

味覚センサーを利用した「旨味」の「みえる化」

山田徹郎・大和あゆみ*・川上亮英*

"Visualization" of "Umami" Using Taste Sensing System
Tetsuro YAMADA, Ayumi YAMATO, and Ryouei KAWAKAMI

味覚センサーを用いて、サンプルを測定すると同時に、既存のグルタミン酸溶液を測定することで検量線を求めた。サンプルの測定値から、それに対応するグルタミン酸の濃度を求め、「旨味相当量」として表わす測定方法を確立した。また、うまみの相乗効果について味覚センサーで測定し、官能評価によらず、混合系での相乗効果が高い配合比を求める方法を検討した。昆布と鰹節を配合し、9段階のサンプルを作成した。旨味の相乗効果が特に高くなったのは、鰹節の配合比が50%から70%の間であった。

キーワード：味覚センサー、旨味、旨味の相乗効果

A calibration curve was obtained by using a taste sensing system to measure existing glutamate solutions when measuring samples. From the measured values, the corresponding concentration of glutamic acid was determined, and a measurement method was established to express it as "amount equivalent to umami". The synergistic effect of umami was measured by a taste sensing system. And a method was studied to find a blending ratio with high synergistic effect in a mixed system without sensory evaluation. Nine levels of samples were prepared by blending dried kelp and dried bonito flakes. The synergistic effect of umami was particularly high when the ratio of dried bonito flakes in the mixture was between 50% and 70%.

Keywords: taste sensing system, umami, synergistic effect of umami

1 はじめに

味覚センサーでは、呈味を相対値として数値化し、結果をレーダーチャートで示するのが一般的である。その測定方法は、相対比較であり、測定毎に共通の標準試料が必要となる制約がある。一方で、制約なしに味覚の数値化が求められている。そこで、五味のうち旨味に限定し、制約なしに旨味を数値化する試験方法の確立を試みた。

また、2種類の旨味成分を混合すると、単独よりも旨味を強く感じる「相乗効果」が存在する¹⁾。それを味覚センサーで数値化することで「みえる化」し、うまみ成分の混合系において、相乗効果が高くなる配合比の求められないか検討した。

2 実験

2.1 旨味相当量の測定方法の確立

味覚センサーは、呈味（塩味、酸味、旨味、苦味、渋味、甘味）を数値化する装置である。呈味にそれぞれ対応する膜センサーの応答電圧(mV)を測定し、標準試料との電位差を呈味ごとの標準物質の濃度差に変換して、その強弱を「推定値」として算出する。旨味の評価は、その推定値を用い、その値を【旨味】と表記する。

いくつかの既存濃度のグルタミン酸溶液の【旨味】を求め、応答曲線を作成し、サンプルの【旨味】から、応答曲線に対応するグルタミン酸の濃度を求め、これを「旨味相当量」とした。このことで旨味の数値化が可能であると考えた。

具体的には、グルタミン酸濃度の薄い部分では、応答曲線が直線に近似できるため、その部分を検量線として、サンプルの【旨味】から、旨味相当量を求めた。

旨味相当量を求めるサンプルとして、昆布を用いた。その理由は、可食部100gあたりグルタミン酸量（総アミノ酸量、削り昆布参照）が1400mg²⁾と多いためである。

2. 1. 1 試料

(1) グルタミン酸標準液

グルタミン酸標準品は、L(+)-グルタミン酸水素ナトリウム一水和物（富士フィルム和光純薬(株)製造 分子量187.13)を用いた。

i) 味覚センサー

グルタミン酸標準品を200 mLメスフラスコに0.749 g精確に秤量し、超純水でメスアップし、濃度20 mMのグルタミン酸原液を調製した。この原液を超純水で希釈し、検量線作成のためのグルタミン酸液

