

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20380076

研究課題名（和文） ヒューマンセンシングシステムを活用した食品物性および香りの評価と制御要因の解明

研究課題名（英文） Evaluation and control of physical properties and flavor of foods using human sensing systems

研究代表者

松村 康生（MATSUMURA YASUKI）

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：50181756

研究成果の概要（和文）：ヒトの鼻腔部や口腔内に成分分析や物性測定のためのセンサーをとりつけヒューマンセンシングシステムを構築した。このシステムを用いて食品の香りや物性に関わる感覚を、確とした分析値、物理的定数として把握することが可能となった。一方、これらの評価に用いた食品の化学的・物理的分析を行った。得られた結果を、ヒューマンセンシングシステムによって得られた結果と定量的に関係づけることにより、香りや物性が食品中のどのような要因によって支配されているかを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Human sensing systems were constructed by attaching sensors for detecting chemical components and sensing mechanical properties to nasal and oral cavities, respectively. These human sensing systems enabled quantitative sensory evaluation of aroma and physical properties of foods. Ordinary chemical analyses and rheological measurements were carried out using the same foods that were evaluated by the human sensing systems. The relationship between results of human sensing systems and ordinary instrumental analyses clearly showed several factors determining aroma and physical properties of foods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2009 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・食品科学

キーワード：ヒューマンセンシング、食品物性、香り、嚥下、ヘッドスペース、脂質咀嚼モデル器、軟口蓋運動

1. 研究開始当初の背景

食品の嗜好性や受諾性に影響を与える因子を理解し、制御することによって、二次機能に優れた食品を開発することが可能となる。そのためには、官能評価と機器分析の結果を定量的に関係づけることが必要であるが、そのような試みは、最近の急速なケモメ

トリックス的手法の導入にも関わらず、十分に成功しているとは言い難かった。最大の問題は、官能評価（すなわちヒトの感覚）の定量的取扱の難しさにある。そこでヒトの生体、それも感覚器に近接した場所にセンサーを取り付けて定量的な情報を取得する「ヒューマンセンシングシステム」を活用することが

できれば、食品の香りおよび物性に関わる感覚を確とした物理的定数、分析値として捉えることが可能になるのではと考え、本研究を計画するにいたった。

2. 研究の目的

ヒトの生体、それも感覚器に近接した場所にセンサーを取り付けて定量的な情報を取得する「ヒューマンセンシングシステム」を活用し、食品の香りおよび物性に関わる感覚を確とした物理的定数、分析値として捉えるとともに、得られた結果を食品側の成分分析や物性分析の結果と定量的に関係づけることを目的として実験を行った。その目的を遂行するために、食品側の化学的・物理的分析を担当する研究代表者と、生体におけるセンシングを担当する分担者2名による共同研究の体制を目指した。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者（松村）の担当項目

①複合系の安定性制御：今回、共同研究の対象とした食品の多くが乳化系などの複合系であった。複合系の食品を取り扱うことは応用的観点からも重要である。本研究では、代表者と分担者が同じような品質・状態でサンプルを扱うことが望ましい。そこで、乳化系などを対象として、どのような成分を用いて、どのような方法で調製をすれば、物理的・化学的に安定した状態を作り出すことができるのか、界面化学、コロイド学、食品化学的な手法を用いて解析を行った。また、そのような複合系食品のレオロジー的解析を行い、物性上の特徴を明らかにしようとした。

②複合系食品における香りの発生：複合系食品においては、香り成分はタンパク質マトリックスや油滴などにトラップされ、通常の水溶液とは全く異なる放散挙動を示す。そこで本研究では、様々な複合系食品における香りの発生を、ヘッドスペース法、GC、GC-MS法を用いて分析した。

(2) 研究分担者（小竹）の担当項目

①口腔咀嚼モデル器を用いた香気性成分の発生挙動：ヒトの口腔内における食品咀嚼挙動をシミュレーションすることができる口腔咀嚼モデル器（図1）を用いて、様々な複合系食品の咀嚼による香気発生を調べた。香気成分の分析にはGC-MSを用いた。

②ヒトパネルによる咀嚼特性と香りの発生：実際にヒトに食品を咀嚼してもらい、口腔内の食品から鼻腔に発生する香り成分をPTR-MS (Proton Transfer Reaction-Mass Spectrometer) に導入して分析した（図2）。

