

味覚センサを用いた本格焼酎の味の評価に関する研究

中原 徳昭

2 0 0 6

# 目次

目次	I
略語	IV
緒論	1
第1章 本格焼酎に含まれる無機成分の定性・定量	10
第1節 序章	10
第2節 実験方法	12
第1項 市販本格焼酎サンプルおよびサンプルの調製	12
第2項 高周波誘導プラズマ (ICP) 発光分析による定性分析	12
第3項 イオンクロマトグラフィーによる定量分析	12
第4項 定量分析結果の解析	13
第3節 実験結果	14
第4節 考察	16
第5節 小括	16
第2章 味覚センサによる本格焼酎の味の識別	17
第1節 序章	17
第2節 実験方法	19
第1項 市販本格焼酎サンプルおよびサンプルの調製	19
第2項 味覚センサ測定	20
第3節 実験結果	25
第1項 合成基準サンプルの作成	25
第2項 味覚センサによる本格焼酎の識別 (主成分分析)	28
第3項 味覚センサによる本格焼酎の識別 (クラスター分析)	32
第4節 考察	34
第5節 小括	37

第3章 味覚センサを用いた本格焼酎における「酸味」の評価	38
第1節 序章	38
第2節 実験方法	39
第1項 味覚センサ測定	39
第2項 官能評価	39
第3項 官能評価：順位法による市販いも焼酎の「酸味」評価	40
第4項 酢酸濃度の異なるいも焼酎サンプルの調製	40
第5項 pHの測定	40
第6項 有機酸の測定	41
第3節 実験結果	42
第1項 酢酸添加焼酎におけるセンサ応答	42
第2項 市販いも焼酎における化学分析値と官能評価およびセンサ応答	43
第4節 考察	46
第5節 小括	46
第4章 味覚センサを用いた本格焼酎における「エタノールの味」の評価	47
第1節 序章	47
第2節 実験方法	48
第1項 官能評価	48
第2項 口中温度変化のモデル実験	49
第3項 味覚センサ測定	50
第3節 実験結果	51
第1項 エタノール濃度の識別とその「苦味」に関する評価	51
第2項 カテゴリ尺度法によるエタノール溶液の味の検出	52
第3項 エタノール溶液による口内の温度変化	55
第4項 エタノールの濃度に応答するセンサの特定	58
第5項 各種アルコール類に対するセンサ応答	61
第4節 考察	62

第5節 小括	65
第5章 本格焼酎における「まろやかさ」の評価	66
第1節 序章	66
第2節 実験方法	68
第1項 サンプルのアルコール濃度の調整	68
第2項 官能評価：処理の異なるいも焼酎のトライアングルテスト	68
第3項 粒度分布測定	68
第4項 香味成分分析用いも焼酎のろ過	69
第5項 GC分析条件	69
第6項 味覚センサ測定	69
第3節 実験結果	70
第1項 処理の異なるいも焼酎における味の違い	70
第2項 本格焼酎における油性成分の粒度分布	70
第3項 ろ過による成分変化	72
第4節 考察	75
第5節 小括	76
総括	77
謝辞	81
文献	82



## 略語

AFP	Across fiber response pattern
ASIC	Acid sensing ion channel
CC-SIT	Cross cultural smell identification test
CPA	Change of membrane potential caused by adsorption
DHA	Docosahexaenoic acid
DOPP	Diethylphenyl phosphonate
ENac	Epithelial sodium channel
FAT	Fatty acid transporter
FID	Flame ionization detector
GC	Gas chromatography
GTP	Guanosine triphosphate
HCN	Hyperpolarization-activated cyclic-nucleotide-gated channel
ICP	Inductively coupled plasma
LL	Labeled line
mGluR4	Metabotropic glutamate receptor
NPOE	2-Nitrophenyloctyl ether
O/W	Oil in water
PROP	6- <i>n</i> -Propylthiouracil
PC	Principal component
PTC	Phenylthiocarbamide
T1R3	Taste receptor, type1, member3
T2R	Taste receptor, type2
TDA	Tetradecyl alcohol
TRP	Transient receptor potential
TRPM8	Transient receptor potential cation channel, subfamily M, member 8