(2.0, 1.0, 0.80, 0.50, 0.26, 0.18, 0.10, 0.06 mM)を作成した。

ii) 液体クロマトグラフィー

グルタミン酸標準品を100 mLメスフラスコに12.7 mg精確に秤量し、pH2.2くえん酸ナトリウム緩衝液（以下「希釈液」とする）でメスアップし、濃度100 mg/Lのグルタミン酸原液を調製した。この原液を希釈液で希釈し、検量線作成のためのグルタミン酸液(10, 4, 2, 1 mg/L)を作成した。

(2) 昆布サンプル

市販のだし用の昆布粉末を調査したところ、添加物として、アミノ酸等と表記されており、添加物が入っていない商品を見つけることができなかった。この添加物により旨味の相乗効果が生じる可能性があるため、旨味相当量を求める実験には適さないと考え、添加物を含まない乾燥した昆布（日高昆布 北海道産（株）都平昆布海藻製造）を試料に供した。

上述の昆布を食品用破砕機（大阪ケミカル（株）販売 ワンダーブレンダー）で1分処理し、粉末状にした。その昆布粉末を2 g/Lとして、遠心分離(3,500rpm 10分)し、その上澄み液を採取し、昆布サンプルとした。

2. 1. 2 試験方法

(1) 旨味相当量

旨味相当量は、味覚センサー（インテリジェントセンサーテクノロジー（株）製 TS-5000Z）を用いた。測定手順は、五味（塩味、酸味、旨味、苦味、渋味）と甘味を分けて行う。今回の実験では、五味を測定する場合と同様な運転プログラムを用いた。旨味を測定する「AAEセンサー」だけを本体に取り付けて測定した。尚、分析は3反復で行い、その平均値で評価した。写真1に味覚センサーを示す。また、1回の測定可能個数は10検体である。



写真1 味覚センサー

予備試験として、グルタミン酸標準品から約6 mMの溶液を調製し、それを超純水で2倍希釈を繰り返した試料10点を測定した。

また、予備試験の応答曲線から直線近似可能な範囲で2.1.1試料 i) に示すグルタミン酸の溶液8点と昆布サンプルについて、味覚センサーで【旨味】を測定し、検量線を求めた。

(2) 液体クロマトグラフィー

グルタミン酸の定量には、島津LC-VPアミノ酸分析システムを用いた。調製したグルタミン酸液(10, 4, 2, 1 mg/L)と、希釈液で5倍希釈して測定した。

- ・分析条件 : Na型迅速
- ・試料導入量 : 10 μ L
- ・カラム : Shim-pack Amino-Na
- ・流速 : 0.6 mL/min
- ・オープン : 60 $^{\circ}$ C
- ・励起波長 : 350 nm
- ・蛍光波長 : 450 nm
- ・溶出時間 : 10.3 min(グルタミン酸)

2. 1. 3 結果

図1に予備試験におけるグルタミン酸濃

度による【旨味】の応答曲線を示す。

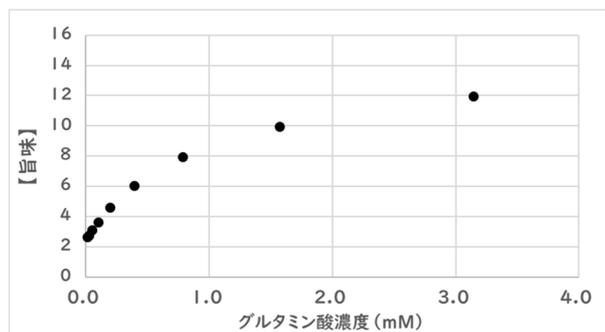


図1 グルタミン酸濃度による応答曲線

また、2.1.1試料 i) に示すグルタミン酸で応答曲線を求めた。0.06 mMから1.0 mMの範囲で、直線に近似ができた。これを検量線として、直線の式及び決定係数を付して図2に示す。決定係数 R^2 が0.9952と強い相関が得られた。

