九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

苦味を呈するアミノ酸の味覚センサを用いた味の定量化

永守, 知見
有明工業高等専門学校電気工学科

都甲, 潔
九州大学大学院システム情報科学府電子デバイス工学専攻

https://doi.org/10.15017/1498346

出版情報：九州大学大学院システム情報科学紀要. 3 (1), pp.101-106, 1997-12-22. 九州大学大学院システム情報科学研究院
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九州大学大学院
システム情報科学研究科報告
第3巻 第1号 平成10年3月

Research Reports on Information Science and
Electrical Engineering of Kyushu University
Vol.3, No.1, March 1998

苦味を呈するアミノ酸の味覚センサを用いた味の定量化

永守知見 * ・ 都甲 潔 **

Quantification of Taste of Amino Acids Showing Bitter Taste with a Multichannel Taste Sensor

Tomomi NAGAMORI and Kiyoshi TOKO

(Received December 22, 1997)

Abstract: A recently developed multichannel taste sensor with global selectivity is composed of several kinds of lipid/polymer membranes for transforming information of taste substances into electric signals, which are treated with a computer. In this paper, taste of amino acids showing bitter taste was studied using the taste sensor. The electric potential patterns for amino acids obtained from the taste sensor were compared with them of five basic tastes using normalization procedure to extract the property of response pattern. As a result, the sensor output showed different patterns for chemical substances with different taste qualities, while it showed similar patterns for chemical substances with similar tastes. The response of the sensor to amino acids showing bitter taste was very similar to a bitter substance, quinine. A correlation coefficient between two patterns showed a high similarity. The bitterness of amino acids was quantified using the concentration of quinine by multiple linear regression.

Keywords: Taste sensor, Lipid membrane, Bitter substance, Amino acids, Quantification

1. はじめに

生物には外界からの様々な物理化学的刺激を受容し，これらに適切に対応する感覚を誘起させる機能が備わっている．すなわち視覚，聴覚，触覚，味覚，嗅覚の五感である．これらのうち，味覚と嗅覚は化学物質を受容する感覚であり，化学感覚と称されている．

味覚を代行するセンサは，多種多様な物質を感知し，識別できるものでなくてはならない．最近開発されたマルチチャネル型味覚センサは，脂質／高分子膜を味物質を受容する部分とし，この複数の脂質膜からなる電位出力応答パターンから味を識別する．これは舌の細胞の生体膜が脂質とタンパク質からできていることに着目し，その構成成分の一つである脂質を実際に利用できる形に作り上げたものである．

マルチチャネル型味覚センサは生体系の味受容メカニズムを模倣したセンサであり，これまでに様々な食品の識別や味の定量化が行われている[1-4]．味覚センサの受容部に用いている脂質／高分子膜は，支持材であるポリ塩化ビニル (PVC) を溶剤テトラヒドロフラン (THF) に溶かし，可塑材ジオクチルフェニルフォスフォネート (DOPP) と脂質を混入させた後，乾燥させて透明なフィルム状に成形したものである．脂質の種類を変えることにより異なる特性を持つ膜を作ることが可能である．複数の脂質膜を用いることは種々の味の応答特性の異なる細胞（そして味神経）を準備することに相当する．

アミノ酸はその種類により，様々な味を呈する．アミノ酸はアミノ基$-NH_2$とカルボキシル基$-COOH$を共通に持っているが，R基部分の構造は多種多様である．アミノ酸は種々の食品の味の形成や特徴付けに寄与しており，単独で5基本味からなる混合味を呈することが官能検査によって示されている．アミノ酸の味物質受容メカニズムはまだ明らかにされていないが，アミノ酸が複合的な味を呈する理由についてもまったく解明されていない．

味覚センサはアミノ酸に特によく応答し，食品中のアミノ酸を検出できるのみならず，各アミノ酸を酸味や苦味といった味質に応じて分類することが可能であり[5]，その際主成分分析という手法が用いられている．主成分分析とは，多次元の情報をできるだけ低い次元で表現する多変量解析の1手法である．ここで得られた結果は，アミノ酸の味が確かに5基本味から構成されることの証しでもあり，日本酒の滴定酸度や味噌の熟成度が検出できるのも，味覚センサがアミノ酸を拾えるからである．しかしながら，この研究[5]においては，アミノ酸の味質の分類がなされただけであり，その味の定量化は行われていない．