TRPV1      Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 1  
TRPV2      Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 2  
W/O        Water in oil

## 緒論

「おいしさ」とは、「食品を摂取したとき、快い感覚を引き起こす性質」(JIS Z 8144-1990)と定義されている<sup>1)</sup>。一般的な『快』(pleasure)とは、「好ましい刺激」、欲求の充足から感じる「心地よさ」、諸活動に伴う「意識の楽しい状態」あるいは「愉快、有頂天、歡喜、うれしさのような特殊な種類の気分」のことを示すが、食における『快』の状態とは、「どの味とはいえない無数の味の弱い成分が融合した味の広がり、まろやかさ、持続性」といわれている<sup>2)</sup>。食品の一次機能は、適正な栄養補給であるが、「人は口から食べられる間、人間としての品位と尊厳をもって生きられる。」<sup>3)</sup>といわれるように、「おいしい」ということ、つまり口を介して食品を摂取すること自体が、体を生き生きとさせ、生きる喜びを感じさせる<sup>4)</sup>。

「おいしさ」には五感すべてが関わっているが、その階層序列は、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚の順であり、後に行くほど重要と考えられている。食品の外観は重要だが、見かけが良いだけの食品は期待を裏切る。調理の時の音は食欲を刺激し、咀嚼音には食品の組織構造が反映するため、食品の実質的価値を表す。香りは味と協調して快・不快を決定し、味は有害物質や栄養素の存在を示すシグナルとして生存に関わる食品の選択、摂取を支配する。また、ここでの触覚は、食感のことであり、体性感覚(触覚・圧覚・温覚・冷覚・痛覚・運動感覚など)と内臓感覚が関係する。通常、触覚を刺激せずに味覚が引き起こされることはなく、また好ましい味を求めることが嘔吐行為を引き起こすことから、食感と味覚を切り離して考えることは出来ない<sup>25)</sup>。

味覚は、水や唾液に溶けた味物質が味蕾を刺激することによって引き起こされる。ヒトでは、舌乳頭および軟口蓋、咽頭、喉頭および食道の上皮組織に味蕾が存在し、全体で約7,000個あるといわれている。舌の味蕾は、前方2/3の茸状乳頭および後方1/3の葉状乳頭と有郭乳頭に存在し、40~70個の味蕾細胞で構成されている。(図1)哺乳類の味蕾細胞は電子顕微鏡像の特徴から細長い紡錘形のI~III型細胞と基底(IV型)細胞の4種類に分類されており、I~III型はいずれも味孔内まで細胞突起を伸ばしている。I型(暗調)細胞は先端微絨毛に味孔内へ分泌される物質の顆粒を含む。II型(明調)細胞

は、核が丸く、細胞の短径が大きめである。Ⅲ型（中間調）細胞は、神経終末と求心性シナプス結合を形成し、有芯と無芯のシナプス小胞を含む。Ⅲ型細胞だけが典型的な化学シナプス構造を有することから、この細胞が受容細胞として働いていると考えられてきた。しかし、近年の分子生物学的研究によりⅡ、Ⅲ型共に味の受容機構に関与していると考えられている。

