は22匹で、糖尿病を発症したのは11匹（50%）であった。わさび群は22匹で、糖尿病を発症したのは3匹（13.6%）、発症しなかったのは19匹（86.4%）であった。両群間でのこのような数値分布には有意差（ χ 二乗検定、 $P<0.05$ ）が認められたことから、糖尿病はわさび摂取により抑制されることが強く示唆された。

7. キンモクセイの香り

香り（におい）が心身活動に影響を及ぼすことはよく知られている。筆者らは数年前にキンモクセイ（金木犀、中国では桂花、*Osmanthus fragrans*）の香りが、視床下部の摂食促進物質の発現を抑制し、摂食抑制物質の発現を促進することをラットとマウスを用いた実験で見出し、行動実験においても、この香りを持続的

に嗅がせた動物は摂食量の減少と体重増加の抑制を示すこと報告した³⁸⁾。

ヒトでも同様の摂食抑制効果があるのかを検討した³⁹⁾。まずキンモクセイの香りを嗅いだときの自律神経活動に及ぼす影響を調べた。各群15人の学生に対し、キンモクセイ、ラベンダー、ジャスミン、ミルクの各香りを15分間嗅がせ、刺激中及びその前後の指尖脈波を計測し、周波数分析を行い、無臭時（コントロール）と比較した。その結果、キンモクセイの香りにより副交感神経活動の指標となる高周波成分は有意に増加し、交感神経活動の指標となる低周波成分は有意に低下したことから、副交感神経活動を高めることが示唆された。同様の傾向はラベンダーでも認められ、逆に、ジャスミンやミルクは交感神経優位の活動を示した。

食欲や摂食量に及ぼす影響を調べるため、畿央大学健康栄養学科の2年生のクラス全員（女性60人、男性6人）を対象に香りの付いたマスクあるいは香りの付いていないマスクを装着して授業（13時開始）に参加してもらい、授業の最後に市販のクッキー（ブルボンプチ、フランスバター）のクッキー、16個入り、ブルボン社、新潟）を自由に摂取させ、その摂取量を求めた。なお、授業参加者全員を3群に分けた。全員に3つの刺激（キンモクセイ、ラベンダー、香りなし）を与えるため、週1回の授業を3週にわたり実験日として、交代で異なった刺激を与えた。実験統制のため、昼食として全員に同じ内容の市販の弁当と水を提供した。実験開始前、途中、終了時には香りの強度、嗜好性、空腹度、気分（気分プロフィール検査、POMSによる）などの測定も行った。その結果キンモクセイの香りはラベンダーの香り、匂いなしに比べて気分はよく、空腹感が弱く、クッキー摂取量も少ないという結果が得られた。

いろいろな食行動場面でのさらなる実証が必要ではあるが、キンモクセイの香りで空腹感が減少し、摂食量も減少することが示唆された。動物実験の結果と合わせて考えれば、視床下部での摂食関連ペプチドのレベルを変えることがその背後のメカニズムと考えられる。すなわち、キンモクセイの香りで満腹感レベルが底上げされるため満腹に至るための摂食量が少なくてすむのである（図7）。なお、香りでの摂食量の低下、体重減少を生じる香りにグレープフルーツの香りが既に報告されている⁴⁰⁾が、視床下部の摂食関連ペプチドのレベルには影響しないこと³⁹⁾、交感神経活動を高めること⁴⁰⁾など、キンモクセイとは異なる生理作用を生じることが示されている。

自然に美味しく味わいつつ腹八分目で満足させる可能性のあるキンモクセイの香りの効果は、将来の食生

活の改善に向けての新しい方法の開発につながるかもしれない。キンモクセイの香りの効果を有効に引き出すためには、食事の30分前には香りを嗅ぎ始める必要がある。そして、大事なことは、食事量を2割ほど減らしておくことである。腹八分目で満足感が得られるはずだからである。食事前におなかが空いたときは、キンモクセイの香りのアロマキャンディかアロマチューインガムを摂取するのも一考であり、そのような商品の開発が望まれる。