本研究では，アミノ酸を味覚センサを用いて測定し，基本味によるアミノ酸の味の定量化を行う．

平成9年12月22日受付
* 有明工業高等専門学校電気工学科
** 電子デバイス工学専攻

2. 測定方法ならびに測定結果

2.1 測定装置

電極および測定系の概略図をそれぞれ**Fig.1**と**Fig.2**に示す．センサプローブはプローブ本体，Ag/AgCl電極，内部溶液（100mM KCl），電極端子より構成される．受容膜は，接着剤を用いて本体に接着されている．入力インピーダンスのバッファアンプにより増幅された電位と参照電極からの電位が差動増幅器に入力され，これが測定電位になる．差動増幅器からの出力は，ディジタルボルトメータ（ADVANTEST R6551）によりA/D変換されコンピュータ（NEC PC-9801）に記録される．

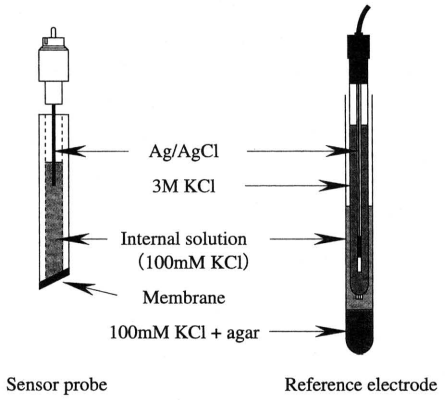

Fig.1　Electrodes of the taste sensor.

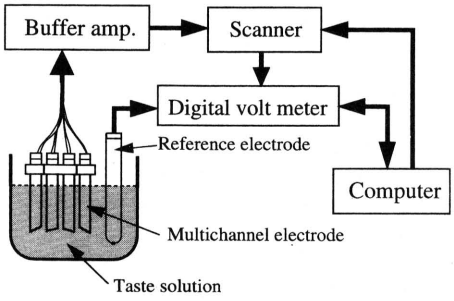

Fig.2　Experimental apparatus to measure the electric potential of transducer membrane.

各チャネルに使用した脂質の材料およびその略称を**Table–1**に示す．DOP:TOMA=9:1はDOP膜とTOMA膜の混合物であり，数値はモル比を表している．

2.2 測定方法

あらかじめ1 mM KCl中で測定し，アミノ酸水溶液を添加した時の電位の変化分をセンサの応答値とした．1 mM KClは人間の唾液に相当する基準溶液として用いたものである．KCl 自体は呈味物質であるが，この基準溶液は人間の感じる閾値以下の濃度であるため無味と見なせる．味物質（アミノ酸）の溶媒は1 mM KClとし，電位の測定はアミノ酸溶液を添加して300 sec 後に行った．なお，**Table–1**に示すように本研究では異種の電荷を持った膜間の汚染を防ぐため，脂質膜をその電荷によって分類し，2本の電極で独立に測定を行った．

2.3 測定結果

Fig.3はＬ－トリプトファンの味覚センサの応答の濃度依存性を調べたものである．Ｌ－トリプトファンはＬ－フェニルアラニンやＬ－イソロイシンなどと同様苦味を示すことが調べられているが，ここでの応答では，ＤＡ，ＯＡ，ＤＯＰ膜の電位を大きく増加させた．このように，Ｌ－トリプトファンの濃度変化に対して，これらの膜は系統的な電位の変化を示している．

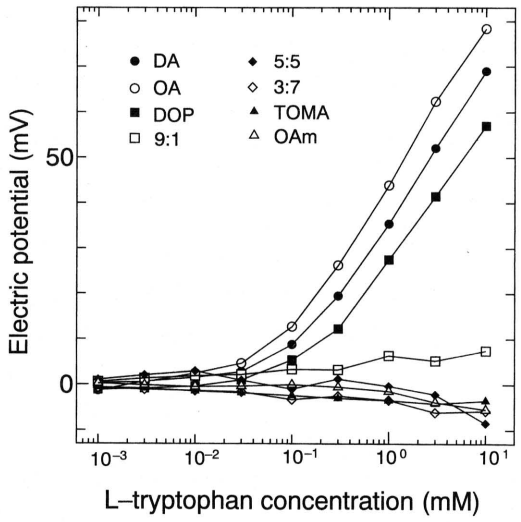

Fig.3　Responses of the lipid membranes to L–tryptophan.