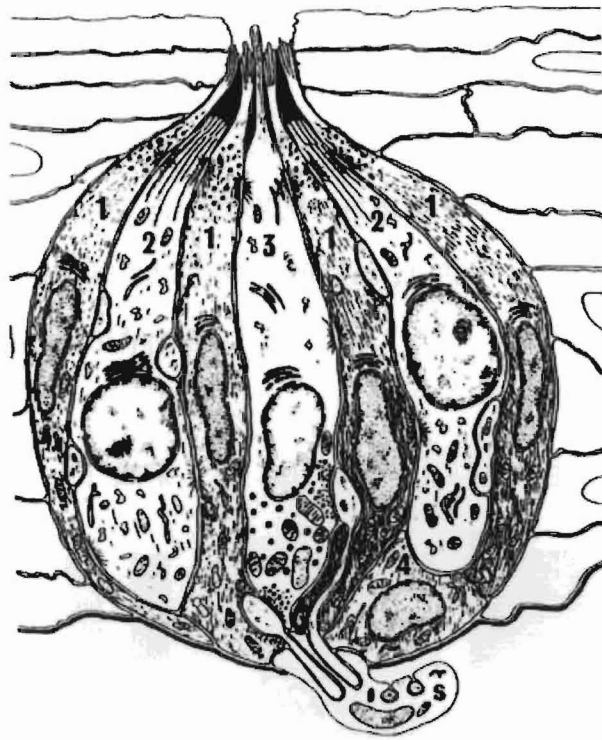


図1 味蕾の模式図

1：Ⅰ型（暗調）細胞，2：Ⅱ型（明調）細胞，3：Ⅲ型（中間調）細胞，4：基底細胞

味蕾の味細胞が受容した味の情報は、活動電位（インパルス）として味覚神経を通り、大脳皮質味覚野に送られる。この味覚情報伝達のしくみとして大きく三つの考え方が提唱されており、その中でも有力なのがアクロスファイバーパターン（Across fiber response pattern：AFP）説とラベルドライン（Labeled line：LL）説である。AFP説は、多数の神経線維間の応答、つまりインパルスの発生パターンの違いで味情報が送られるとする説であり、ラットの味覚神経線維の多くが、複数の基本味に応答することに由来している。

一方 LL 説は、神経線維の一本一本に役割分担があり、基本味のうちいずれかの味情報を伝えるとする考え方である。サル、チンパンジーではこちらの説が有力である。味細胞においても一つの細胞が一つの味に応答するのか、複数の味に応答するのか、同じような議論が行われているが、双方共に結論はまだ出ていない<sup>6,8)</sup>。

味を基本味に分類することに絶対的な基準があるわけではないが、基本味という概念は現実的に極めて有用であり、ギリシャの哲学者アリストテレスの7基本味説に始まり、現在では5基本味説が一般的である。5つの味には、甘味、酸味、苦味、塩味および旨味があるが、甘味、塩味、旨味は栄養素を示すシグナルとして、酸味、苦味は腐敗物や毒物などの有害物を示すシグナルとして受容するように発達してきたと考えられている<sup>9)</sup>。味を『快』の視点からみると、甘味以外の味質はそれ自身『快』ではないが、コーヒーの苦味やアルコールの味など生得的に好まれない味の中には、後天的に強い嗜好を引き起こす可能性のある味が存在する<sup>9)</sup>。