8. 唾液分泌

味刺激で唾液が分泌されることはよく知られている。とくに酸味で最も分泌量が多いこともよく知られている²⁾。日常の食生活によく用いられる酸味の代表は酢である。酢の濃度変化によってどのような唾液分泌が得られるのかはこれまで詳しく調べられた報告がないので、大畑⁴¹⁾は酢の酸味度と唾液分泌量の関係を調べることにした。また、酢には砂糖を加えることにより酸味が弱められることが知られているが、このとき唾液分泌量はどのように変化するかを調べることも目的とした。

健康栄養学科4回生の中で、酢が苦手あるいは酢が全く苦にならない人をそれぞれ4人、計8人を選出し実験を行った。被験者は種々の味刺激を味わい、口腔内に分泌された全唾液を1分ごとに吐き出し、その重量を測定した。各味刺激に対してこれを5分間ずつ行った。なお、刺激液は1mlとし、それを口に含ませ、最初の1分経過時に唾液と一緒に吐き出させた。米酢(原液、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32)、スクロース(30%、

20%、10%、5%、2.5%)、米酢1/2とスクロース20%の混合液をそれぞれ味わったときに唾液量を測定した。

その結果、酸味が苦手であると自己申告した人は全く苦にならないと自己申告した人に比べて、高濃度の酢に対する分泌量が少ないことが分かった。苦にならない人は苦手な人に比べて高濃度の酢に対してより多くの唾液が分泌されたことから、唾液によって酸味を弱める作用が強いからであろうと推測される。

酢による唾液分泌は濃度、pH、感覚量(酸っぱさの程度)のうち、感覚量と最も高い相関性が得られた(図8)。また、酢とスクロースの混合液に対する唾液分泌量は、酢とスクロースの単独の唾液分泌の和ではなく、混合により低下した感覚量によって生じる唾液量の和である。すなわち、酢にスクロースを加えることで酸味や甘味の感覚量が下がり、その感覚量に応じた唾液分泌量が得られるのである。これらの結果から唾液量は感覚量と相関することが分かった。

9. 醤油とわさび

わさびは、刺身やお寿司などの日本料理によく使用され、それと同時に醤油と一緒に用いることが多い。水野⁴²⁾(2013年度)は、わさびと醤油の間になんらかの相互作用があるのではないかと考え、種々の観点から実験を行った。粉わさび(西洋わさび、エスピー食品)0.5gを濃口しょうゆ(キッコーマン)0.8mlで練ると辛さが大きく減弱することを見出したが、醤油は塩分濃度が約17%あり、pHは約4.7であることからその理由として塩と酸に起因する可能性があると考え、

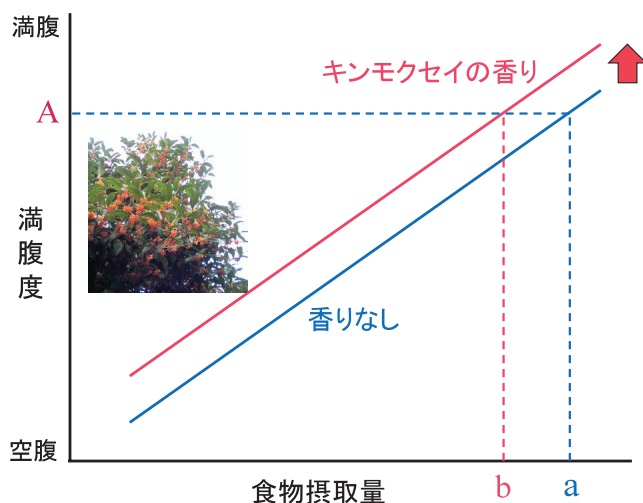


図7 キンモクセイの摂食に及ぼす効果の模式図。キンモクセイの香りを嗅ぐことにより満腹感がやや上昇するため、香りなしの状態で食べた量(a)より少ない摂取量(b)で同じ満腹感(A)が得られる。Yamamoto et al.³⁹⁾より