苦味を呈するＬ－トリプトファン，Ｌ－フェニルアラニン，Ｌ－イソロイシン，および甘味を呈するＬ－アラニンの各チャネルの応答値をレーダーチャートにして**Fig.4**に示す．各レーダーチャートの中の3つの数値はアミノ酸の濃度(mM)である．系統的な変化を明瞭にするため，規格化

$$v_i = V_i / \sqrt{\sum_{i=1}^{8} |V_i|^2} \tag{1}$$

をそれぞれの濃度で行い，プラス荷電膜の応答電位は符号を反転させて表示させている．ここでV_iはチャネルiの応答電位である．

Fig.4からわかるように，苦味を呈する3つのアミノ酸は濃度によらずに非常に似通った応答を示している．他方，甘味を呈するＬ－アラニンはこれら3つのアミノ酸

Table-1 Lipid materials.

	Channel no.	Lipid
−	1	Decyl alcohol (DA)
	2	Oleic acid (OA)
	3	Dioctyl phosphate (DOP)
	4	DOP : TOMA= 9 : 1
+	5	DOP : TOMA= 5 : 5
	6	DOP : TOMA= 3 : 7
	7	Trioctyl methyl ammonium chloride (TOMA)
	8	Oleyl amine (OAm)

と全く異なる応答パターンを持つ．これは味センサによる基本味の実験でも確かめられているように[1]，５つの異なる味では異なるパターンを示すのに，似た味では似たパターンを示すという事実を裏づけるものである．

次に，この中からＬ－トリプトファンを選び，その味の定量化を試みるため，基準となる５基本味との比較を行ってみる． **Fig.5**が示すように，５つの味質の応答パターンはそれぞれ異なるパターンを示している．脂質／高分子膜を用いた味覚センサは，人間の舌と同様，それぞれの味の化学物質と生体膜の相互作用の違いを，かなり再現しているものと言える．

種々のアミノ酸に主成分分析を施すことにより，アミノ酸の味が５基本味から構成されることが示されているが[5]，Ｌ－トリプトファンはＬ－フェニルアラニンやＬ－イソロイシンと同じグループに分類された．このグループが苦味を呈するアミノ酸であることを示すには，まず５基本味との比較を行い，基本味での定量化を行う

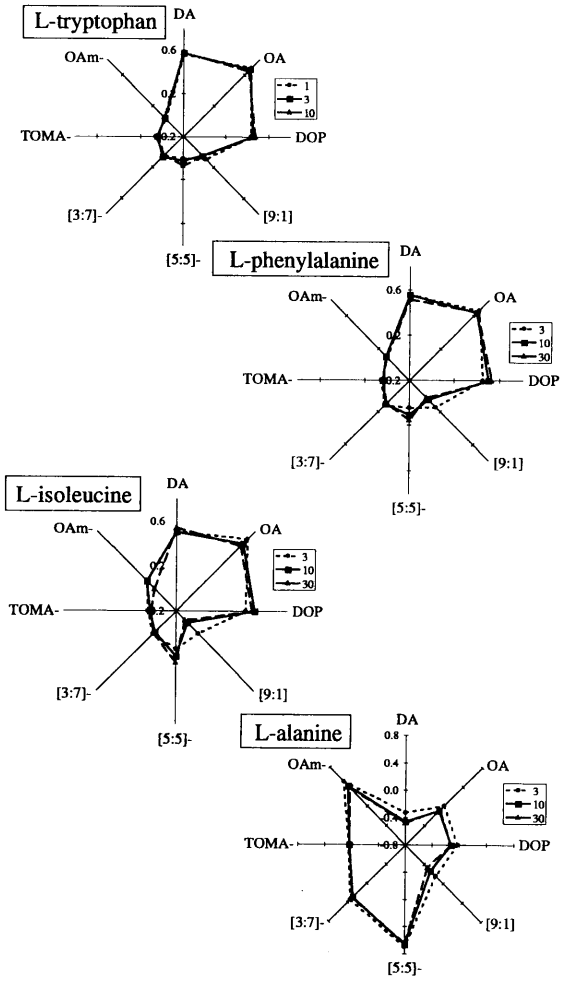

Fig.4 Response patterns for amino acids.