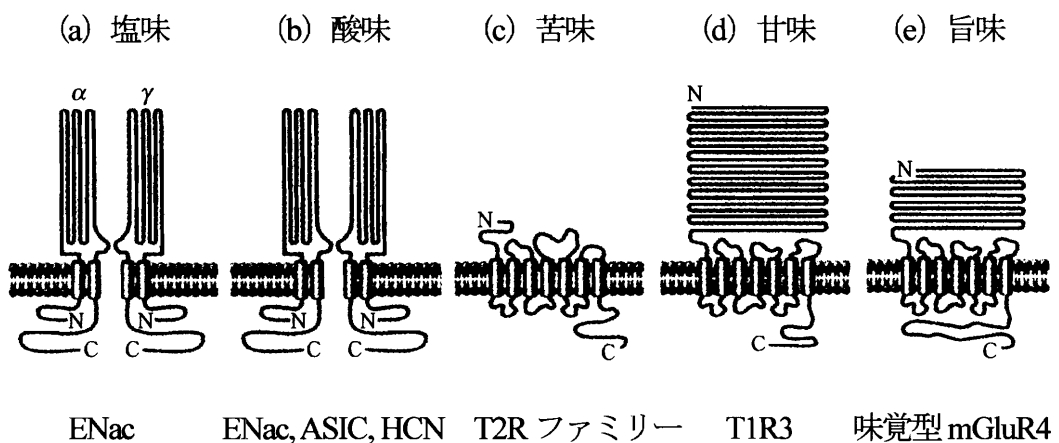


図2 5基本味の受容体<sup>10)</sup>

ENaC : Epithelial sodium channel, ASIC : Acid sensing ion channel,

HCN : Hyperpolarization-activated cyclic-nucleotide-gated channel,

T2R : Taste receptor, type2, T1R3 : Taste receptor, type1, member3

mGluR4 : Metabotropic glutamate receptor

味覚受容体は大きく分けて Guanosine triphosphate (GTP) 結合蛋白質共役型受容体 (甘味, 苦味, 旨味) とイオンチャネル型受容体 (塩味, 酸味) に大別される (図 2) が, 近年, 温度受容に関わる Transient receptor potential (TRP) チャネルがカプサイシンによる辛味<sup>11)</sup>やメントールによる冷涼感<sup>12)</sup>などの受容体としても機能していることが報告されている。(図 3) カプサイシンの辛味を受容する Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 1 (TRPV1) は, そのアミノ酸配列から 6 回の膜貫通型非選択性イオンチャネルであることが明らかとなっており, 43°C 以上の熱や酸 (プロトン) によって活性化され, 痛みを惹起する。カプサイシンが, この TRPV1 に作用すると, その活性化温度閾値が約 43°C から約 35°C にまで低下することから, 体温 (約 37°C) によって TRPV1 が活性化され, 灼熱感や痛みを感じるようになる<sup>13)</sup>。この TRPV1 は, エタノールによっても活性化温度閾値が低下し, 濃度の高いアルコールが喉に灼熱感をもたらす原因と考えられている<sup>14)</sup>。

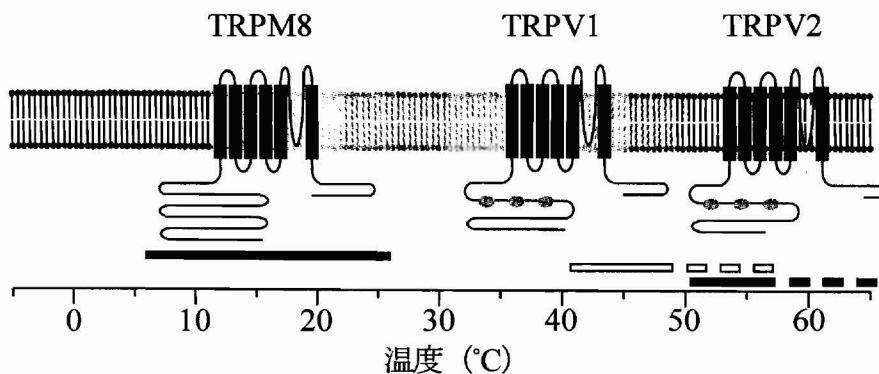


図 3 カプサイシンとメントールの受容体 (Mckemy et al.,2002<sup>12)</sup> を一部改変)

TRPM8 : Transient receptor potential cation channel, subfamily M, member 8

TRPV1 : Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 1

TRPV2 : Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 2

食品の温度に対する受容は食感に分類されるが、味との関連性について100年以上も前から数多くの報告が見られる。比較的多くの報告において、4基本味（甘味、苦味、酸味、塩味）は室温からヒトの体温付近（22～34℃）の温度で提示されたとき最も敏感になり、それよりも低い温度や高い温度で提示されると鈍くなるというV字型の傾向を示すといわれている。しかし、甘味以外において、それらと必ずしも一致しない結果も報告されており、舌温度変化による感覚のトランスダクション変化や温度刺激に対する味覚神経の応答にも連動することから、未だ結論には至っていない<sup>15)</sup>。