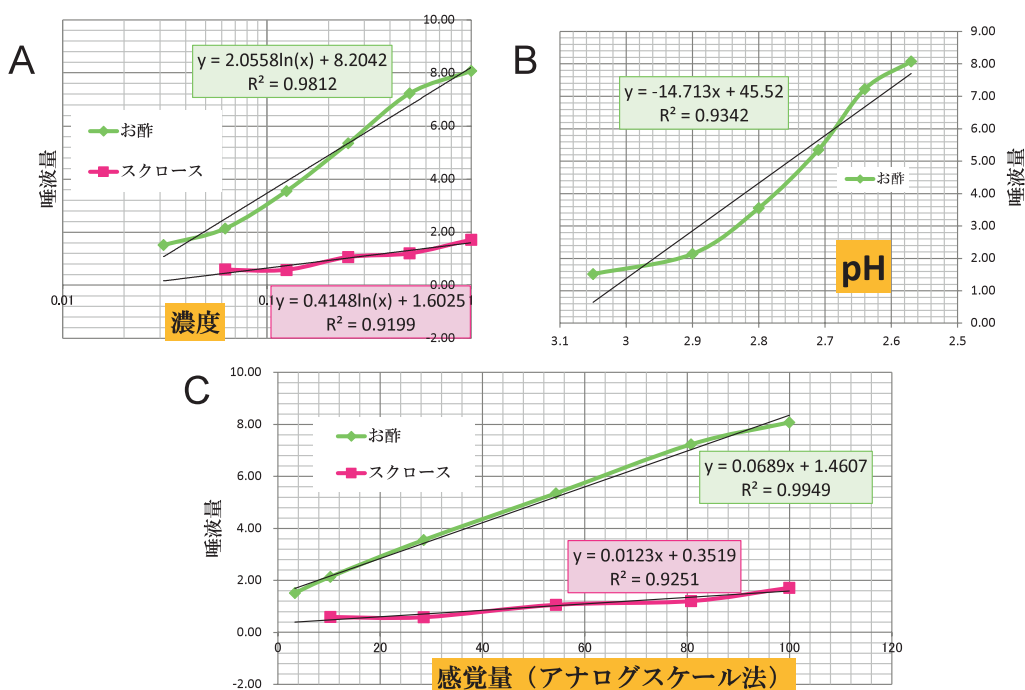


図8 酢の濃度、pH、感覚量 および スクロースの濃度、感覚量のそれぞれと唾液量の相関。大畑⁴¹⁾より

種々の濃度の食塩やクエン酸で粉わさびを練ったところ、20%以上の食塩水、4%以上のクエン酸でほぼ辛みが感じられなくなることを確認した。この時、練りわさびの成分をHPLCにて分析したところ、辛み成分であるAITCが水で練った場合に比べて20%以下に減少していることがわかった。また、食塩とクエン酸を混合すると単独より低濃度で辛みを弱めることがわかった。辛み前駆体からミロシナーゼという酵素によってAITCは生成するのであるが、その活性は本実験で辛み抑制効果のあった塩や酸の作用で大きく低下することがすでに報告されている⁴³⁾。すなわち、本実験結果はミロシナーゼ活性低下に起因する可能性が高い。いったん生成したAITCは醤油と混合しても影響は少ないと思われるが、残念ながら本実験ではその詳しい検討はなされていない。一方、ワサビは水と練った状態で放置すると徐々に辛さは弱くなり、1~1.5時間でほぼ消失する。この低下は練りわさび中のAITC量の低下と優位に相関した ($r=0.85$)。

10. ミラクルフルーツ

南アフリカ原産のミラクルフルーツの実にはミラクリンというタンパク質が含まれていて、このミラクリンの作用で酸味が甘味に変化することが知られている。また、インド原産のギムネマの木の葉に含まれているギムネマ酸は甘味を消すことが知られている。原田⁴⁴⁾は、これらの物質による味覚修飾作用を官能評価法により分析し、その作用機序を考察するとともに、

唾液分泌量が客観的な評価法になるかどうかとも合わせて検討した。

被験者16人(大学生、女性5人、男性11人)にクエン酸液(0.5%)とショ糖液(20%)を交互に1分ずつ口に含みカップに吐き出させた。途中でギムネマ(一粒あたり70mgギムネマ・シルベスタエキス、井藤漢方製薬、東大阪)やミラクルフルーツのタブレット(mberry, My M Fruit LLC, USA)を作用させてその後の経時的変化を観察した。4人ずつを4グループに分け、延べ16人の被験者につき実験を行った。最初に口に含んだクエン酸の酸味の強さを100%、ショ糖の甘味の強さを100%として毎回の味刺激で感じた味の強さを記録した。