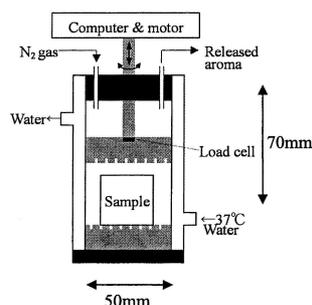


図1 口腔咀嚼機モデル器の模式図

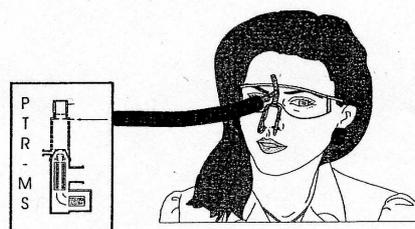


図2 Proton Transfer Reaction-MS (PTR-MS) へのヒト呼気直接導入オンライン測定

(3) 研究分担者（館村）の担当項目

口蓋帆挙筋活動の測定による食品の嚥下特性の解析：食品の咀嚼後、咽頭への送り込みには口蓋帆挙筋が大きく関わっており、その活動をモニターすることにより、食品の嚥下に要する圧力、エネルギーなどを解析することが可能となる。本実験では、実際にヒトの口蓋帆（図3に示す）に圧力センサーを貼り付け、筋活動量をモニターし解析を行った。



図3 口蓋帆と前口蓋弓の存在場所

4. 研究成果

(1) 研究代表者（松村）の担当項目

①複合系の安定性制御：乳化系食品の安定性に関与する成分について解析をした結果、乳化に用いられる乳化剤中の脂肪酸の構造と、乳化される油脂中の脂肪酸の構造との間に類似性が有る時に、乳化が不安定化されることを見出した。また、乳化剤やタンパク質で乳化された乳化系食品は、酸性 pH においてしばしば不安定化するが、ある種の多糖類を組み合わせることで、その不安定化を防止できることを明らかにした。

②複合系食品における香りの発生：乳化系における様々な香気性成分の発生挙動に及ぼす油脂、タンパク質、多糖類の影響を検討した。その結果、香気性成分の疎水性が高いほど、タンパク質や油脂により、その発生が抑制されることを見出した。次に、実際の食品に応用される可能性の高い酸性飲料のモデル系における香気発生挙動を調べた。図4は、疎水性の低い香気成分EE4と高い成分EE8の酸性飲料モデルにおける発生挙動を比較したものである(結果については右側に論述)。

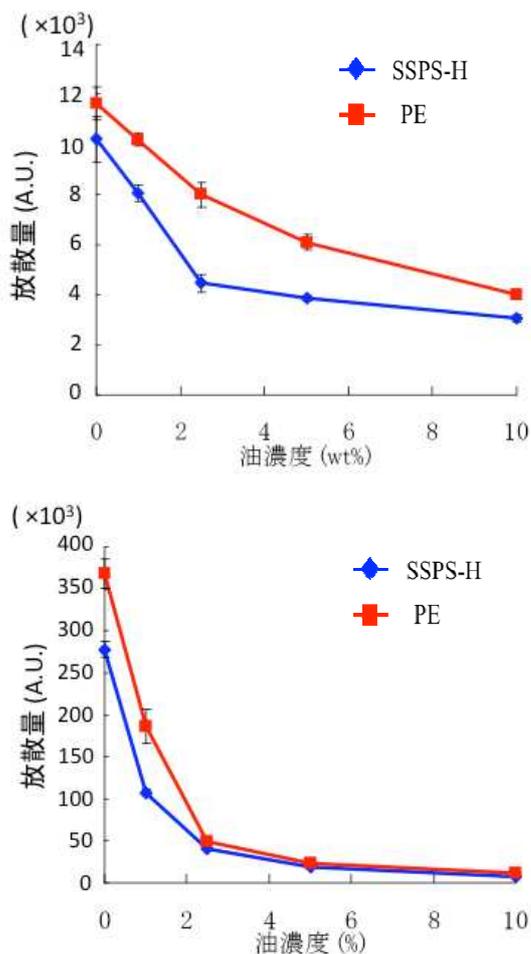


図4 酸性エマルションからの香気性成分の放散挙動

カゼイン水溶液にテトラデカンを様々な濃度加えて、乳化を行った。水溶性大豆多糖類 (SSPS-H) とペクチン (PE) を加えて、pH 4 に調整した。香気性成分を加え、一定時間後、ヘッドスペースに揮散してきた成分を捕集しGCによって定量した。