近年、食品、楽器、自動車、景観などの設計、生産に人の感性を反映させる試みが行われ、いろいろな分野の学会においても「感性」や「アメニティー」をキーワードとする研究発表が行われている。食においては、「食品感性工学」として「おいしさ」や「食嗜好」を何らかの理工学的手法により計測することで、再現性、客観性の高い定量的データを収集し、評価するシステムの確立が望まれている。このシステムが確立されれば、食品産業分野での新商品開発や生産管理に有用な情報を提供できると共に、ユビキタス・ネットワークを介して一般消費者にそのデータベースを提供することも可能となる<sup>16,17)</sup>。食品感性工学的手法には、従来の官能評価をはじめ心理学、感覚生理学、分析化学、生体情報計測などが挙げられるが、物理化学的計測手法として将来最も重要と考えられている手法の一つにセンシングデバイスがある。外観、温度、音などに関しては、カメラ、温度計、マイクロホンといった形で物理的センシングが可能となっているが、化学感覚である味や香りの計測には、複数の化学物質を総合的に検知し、評価する、いわゆる化学的センシングが必要とされる。近年、これら化学的センシングデバイスにあたる味センサや匂いセンサが開発され、「おいしさ」のスケール確立に向けて活用されるようになってきた。特に、九州大学の都甲らを中心に1980年代から開発が開始された味覚センサは、各味質に対し、異なる応答を示す脂質膜センサを複数種そろえ、その出力から味質、味強度を判定するマルチチャネル味覚センサ（図4）として市販されており、現在も後味を測定する Change of membrane potential caused by adsorption (CPA) 測定や「香り水」による香り測定など様々なアイデアを取り入れながら進化し続けている<sup>18)</sup>。



図4 マルチチャネル味覚センサ：味認識装置 SA402B

酒の歴史は古く、最新の報告では約9000年前の中国において、既に飲用されていた証拠が見つかっている<sup>19)</sup>。酒の主成分は、酒精すなわちアルコールである。アルコールとは、化学的には直鎖および脂環炭化水素の水素を水酸基で置換したヒドロキシ化合物の総称であるが、歴史的に単にアルコールといえばエタノールを指し、純粋なアルコールも水溶液も共にアルコールと称することが習慣となっている。エタノールは、脂肪族飽和アルコール類中、炭素数2の1価第一アルコールである。無色透明な揮発性液体で、特有な芳香を有し、口に含むと灼けるような刺激がある<sup>20)</sup>。水とエタノールは、共に酸素原子と水素原子が結合した水酸基を持っているため、分子レベルでもよく混ざり合うと考えられていた。しかし、エタノール溶液における分子間振動スペクトルを観測した結果、水分子は水集団（水クラスター）として、エタノール分子はエタノール集団（エタノールクラスター）として存在しており（図5）、分子レベルでは混じり合わないことが報告されている<sup>21)</sup>。