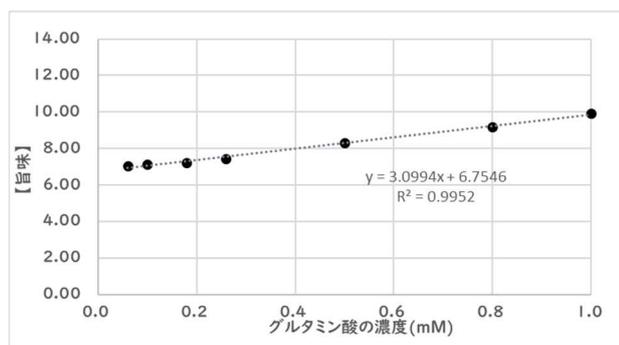


図2 グルタミン酸濃度による検量線

この検量線から昆布サンプルの旨味相当量を求めたところ、0.59 mMであった。

また、液体クロマトグラフィーで同じ昆布サンプルのグルタミン酸濃度を求めたところ、0.14 mMであった。

2. 1. 4 考察

味覚センサーが測定した【旨味】から旨味相当量を求めるためには、測定毎に検量線を求める必要があるが、旨味の数値化が可能である。

今回のデータ処理においては、応答曲線の直線部分を検量線として用い数値を算出した。応答曲線の形状を考えると1.0 mMから3.0 mM程度の範囲では、応答曲線が直線で近似できないため、求めるサンプルを希釈して、直線近似できる0.06 mMから1.0 mMの範囲内で計算する必要がある。

測定サンプルのグルタミン酸の概算値が不明であると、直線近似できる範囲に入るようにサンプルの希釈濃度調整を繰り返す

必要がある。

そのため、測定手順として、サンプルの概算値をパックテストなど別の方法（例えば、文献3）で求めるか、1回の測定可能個数は10検体であるために、希釈したサンプル数を増加させ、一方で、検量線用のグルタミン標準液を減少させて試験を行うことが望ましいと考えられる。

また、今回は直線近似できる部分を用いたが、応答曲線を多次元式と考え、濃度を算出する方法も有効であると考えられる。その検討は今後の課題である。

また、昆布サンプルについて、液体クロマトグラフィーで測定したグルタミン酸(0.14 mM)よりも味覚センサーでは測定した旨味相当量(0.59 mM)の方が大きい理由は、グルタミン酸のみを定量する液体クロマトグラフィーでの測定値に比べ、AAEセンサーは昆布サンプルと中のグルタミン酸以外の物質にも応答した可能性が考えられる。

AAEセンサー応答する物質は、グルタミン酸の他に、イノシン酸、グアニル酸及びコハク酸であり⁴⁾、これらの応答物質は、表1の示す様に旨味として官能評価に対応しており、味覚センサーの旨味の評価は官能評価と相関があると考えられる。尚、昆布には、表1に表示される物質のうちグルタミン酸以外は含まれていない。

表1 AAEセンサーに反応する物質名と旨味成分の例

物質名	旨味成分の例
グルタミン酸	昆布の旨味成分
イノシン酸	鰹節の旨味成分
グアニル酸	キノコ類の旨味成分
コハク酸	貝類の旨味成分

相当量とは、同様の効果を持つ物質を1種類の物質に代表させ、その物質に換算させる。値は正確ではないが、目安として食品業界では広く使用されている概念である。

相当量の問題として、旨味を感じなくてもグルタミン酸と同様にAAEセンサーに反応すれば、相当量は大きくなってしまいう可

能性がある。この様な事例は、相当量では生じることである。例えば、相当量のひとつである食塩相当量の場合、ナトリウムイオンの定量から食塩相当量を算出するため、重曹（ナトリウムを含む）の様に塩味を強めるためでなく添加した成分により、食塩相当量が大きくなる。

AAEセンサーに応答し、官能評価では旨味を感じない物質が含まれている可能性がある。この場合、相対評価を行う味覚センサーでは、それらの影響は表れず、議論できなかった問題である。