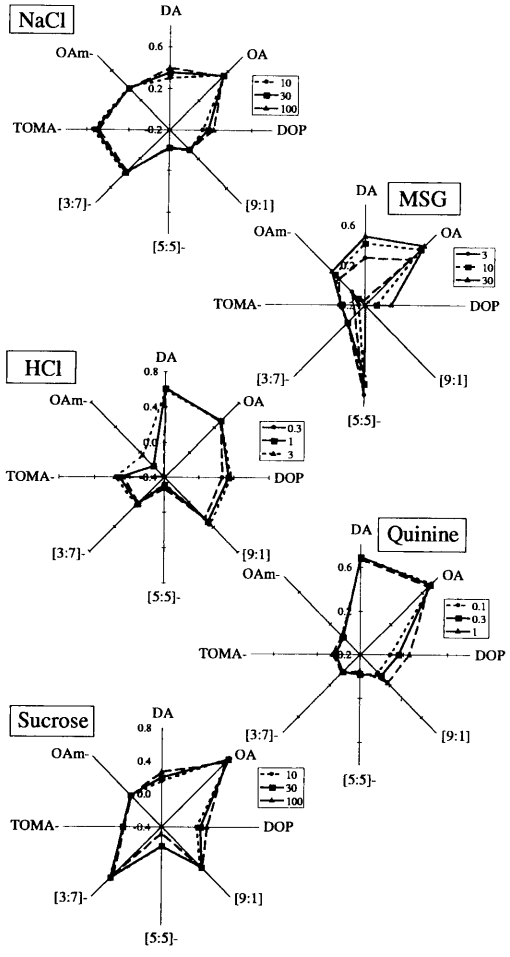

Fig.5 Response patterns for five basic tastes.

必要がある．**Fig.4**と **Fig.5**のパターンを視覚的に見た結果からは，５基本味のうち苦味のキニーネHCl（以下単にキニーネと略）と最も近いようである．

ここでは，応答電位の相関係数により，５基本味との関連を調べた．使用した味溶液は以下の５種類で，濃度はそれぞれの味質について人間の感じる閾値よりわずかに高い濃度を用いて実験を行った．塩味（NaCl:30mM），酸味（HCl:1mM），うま味（MSG:グルタミン酸ナトリウム:30mM），苦味（キニーネ:0.3mM），甘味（ショ糖:100mM）である．この結果を**Table–2**に示す．やはり，Ｌ－トリプトファンとキニーネとは，0.903という結果となり，苦味に対して高い相関係数を取ることがわかる．この事実は実際Ｌ－トリプトファンが味わって苦いことを正当化するものである。次に酸味HClが0.792と比較的高い値を示したのは，それぞれの塩酸基によるものであり，妥当な結果だと言える．

次に，Ｌ－トリプトファンの他の濃度との相関や，前に述べたＬ－トリプトファンと近いパターンを示したキニーネ(苦味)とHCl(酸味)について他の濃度でも調べてみた．結果を**Table–3**に示す．やはり，同じＬ－トリプトファンどうしでは0.990という最も高い値であった．

このように，濃度の違う場合も含めて，似た味では高い相関係数を取り，違う味では相関係数が低いという２つの味の相関を味覚センサにより簡単に表現することができた．

以上の結果から，Ｌ－トリプトファンは５基本味のうちキニーネによって苦味の定義を行うべきであるということがわかる．

3. 苦味を呈するアミノ酸の定量化および官能検査による苦味強度

Ｌ－トリプトファンの苦味をキニーネ濃度（等価的濃度）で表してみる．キニーネの応答電位に主成分分析を施し，寄与率を調べると第一主成分PC1が93%であった．従って，このPC1が応答パターンについて大きな情報を持っていることがわかる．ここで，PC1を求める式は以下のように表される．