〔香気性成分〕:

上図、酢酸エチル (EE4)

下図、カプロン酸エチル (EE8)

乳化物は油脂を乳タンパク質で乳化して調製したが、酸性にした際の不安定化を防止するため2種類の多糖類、すなわち水溶性大豆多糖類 (SSPS-H) とペクチン (PE) を加えている。ここでも、疎水性の低い香気性成分EE4の発生が、EE8に比べ、油脂によって抑制されにくいことが示された。また、PEを加えた乳化物の方が、SSPS-Hを加えたものに比べて、香気量が多く発生していることが示された。この結果は、油脂の粒子の周りに形成された多糖類吸着層の厚さや構造により、香気量の変化を示している。

このような知見は、優れた香気特性を示す酸性飲料の開発につながるものと考えられる。

(2)研究分担者(小竹)の担当項目

①口腔咀嚼モデル器を用いた香気性成分の発生挙動：口腔咀嚼モデル器を用いて様々な複合系食品の咀嚼に伴う香気発生挙動を調べた。脱脂乳および全乳からの diacetyl と 2-heptanone の放散量を図5に示す。

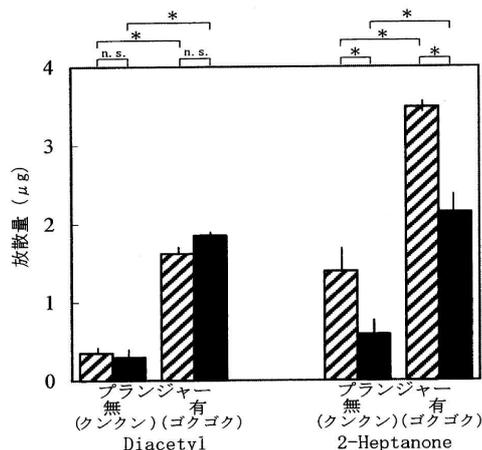


図5 脱脂乳および全乳からの diacetyl と 2-heptanone の放散量
 〇 脱脂乳 (乳脂肪 0%)
 〃 全乳 (乳脂肪 3.75%)
 (Tukeyによる有意差検定、*; $p < 0.05$)

いずれの香気性成分でも、咀嚼を擬似した場合 (図には「ゴクゴク」と表示)の方が、容器の上に鼻を近づけて匂いを嗅ぐ条件の時 (図には「クンクン」と表示)に比べて、香気発生量は高かった。そしてその違いは、脱脂乳の場合より、全脂乳の方が大きかった。この結果は、牛乳はコップに入れた状態のものを鼻で嗅ぐよりも、口に含み咀嚼した際に鼻腔に立ち上がってくる場合の方が、香気成分の発生量が大きいことを示している。また、脱脂乳と全脂乳の結果の違いより、咀嚼による効果は、油脂の入っている方が、より顕著に表れることが明らかとなった。

このほか、同様に口腔咀嚼モデル器を用いて大豆のような食品における、香気性成分の発生挙動も解析された。大豆を非常にゆっくりと咀嚼したモデルとして0.31 Hzでプランジャーを上下させた場合、早く咀嚼したモデルとして1.46 Hzで振動させた場合の測定を行った。大豆には、様々な香気性成分が存在するが、それぞれは異なった蒸気圧を持つ。蒸気圧が高いものほど、放散しやすい。