このことから、旨味相当量を利用するにあたっては、旨味を呈さない物質に対するAAEセンサーの応答性の調査が課題として残った。

2. 2 旨味の相乗効果の見える化

昆布に含まれるグルタミン酸と鰹節に含まれるイノシン酸を混合した場合、旨味の相乗効果が生じることが古くから知られている¹⁾。文献1では、①0.04%のグルタミン酸、②0.04%のイノシン酸、③0.02%のグルタミン酸と0.02%のイノシン酸の1:1混合物について、旨味を官能評価し、③が顕著に強くなった結果が示され、混合すると、旨味が強くなる相乗効果を示している。しかし、だしなどの新商品開発では、旨味の相乗効果が高い配合比を精度高く知りたいという要望がある。そこで、その方法として、配合比を変化させた昆布と鰹節の混合物を作成し、その旨味を味覚センサーで測定し、応答電圧から旨味の相乗効果が高い配合比を求める方法を検討した。

また、混合した各々のサンプル中のグルタミン酸濃度及びイノシン酸濃度を液体クロマトグラフィーで測定した。

2. 2. 1 試料

(1) イノシン酸標準液

イノシン酸標準品は、イノシン5'-モノリン酸（シグマアルドリッチジャパン合同会社製造 分子量392.2）を用いた。

イノシン酸標準品を100 mLメスフラスコに10 mg精確に秤量し、超純水でメスアップし、濃度100 mg/Lのイノシン酸原液を調製した。この原液を超純水で希釈し、検量線作成のためのイノシン酸液（50, 20, 10,

5 mg/L)を作成した。

(2) 昆布サンプル

混合比を求める試料として、実際に使われるだしの濃度を参考に前述の粉末状にした昆布を用いて20 g/Lとし、遠心分離（3,500rpm 10分）後、その上澄み液を昆布サンプルとした。

(3) 鰹節サンプル

市販のだし用の鰹節粉末を調査したところ、添加物として、アミノ酸等が加えられていない鰹節の粉末（かつおのふし ヤマキ（株）製造）を試料に供した。

混合比を求める試料として、実際に使われるだしの濃度を参考にし、上述の鰹節を30 g/Lとし、遠心分離（3,500rpm 10分）後、その上澄み液を鰹節サンプルとした。

(4) 昆布—鰹節混合サンプル

この実験系では、実用に即すため、試薬を用いず、だしに使われる昆布サンプルと鰹節サンプルを用いて、昆布—鰹節混合サンプルとした。表2に示す配合比で混合し、9段階の配合比の昆布—鰹節混合サンプルを作成した。

表2 昆布—鰹節混合サンプルの配合比

サンプルコード	昆布サンプル添加量 (mL)	鰹節サンプル添加量 (mL)	鰹節サンプルの割合 (%)	昆布サンプルの割合 (%)
A	50	0	0	100
B	40	10	20	80
C	35	15	30	70
D	30	20	40	60
E	20	25	56	44
F	20	30	60	40
G	15	35	70	30
H	10	40	80	20
I	0	50	100	0

2. 2. 2 試験方法

(1) 旨味の数値化

旨味の数値化は、2.1.2と同様に味覚センサーを用いた。旨味の測定は、先味（食べた時に感じる呈味）と後味（舌に残る呈味）の2種類が測定可能である。ここで、旨味の先味を【旨味】、旨味の後味を【旨味コク】と表記する。

後味の測定方法は、測定前にサンプルを基準液（人工的な唾液に相当）で2分間洗浄を2回繰り返した後に測定される。

後味は、洗浄により旨味物質のセンサー膜への残存具合で評価する。つまり、洗浄により、センサー膜から旨味物質が脱落しにくく、多くが残存していれば、後味は強くなり、また、洗浄により、センサー膜から旨味物質が容易に脱落し、殆どが残存してければ、後味は弱くなる。