ギムネマを3分間作用後、甘味が消失し約30分後に回復した。甘味による唾液分泌量は1ml以下とわずかなので、甘味が消失しても唾液量にはほとんど変化が見られなかった。

ミラクルフルーツの作用後、クエン酸の酸味が減弱し甘味が生じたが約30分後にはほぼ元の状態に戻った。クエン酸刺激による唾液量は常に約5ml前後あり、ミラクルフルーツの作用で酸味が甘味に変化してもほぼ一定であった。また、ミラクルフルーツの作用でクエン酸が甘くなった状態のときギムネマを作用させると甘味がすぐに消えると同時に酸味は回復した。

以上の結果を矛盾なく説明するため、図9のような仮説を立てた。ミラクルフルーツ中のミラクリンというタンパク質がクエン酸の刺激によって甘味受容体に結合するようになり、その情報が脳に送られ甘味が生

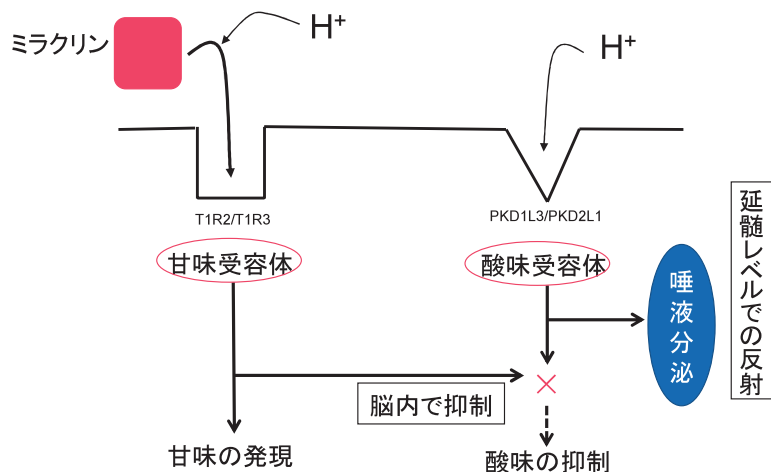


図9 ミラクルフルーツ（ミラクリン）作用後にクエン酸（ H^+ ）が甘くなり、酸味が消えることを説明する模式図。詳細は本文参照。原田⁴⁴⁾より

じる。クエン酸は同時に酸味受容体を刺激し、その情報は脳に入るが、大脳皮質に到達する前に甘味の情報によりブロックされる。すなわち、ミラクルフルーツの酸味抑制は末梢受容体のレベルではなく、中枢性の抑制によるものと考えられる。そのため、ギムネマ酸の作用で甘味情報をブロックすると直ちに強い酸味に戻ったのである。しかし、唾液分泌は延髄レベルの反射により生じるので酸味が甘味に変化しても分泌量には影響がなく、一定の唾液が出るというわけである。唾液量は味の変化の客観的評価には応用できないことになる。なお、この仮説はすでに筆者らが別の実験法でミラクルフルーツの作用を説明した考えと一致するものである⁴⁵⁾。

11. うま味と腸内細菌

和食がユネスコの無形文化遺産に登録されて以来、うま味を基本とした和食が健康にいいことが世界的に認識されるようになった。健康に良い理由は、油脂を使わなくてもおいしく食べられること、うま味物質の作用で満腹感を高め、食べ過ぎを防ぐことが考えられる。高脂肪・高砂糖食を摂取したラットは成長に伴い肥満を呈するが、MSGの1%水溶液を摂取させると摂食量は同等にもかかわらず肥満は有意に抑制されるという報告もある⁴⁶⁾。木村ら⁴⁷⁾は、うま味物質の摂取が腸内細菌叢（腸内フローラ）に好ましい影響を与えるのではないかと考え実験を行った。なお、うま味摂取と腸内細菌叢の関係を調べた過去の実験⁴⁸⁾では、ヒトを2群に分け、調理に際して1日2gのMSGを添加した料理と添加しない料理を作り、それぞれ約1ヶ月にわたり食べさせたが群間で腸内細菌叢に特に差は認め