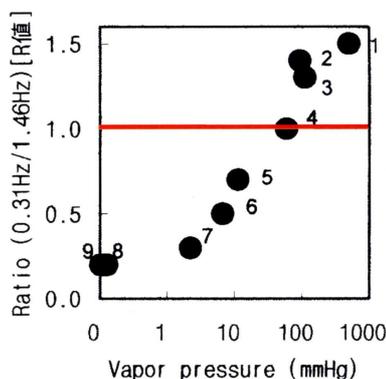


図6 大豆中の香気性成分の蒸気圧と咀嚼頻度による放散挙動の変化

大豆を1.46 Hzおよび0.31 Hzの頻度で、口腔咀嚼モデル装置内で咀嚼し、それぞれ放散してくる成分をGC-MSによって定量した。各放散成分について0.31 Hzと1.46 Hzの場合の放散量の比をとり、各成分の蒸気圧に対してプロットした。

図6は、様々な成分の蒸気圧(横軸)と、それぞれの成分の0.31 Hzにおける発生量と1.46 Hzにおける発生量の比をプロットしている。縦軸が1の値をとる場合というのは、早く噛んでも遅く噛んでも香気の発生しかたが変わらない物質であることを示す。縦軸の値が1より高いものをみると非常に蒸気圧が高い成分であり、このことから非常に放散しやすいものに関しては、ゆっくり噛んだ時の方が、非常に匂いが立ちやすくなるのがわかる。しかし、放散しにくい成分については、逆に速く噛んだ時の方が、匂いが立ちやすくなるのがわかった。このように小竹は、咀嚼のしかた等によっても、鼻腔に発生してくる香りの様式が変化することを明らかにした。

②ヒトパネルによる咀嚼特性と香りの発生：小竹はヒトパネルを用いて、咀嚼によって鼻腔に発生してくる香気成分を、同様に大豆や牛乳などを対象として実験を行った。概ね、①と同様の結果が得られているが、ヒトの場合には、咀嚼頻度、唾液分泌量、呼気流量の個人差が大きく、今後は、これら個人差の大

きな項目をどのように補正していくかが重要な課題である。

(3)研究分担者(館村)の担当項目

口蓋帆挙筋活動の測定による食品の嚥下特性の解析：館村は様々な粘度の食品について、その嚥下挙動を解析している。表1は、低粘度食品の例として、水と牛乳の嚥下時の口蓋帆挙筋活動を比較したものである。

表1 嚥下時の口蓋帆挙筋活動 水と牛乳

被験者	水	牛乳	t値
#1	90.8±6.2	72.8±2.4	7.2**
#2	93.8±4.8	78.4±4.5	6.1**
#3	92.6±7.3	77.5±10.1	4.4**
#4	86.1±8.6	74.3±7.0	3.1**
#5	90.3±6.0	81.7±5.7	2.7*
#6	76.1±12.8	65.0±2.2	2.5*
#7	91.1±6.1	83.6±6.2	2.5*
#8	84.4±10.8	78.6±8.5	1.7
#9	83.5±11.0	77.5±8.4	1.5
#10	83.8±9.1	86.5±5.5	0.8
	87.2±9.7	77.6±8.4	8.3**

表中の値は平均%筋活動量±標準偏差。*: p<0.05, **: p<0.01.

水と牛乳の粘度測定を別に行ったが、その粘度の違いは機器分析(粘度計)によっては検知できなかった。また、両サンプルともニュートン流動を示した。筋活動には個人差が認められた。この表には掲載されていないが、個人が嚥下に適当と考えて口に含む1回当たりの量についても個人差があった。これらの結果は、液体の嚥下に際しては、ヒトはそれぞれのやり方で口にサンプルをふくみ、異なった筋活動で嚥下していることを示している。興味深いのは、10番を除き、どの被験者においても、水に比べて牛乳を嚥下する際の口蓋帆挙筋の活動量が低かったことである。サンプルの粘度がほぼ同じであることから、ヒトは水中に浮かぶ油脂の微細な粒子を認識して嚥下活動を行っている可能性がある。館村は高粘度かつ非ニュートン流動を示す液体についても同様の測定を試みた。

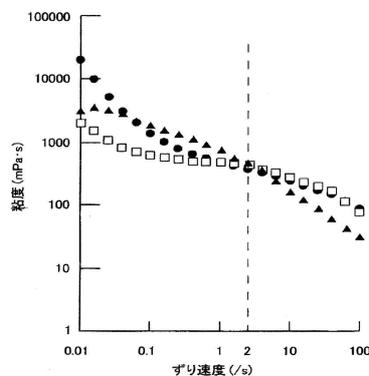


図7 トロミ剤溶液の粘度のずり速度依存性。

(▲)：試料A、(□)：試料B、(●)：試料C

図7には、異なった市販のトロミ調整剤溶液について、粘度のずり速度依存性を測定した結果を示す。試料Aが高ずり速度領域 (2 s^{-1} 以上) で、もっとも速度依存性が大きかった、つまり B、C に比べて粘度がより大きく低下した。