だし類においては、うま味物質の濃度が高い場合、AAEセンサーの旨味物質に関する応答電圧が飽和に達し、AAEセンサーで測定される【旨味】からうま味物質の濃度が計算できない状態になる⁵⁾。そのため、【旨味コク】を測定することとした。

【旨味コク】は、測定前に洗浄するので旨味物質の濃度が薄くなり、上記の問題が生じない。

(2) 液体クロマトグラフィー

i) グルタミン酸の定量

前述の2.1.2と同様の条件で分析した。昆布サンプルは50倍希釈、昆布一鰹節混合サンプルはそれぞれ5倍、希釈液で希釈して測定した。

ii) イノシン酸の定量

イノシン酸の定量には島津高速液体クロマトグラフィー-フォトダイオードアレイ検出器を用いた。イノシン酸液(50, 20, 10, 5 mg/L)と、昆布一鰹節混合サンプルを適切に希釈したものを測定した。各サンプルのそれぞれの希釈倍率を下記に示す。

A : 希釈なし(原液)

B : 2倍

C, D, E, F : 5倍

G, H, I : 10倍

・移動相 : 0.05 mol/Lトリメチルアミン水溶液(pH5.0、リン酸) : メタノール = 100:1

・試料導入量 : 10 μ L

・カラム : TSKgel ODS-100Z 3 μ m (4.6 mm I.D. \times 25 cm)

・流速 : 0.6 mL/min

・オーブン : 40 $^{\circ}$ C

・検出波長 : 260 nm

・溶出時間 : 23.8 min(イノシン酸)