られなかったと報告されている。

ウイスター系雄性ラット16匹を用いた。これらを体重の平均が近くなるように3群に分け、A群の5匹には0.05M MSG + 0.01M IMPのうま味物質、B群の5匹には0.3%サッカリン（ノンカロリー甘味物質）、C群の6匹にはコントロール群として水を与えた。上記の溶液と共に固形飼料（CE-2）を自由摂取させた。3、4日おきに溶液重量を測定し、1日当たりの飲み量を求めた。約1か月おきに体重を測定し、糞を採取した。採取した糞の腸内細菌叢の解析は株式会社テクノスルガ・ラボに依頼した。

腸内細菌叢の解析の結果、各群とも経時的に乳酸菌の割合が多くなることが示されたが、A群の乳酸菌のみが有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。また、バクテロイデスの割合は有意に減少した（ $p < 0.01$ ）。B群とC群では、各腸内細菌における有意な差はなかった。乳酸菌割合が有意に増加したA群の飲み量が一番多かったことから、飲み量が多いほど乳酸菌割合が増加する可能性を考え、飲み量と乳酸菌割合の相関を調べたが有意な相関は見られなかった。すなわち、飲み量の大小が腸内細菌叢に影響を及ぼすものではないことが示唆された。

今回の実験だけではなぜうま味物質の摂取で乳酸菌の割合が増加したのかは不明である。MSGやIMPそのものが乳酸菌に好ましい栄養となり増加につながった可能性もあるが、さらに、グルタミン酸の腸管からの取り込み、それにより生じる迷走神経活動などが消化・吸収に好ましい腸内環境を誘導し、その結果として乳酸菌が増加したことも考えられる。腸内細菌叢（腸内フローラ）のバランスを改善することで有益な作用をもたらす微生物をプロバイオティクスといい、その

プロバイオティクスに分類される乳酸菌の増加は、腸内細菌叢に好ましい影響を与えたといえる。うま味が腸内細菌叢に影響を及ぼす機序は不明だが、うま味物質の摂取が乳酸菌の割合を増加させ、腸内細菌叢にも好ましい影響を与える可能性がある。

12. おわりに

以上述べた研究テーマは、いずれも「山椒は小粒でもピリリと辛い」研究であり、それぞれの成果は国際誌にも掲載できるレベルにあると思うが、学部生の卒業研究では十分な研究時間が確保できず「帯に短し」の感は否めない。さらには「多勢に無勢」、次々と新しいテーマで研究を先行させたため論文にする時間が確保できなかったのは残念である。