$$\mathrm{PC1} = \sum_{i=1}^{8} a_i (V_i - \bar{V}_i) \qquad (2)$$

a_iは主成分分析より得られた‘重み’，V_i はチャネル i の応答電位，そして $\bar{V}_i$ はチャネル i の応答電位の平均値を表している．キニーネ濃度とこのPC1との関係をグラフで表すと，**Fig.6**のようにキニーネ濃度が上がるにつれて，PC1の値が直線的に変化していることがわかる．図中の直線は最小二乗直線である．つまり，キニーネに対する応答電位を測れば，濃度はこの直線関係から求めることができる．このことを使えば，キニーネと相関の高いＬ－トリプトファンの応答電位をキニーネのPC1の式に代入することにより，Ｌ－トリプトファンの苦味がキニーネの尺度(濃度)で表せることになる．そこでＬ－トリプトファンの応答電位から(2)式で計算したPC1の値(●)を図にプロットしてみた．Ｌ－トリプトファンの１から10 mMの濃度は，キニーネの約0.005mMから0.02 mMに相当していることを示している．

次にこの結果を使って，Ｌ－トリプトファンの“苦味強度”を表そう．この味の定量化に関しては，１９４０年代の終わりぐらいから，味の“ものさし”として，たとえばBEEBE CENTERらは，ショ糖1%の与える甘さの“味の強さ”という点だけに着目し，これを１ GUSTの標準尺度として各種の味を表す「ガスト尺度法」や，同じくINDOW によって６０年代の終わりに提唱された濃度から基準を決め，それを基に各種の味を表す「τ scale」などがある[6]が，これらはいずれも味の測定の手法としては，官能検査（計量心理学）を組み合わせた手法である．ここでは，味覚センサより得られたデータから，先ほどのキニーネの等価的濃度を使って，τ scaleとの比較を行った．τ scaleでは，キニーネの基準として，次式が提案されている[6]．

$$\tau_B = 2.35 * \log(\phi_B / 0.00011) \qquad (3)$$

ここで，ϕ_B は100 cc 当たりのグラム数で表され，濃度により決定される値である．**Fig.6**の最小二乗直線よりＬ－トリプトファンの濃度をキニーネの等価的濃度として算出できるため，(3)式を用いてτ尺度に簡単に変換できることがわかる．この結果を**Fig.7**に示す．

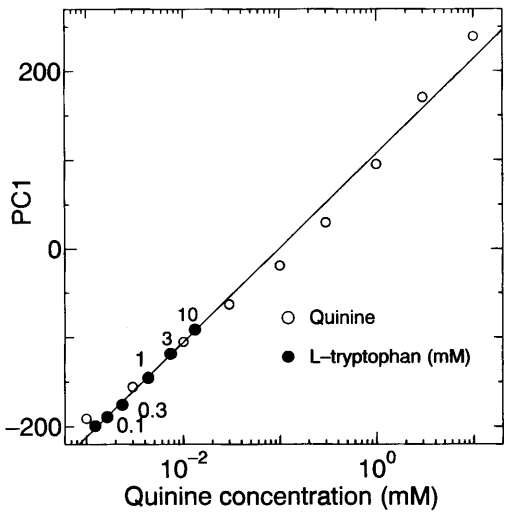

Fig.6 Relationship between the first principal component (PC1) and the concentration of quinine.

Table-2 Correlation coefficients between L-tryptophan and five basic tastes.

	Quinine 0.3 (mM)	MSG 30 (mM)	NaCl 30 (mM)	HCl 1 (mM)	Sucrose 100 (mM)
L-tryptophan 10 (mM)	0.903	0.577	0.276	0.792	0.515

Table-3 Correlation coefficients among chemical substances with similar tastes.

	L-tryptophan 1 (mM)	L-tryptophan 10 (mM)	Quinine 0.1 (mM)	HCl 30 (mM)	HCl 1 (mM)
L-tryptophan 1 (mM)	*	0.990	0.896	0.747	0.847
L-tryptophan 10 (mM)	0.990	*	0.872	0.678	0.792
Quinine 0.1 (mM)	0.896	0.872	*	0.661	0.763
HCl 30 (mM)	0.747	0.678	0.661	*	0.934
HCl 1 (mM)	0.847	0.792	0.763	0.934	*

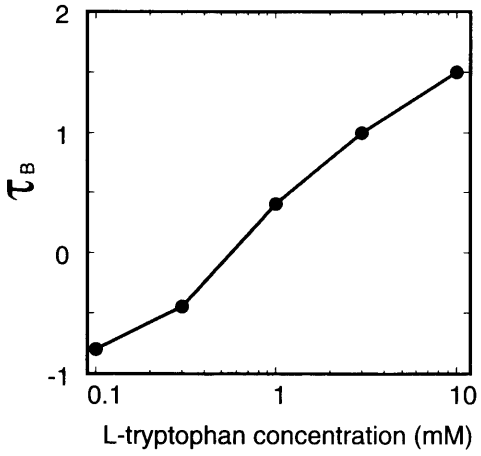

Fig.7 The calculated value of the τ scale of bitter taste for L-tryptophan.