2. 2. 3 結果

味覚センサーによる配合比ごとの【旨味コク】を図3に示す。【旨味コク】の応答

曲線は、上に凸であった。この様に旨味の相乗効果を数値化することができた。

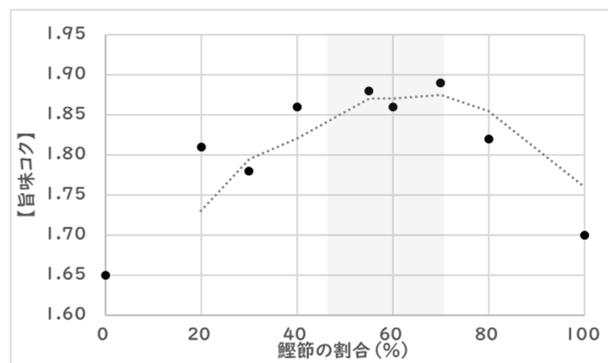


図3 鰹節の割合による【旨味コク】

液体クロマトグラフィーによる配合比ごとのグルタミン酸の濃度を図4に、イノシン酸の濃度を図5に示す。

液体クロマトグラフィーの結果から、配合比通りに、グルタミン酸、イノシン酸が含有されていることが確認できた。

鰹節サンプル100% (サンプルI) ではグルタミン酸が0.1 mM確認された。

また、鰹節サンプル0% (サンプルA) では、イノシン酸のピークは現れなかった。

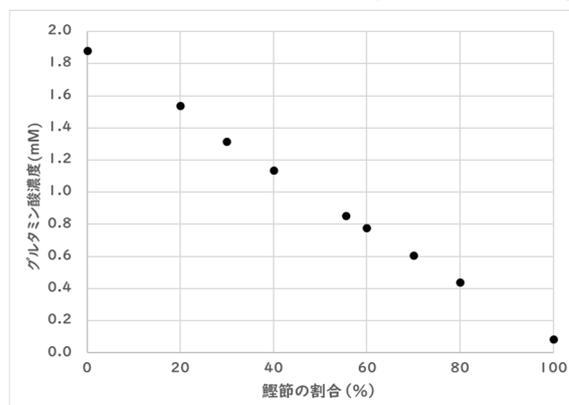


図4 混合サンプルのグルタミン酸の濃度

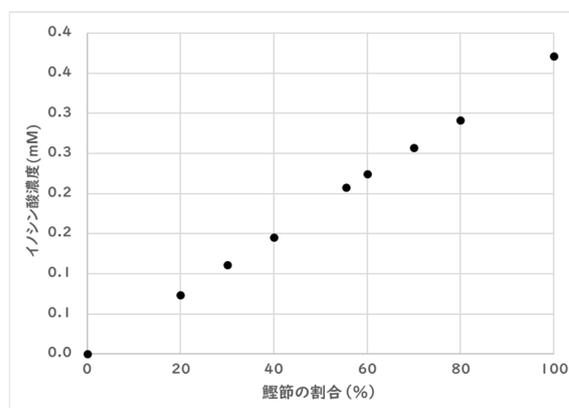


図5 混合サンプルのイノシン酸の濃度

2. 2. 4 考察

図4において、サンプルIから鰹節にグルタミン酸が存在することを示している。文献6でも分析方法が異なるが、グルタミン酸が検出されている。

図5において、サンプルAから昆布にイノシン酸は検出されないことが示している。文献6でも分析方法が異なるが、イノシン酸は検出されていなかった。

また、図3において、鰹節100%（サンプルI）の【旨味コク】は1.70であり、鰹節0%（サンプルA）の【旨味コク】の1.65よりも【旨味コク】が強い。これは鰹節100%（サンプルI）では、イノシン酸に加えて、グルタミン酸が0.1 mM検出されていることから、旨味の相乗効果により強くなったと考えられる。

図3に灰色で示した様に相乗効果が高くなる配合比は、50%から70%の間であった。この様に配合比が重要となる商品開発においては、今回の実験方法は有効だと思われる。

一方で、今回の実験結果の【旨味コク】の測定値の差は小さかった。この差を大きくする条件があれば、適した配合比をもっと細かい範囲で求めることができると予想される。そのためには、電解液を加えることで、応答電圧の絶対値を上げ、差を大きくすることが考えられる。また、【旨味コク】（後味）の運転プログラムは、測定前の洗浄が過剰で、測定値が小さくなってしまった可能性も考えられる。そのため、今回の実験系に適する運転プログラムへの改良は今後の課題である。

また、旨味相当量について再度、考察すると相乗効果により、2種類の旨味成分を含む混合系では、味覚センサーで求めたグルタミン酸やイノシン酸の濃度（相当量）は、液体クロマトグラフィーで求めた濃度よりも高くなることが予想される。この様に相乗効果をも評価できる点で、味覚センサーによる「旨味相当量」は、新しい旨味の尺度になりうると期待できる。

3 まとめ

味覚センサーを用いて、標準試料が必要

となる制約なしに旨味を数値化する試験方法を確立した。いくつかの既存濃度のグルタミン酸溶液の【旨味】から、応答曲線を作成し、それをサンプルの【旨味】と対応させてグルタミン酸の濃度を求めた。これを「旨味相当量」として、旨味を数値化することができた。

旨味の「相乗効果」について、昆布サンプルと鰹節サンプルの混合系において、味覚センサーを用いて数値化し「みえる化」することができた。相乗効果が高くなる配合比は、鰹節の配合比が50%から70%の間であった。

文 献

- 1) 高木美代子 イノシン酸の分離 食物学会誌第12号、p56 (1962)
- 2) 香川明夫監修 八訂食品成分表2021 資料編 女子栄養大学出版部、p148 (2021)
- 3) 「つくば食品評価センター、グルタミン酸を簡便測定 エンザイム・センサと開発」日本食糧新聞 2022.11.21
- 4) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー 「味認識装置中級講習会説明資料」メーカー資料コード：IST-S0011A06001 (2016)
- 5) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー 「うま味センサ(AAE)の問題（先味評価）に対する暫定的なご対応のお願い」メーカー資料コード：IST-SS020A03004 (2020)
- 6) 神田知子ら 和風だしおよびインスタントスープに含まれる遊離アミノ酸とその類縁体および拡散関連物質の組成の違い 同志社女子大学学術研究年報第61巻、p141 (2010)