13. 文献

- 1) 西尾裕貴：自発活動量に及ぼす各種味溶液摂取の効果に関する研究－オレキシンの関与について－。畿央大学健康科学研究科 修士論文 1-20, 2012
- 2) 山本 隆：楽しく学べる味覚生理学、建帛社、p2-4, p24-25, p130-131, 2017
- 3) Tsuji T, Yamamoto T, Tanaka S, Bakhshishayan S & Kogo M: Analyses of the facilitatory effect of orexin on eating and masticatory muscle activity in rats. *J Neurophysiol* 106: 3129-3135, 2011
- 4) 石田賢三 高井真菜：薄味の味噌汁をおいしくする物質の探索。畿央大学健康科学部健康栄養学科卒業論文集51-57, 2015
- 5) 樽井温子 水田晴野：薄味の味噌汁をおいしくする物質の探索。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集25-30, 2016
- 6) 水田晴野：オルニチンのおいしさ増強メカニズムの研究 畿央大学大学院健康科学研究科 健康栄養分野 修士論文 1-20, 2018
- 7) Mizuta H, Kumamoto N, Ugawa S & Yamamoto T: Additive effects of L-ornithine on preferences to basic taste solutions in mice. *Nutrients* 2021 Oct 23;13 (11) :3749.doi: 10.3390/nu13113749.
- 8) 足立美里 吉森智子：薄味の味噌汁をおいしくするグルコサミンの検討。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集168-172, 2017
- 9) 田中楓子 馬淵享乃：ラットとヒトにおける γ -Glu-Val-Glyのおいしさ増強効果について。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集35-39, 2018
- 10) Yamamoto T & Mizuta H: Supplementation effects of a kokumi substance, γ -Glu-Val-Gly, on the ingestion of basic taste solutions in rats. *Chemical Senses* 47: 1-8, 2022.
- 11) 清水美里 辻尾真菜 中野瑞月 中野芽依 西沙 耶香 減塩みそ汁をおいしくする工夫 - ミニトマトの添加効果について -。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集16-21, 2022
- 12) 上村里帆 大窪莉奈 大谷みさと 平井美琴 平井優那 福本朱里：減塩みそ汁をおいしくするミニトマトの成分に関する研究。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集60-63, 2023
- 13) Yamamoto T: Umami and Koku: Essential roles in enhancing palatability of food. In: *Koku in Food Science and Physiology*, Ed. Nishimura T. & Kuroda M, Springer, Singapore, p17-31, 2019
- 14) Yamaguchi S & Kimizuka A: Psychometric studies on the taste of monosodium glutamate. In: *Advances in Biochemistry and Physiology*, Ed. Filer, LJ et al., Raven Press, New York, p35-54, 1979
- 15) Ueda Y, Sakaguchi M, Hirayama K, Miyajima R & Kimizuka A: Characteristic flavor constituents in water extract of garlic. *Agric Biol Chem* 54: 163-169, 1990
- 16) Ohsu T, Amino Y, Nagasaki H, Yamanaka T, Takeshita S, Hatanaka T, Maruyama Y, Miyamura N & Eto Y: Involvement of the calcium-sensing receptor in human taste perception. *J Biol Chem* 285:1016-1022, 2010
- 17) Yamamoto T, Watanabe U, Fujimoto M & Sako N: Taste preference and nerve response to 5'-inosine monophosphate are enhanced by glutathione in mice. *Chem Senses* 34: 809-818, 2009
- 18) Yamamoto T & Inui-Yamamoto C: The flavor-enhancing action of glutamate and its mechanism involving the notion of kokumi. *NPJ Sci Food*. 2023 Jan 27;7 (1) :3. doi: 10.1038/s41538-023-00178-2.
- 19) 西尾裕貴 峰松祐至：味刺激による脳内酸化ヘモグロビン濃度の変化 (fNIRSを用いた味の客観的評価)。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集94-97, 2010
- 20) 佐野沙緒梨：食べ物の嗜好性と脳活動 - fNIRSに