4. 考察および今後の課題

従来の科学分析機器は主として，化学構造の違いの高感度検出を追い求めてきた．これは，重要なことであり，数多くの成果を生み出している．しかしながら，味覚センサはこれとは異なる立場に立っている．つまり，化学物質と生体膜の相互作用を測定するというものである．５つの味とは，化学物質と生体膜の相互作用の違いを反映しており，脂質／高分子膜を用いる味覚センサはその相互作用をかなり再現しているものと考えられる．本研究では，味覚センサのアミノ酸に対する応答を調べ，基本味との比較を行った．相関係数を調べることにより，Ｌ－トリプトファンが苦味物質キニーネに極めて近い相関を示すことが味覚センサの応答電位より確かめられた．このことは，人間の官能に合致した出力を与えることができることを示している．また，苦味を呈するＬ－トリプトファンの苦味強度を，専門家あるいは味に敏感な多数の被検者に頼る官能検査によらず，応答電位に主成分分析を施すことにより簡単に数値化できる可能性を示すことができた．ただ，今回の研究ではＬ体のアミノ酸のみを用いており，その限りにおいて味覚センサの応答から味質を再現することができた．

しかしながら，Ｌ－トリプトファンのＤ体は甘味を呈し，以前の実験[5]ではこれらの光学異性体の味の識別では，似通った応答しか得られなかった．このように，光学異性体の味質の違いの検出，複合味を呈するアミノ酸への対応，あるいはここでは示さなかったが，人工甘味料アスパルテームが苦味の特徴を示すなど検討中の課題もある．しかしながら，アミノ酸に対して系統的な応答電位を検知できる味覚センサを使い，あるいは膜インピーダンスの測定[7]を行うなど他の方法と組み合わせることにより，これらの課題も解き明かされていくであろう．

また，アミノ酸の味受容に関しては，特異的なタンパク質が存在するという説が信じられているが，前にも述べたように，味細胞の味受容メカニズムやアミノ酸が複合的な味を呈する理由についてはまだ明らかにされていない．従って，味覚センサを使用し，他の味質について調べることはアミノ酸の味受容メカニズムを探るうえで

も重要と考えられる.

参 考 文 献

1) K. Toko:Taste sensor with global selectivity, *Mater.Sci. Engin.*, **C4**, 69–82 (1996)
2) K. Toko : Electronic sensing of the taste of beer and other foodstuffs, *IEEE IEDM Tech. Digest*, 143–148 (1995)
3) K. Toko, T. Murata, T. Matsuno, Y. Akiyama, K. Sato and K. Yamafuji : Taste map of beer by a multichannel taste sensor, *Sens. Mater.*, **4**, 145–151 (1992)
4) K. Toko, T. Iyota, Y. Mizota, T. Matsuno, T. Yoshioka, T. Doi, S. Iiyama, T. Kato, K. Yamafuji and R. Watanabe:Heat effect on the taste of milk studied using a taste sensor, *Jpn.J.Appl.Phys.*, **34**, 6287–6291 (1995)
5) Y. Kikkawa, K. Toko, T. Matsuno and K. Yamafuji : Discrimination of taste of amino acids with a multichannel taste sensor, *Jpn.J.Appl.Phys.*, **32**, 5731–5736 (1993)
6) T. Indow:An application of the τ scale of taste:Interaction among the four qualities of taste, *Psych.J.*, **5**, 347–351(1969)
7) K. Toko, H. Akiyama, K. Chishaki, S. Ezaki, T. Iyota and K. Yamafuji : Detection of taste substances using impedance change in lipid/polymer membranes, *Sens. Mater.*, **9**, 321–329 (1997)