表2 トロミ剤溶液嚥下時の口蓋帆挙筋活動量の多重比較結果 ($p<0.01$)

試料	筋活動量 (% EMG)	
	m	SD
A	84.9	10.7
B	72.9	14.6
C	72.8	14.2

その各試料の嚥下時の口蓋帆挙筋活動量を比較したものが表2である。Aの試料が最も大きな筋活動量を示していた。つまりヒトは液体の流動特性（非ニュートン液体における粘度のずり速度依存性）を認識して、口蓋帆挙筋の活動量を調節して嚥下を行っていると考えられた。

館村は、このような分析をチーズなどの固形食品にも拡大しており、今後、益々物性と咀嚼嚥下挙動の関係の定量的把握に貢献できると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計20件)

- ① K. Matsumiya, K. Nakanishi, Y. Matsumura, Destabilization of protein-based emulsions by diglycerol esters of fatty acids –The importance of chain length similarity between dispersed oil molecules and fatty acid residues of the emulsifier, *Food Hydrocolloids*, **25**, 773-780 (2011), 査読有.
- ② 河合利彦、館村 卓、外山義雄、阪井丘芳、非ニュートン性液状食品の嚥下時の口蓋帆挙筋活動、*日摂食嚥下リハビリテーション会誌*, **14**、265-272 (2010)、査読有.
- ③ K. Matsumiya, W. Takahashi, K. Inoue, Y. Matsumura, Effects of bacteriostatic emulsifiers on stability of milk-based emulsions, *Journal of Food Engineering*, **96**, 185-191 (2010), 査読有.
- ④ 小竹佐知子、食品咀嚼中の香りフレーバーリリースの測定、*化学と生物*, **47**、624-629 (2009)、査読無.
- ⑤ 河合利彦、館村 卓、外山義雄、阪井丘芳、低粘性液状食品の相違が嚥下時の口

蓋帆挙筋活動におよぼす影響、*日摂食嚥下リハビリテーション会誌*, **13**、128-134 (2009)、査読有.

[学会発表] (計21件)

- ① 河合利彦、館村 卓、外山義雄、松尾光郎、大森敏弘、山本昌志、阪井丘芳、新規に開発したプロセスチーズの物性・食感と咀嚼筋活動、日本食品科学工学会第57回大会、2010年9月2日、東京農業大学(東京).
- ② 小竹佐知子、小林史幸、松村康生、人パネルによる大豆咀嚼における咀嚼特性と放散香气、日本食品工学会第11回(2010年度)年次大会、2010年8月4日、東京海洋大学(東京).
- ③ H. Kabata, K. Matsumiya, K. Sakuda, A. Nakamura, Y. Matsumura, Difference in flavor compound structure affects flavor release from emulsion system, Hiroshima Forum on Functionality Lipids, 2010年3月25日、広島大学学士会館(東広島).
- ④ S. Otake and Y. Matsumura, Volatile aroma profile of soybeans during mastication with mouth model by PTR-MS, Asia and Pacific Biochemical Engineering Conference, 2009年11月27日、神戸国際会議場(神戸).
- ⑤ 館村 卓、食物の物性からみる咀嚼・嚥下機能の調節、日本食品科学工学会関西支部第40回シンポジウム、2008年11月27日、京都テルサ(京都)

[図書] (計5件)

- ① 館村 卓、医歯薬出版、摂食嚥下障害のキュアとケア、2009年、190ページ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村 康生 (MATSUMURA YASUKI)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：50181756

(2) 研究分担者

小竹 佐知子 (ODAKE SACHIKO)
日本獣医生命科学大学・食品科学科・准教授
研究者番号：60233540
館村 卓 (TACHIMURA TAKU)
大阪大学・大学院歯学研究科・准教授
研究者番号：60188266

(3) 連携研究者

()
研究者番号：