- よる分析－. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集69-72, 2011
- 21) 峰松祐至 食べ物の嗜好性と脳活動の変化－fNIRSによる分析－. 畿央大学健康科学研究科修士論文 1-10, 2012
- 22) Minematsu Y, Ueji K & Yamamoto T: Activity of frontal pole cortex reflecting hedonic tone of food and drink: fNIRS study in humans. *Sci Rep* 2018 Nov 1;8 (1) :16197. doi: 10.1038/s41598-018-34690-3.
- 23) 江崎真優子 天竺 隼: 携帯型fNIRS装置を用いたおいしさの客観的評価. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集34-35, 2020
- 24) 植原裕太, 津野駿士: 好き嫌いが自律神経活動に及ぼす影響. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集5-11, 2012
- 25) 加藤杏奈 西川采佳: AIを用いた音声と顔面表情の解析によるおいしさの客観的評価. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集36-39, 2020
- 26) 衣川真李奈 草壁明里 久保千尋 松澤百花: AIを用いた顔面表情の解析によるおいしさの客観的評価－時間経過に着目して－. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集1-3, 2021
- 27) Yamamoto T, Mizuta H & Ueji K: Analysis of facial expressions in response to basic taste stimuli using artificial intelligence to predict perceived hedonic ratings. *PLOS ONE* 2021 May 4;16 (5) :e0250928. doi: 10.1371/journal.pone.0250928.
- 28) 下野久美子 杉田陽香: ラットにおける別腹の研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集12-16, 2012
- 29) 三反畑紀子 築地香苗 西木麻依: ラットにおける別腹のしくみに関する研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集 114-118, 2014
- 30) Yamamoto T: Brain mechanisms of cognitive, emotional and behavioral aspects of taste. *Internat J Oral Biol* 34: 123-129, 2009
- 31) Mori N, Kawabata F, Matsumura S, Hosokawa H, Kobayashi S, Inoue K & Fushiki T: Intra-gastric administration of allyl isothiocyanate increases carbohydrate oxidation via TRPA1 in mice. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 300: R1494-R1505, 2011
- 32) 尾崎 茜 日比野みなみ 船谷あすか 村松初美: 糖尿病自然発症に及ぼすお茶とわさびの摂取効果－OLETFラットを用いての実験－. 畿央大学健康科学部健康栄養学科卒業論文集153-157, 2013
- 33) 仲家宏美 西川咲希 藤田成美: OLETFラットの糖尿病自然発症に及ぼすわさび摂取の効果に関する研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集 119-125, 2014
- 34) 荒井若葉 大浦朋佳 梶谷尚未: 糖尿病自然発症ラットにおけるわさび摂取の効果に関する研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集43-50, 2015
- 35) 植田沙弥香 上平倫彩 小山侑希: 糖尿病自然発症OLETFラットにおけるわさび摂取の効果. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集31-37, 2016
- 36) 稲場理恵 岸田美咲 糖尿病自然発症OLETFラットにおける本わさびと西洋わさびの摂取効果. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集173-179, 2017
- 37) 山本 隆 峰松祐至: 健康長寿にかかわる食成分を疾患モデル動物を用いて探索する－糖尿病自然発症ラットにおけるわさび摂取の効果について－. 畿央大学紀要12: 33-37, 2015
- 38) Yamamoto T, Inui T & Tsuji T: The odor of *Osmanthus fragrans attenuatus* food intake. *Sci. Rep* 2013;3:1518. doi: 10.1038/srep01518.
- 39) Yamamoto T, Ueji K & Mizuta H: Attenuation of food intake by fragrant odors: Comparison between *Osmanthus fragrans* and grapefruit odors. In: *Psychology and Patho-Physiological Outcomes of Eating*, Ed. Takada A & Himmerich H, IntechOpen, London, p3-19, 2021
- 40) Shen J, Nijima A, Tanida M, Horii Y, Maeda K & Nagai K: Olfactory stimulation with scent of grapefruit oil affects autonomic nerves, lipolysis and appetite in rats. *Neurosci Lett* 380: 289-294, 2005
- 41) 大畑由紀: 酢の酸味評価と唾液分泌に関する研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集63-68, 2011
- 42) 水野秀紀: わさびの辛さを低下させる要因に関する研究. 畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集126-131, 2014
- 43) 田中進 松岡寛樹 綾部園子 小澤好夫 保坂公平: ミロシナーゼ活性に対する食塩の影響とアブラナ科野菜の漬物加工への応用. *ソルト・サイエンス研究財団助成研究報告集 2 医学 食品科学編* 237-246. 2011

- 44) 原田昇大：ミラクルフルーツとギムネマの味覚修飾作用と唾液量の関連について。畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集 180-188, 2017
- 45) Yamamoto C, Nagai H, Takahashi K, Nakagawa S, Yamaguchi M, Tonoike M & Yamamoto T: Cortical representation of taste modifying action of miracle fruit in humans. *Neuroimage* 33: 1145-1151, 2006
- 46) Kondoh T & Torii K: MSG intake suppresses weight gain, fat deposition, and plasma leptin levels in male Sprague-Dawley rats. *Physiol Behav* 95: 135-144, 2008
- 47) 木村紅音 河本梨乃 塩見智織 今北知世菜：うま味溶液の摂取は腸内細菌叢に影響を与えるか？畿央大学健康科学部健康栄養学卒業論文集 175-179, 2019
- 48) Peng Q, Huo D, Ma C, Jiang S, Wang L & Zhang J: Monosodium glutamate induces limited modulation in gut microbiota. *J Func Foods* 49: 493-500. 2018