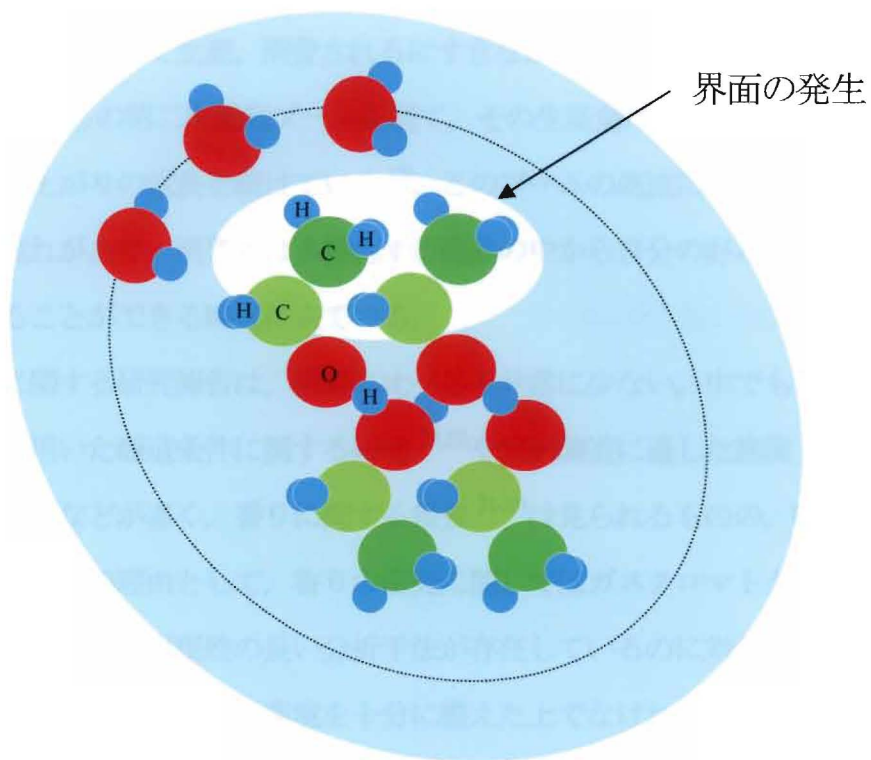


図5 エタノールポリマーが水溶液中でつくるシェル構造の模式図

近年、分子科学の分野において水溶液中の分子のふるまいを研究しようという試みが活発化してきているが、このように常識とされていることで、正しく理解されていないことはまだまだ多く、水溶液のミクロな構造に関しては未だ不明な点が数多く残されている。

本格焼酎も、清酒とならび日本を代表する酒類の一つである。焼酎の製法は、13～14世紀の中国や東南アジアがその起源とされており、日本へは14世紀頃、琉球王国と交易の盛んであったシャム国（現在のタイ国）から沖縄へ伝来したというのが定説である。沖縄に伝わった焼酎は、泡盛として15世紀中頃には定着し、奄美大島を経て16世紀初頭、鹿児島へ上陸、以降宮崎地方や人吉地方へ伝播したといわれている<sup>22)</sup>。焼酎の中でも「穀類又はいも類、これらの麴、水及び財務大臣の定めるその他の物品（約50品目）を原料として発酵させたものを単式蒸留機により蒸留したもの」だけが「本格焼酎」と表示することができ、鹿児島のいも焼酎、球磨地方の米焼酎、壱岐地方の麦焼酎、宮崎

のそば焼酎，奄美大島限定の黒糖焼酎，沖縄の泡盛の6種類が主である。本格焼酎は，これまで南九州において生産，消費されるにすぎなかったが，1980年代の第一次焼酎ブーム，2003年からの第二次焼酎ブームを経て，その生産量は525,000 klに達しており，現在でも右肩上がりの成長を続けている<sup>23)</sup>。このブームの底流には消費者の確固とした本物志向の流れがあり，消費者は多様化する商品の中から自分の好みに応じたものを自由に選択することができる時代に来ている。

本格焼酎に関する研究報告は，清酒に比べると非常に少ない。中でもコメやムギなど様々な原料を用いた醸造条件に関する研究<sup>24,25)</sup>や焼酎醸造に適した麹菌<sup>26,27)</sup>，酵母菌に関する研究<sup>28-30)</sup>などが多く，香りに関する報告<sup>31-33)</sup>は見られるものの，味に関する報告は皆無である。その理由として，香りの研究に関してはガスクロマトグラフィー (GC) に代表される客観的で再現性の良い分析手法が存在しているのに対し，味の評価手法としては官能評価しかなく，その環境を十分に整えた上でなければ，正確性，再現性に欠けるといった欠点があるためと考えられる。また，GCなどの化学分析では，本格焼酎を構成する個々の成分やその含量を知ることはできても，数100種類以上も存在する各成分の閾値やそれに伴う味への寄与率，相互作用までを解析することは極めて困難である。

そこで今回，本格焼酎の味に関する研究を行うにあたり，ヒトの基本味閾値に対応して設計され，成分間の相互作用を質的に分類，情報とする化学的センシングデバイス；味覚センサを使用し，(散布図など) 個々のサンプルの特徴を視覚的に，よりわかりやすく表現することのできるシステムの構築を目的とした検討を行った。第1章では，本格焼酎の味に直接的，間接的に影響を与えていると考えられているにもかかわらず，泡盛以外では全く報告のない無機成分について，市販の本格焼酎を対象に定性および定量分析を行った。第2章では，味覚センサによる本格焼酎の味の測定を行うため，各種本格焼酎の識別を可能にし，再現性を向上させるための合成基準サンプルの使用およびその組成について第1章の結果を基に検討を行った。また，従来 of 食品の香味に関する研究においては，化学分析のみ，もしくは官能評価のみの報告が主であった。しかし，ヒトの感覚量を見逃した形で食品の香味を論じることは意味が無く，また官能評価のみで

はその信頼性を確保するために多くの時間と労力を必要とする。そこで、第3章では、本格焼酎における「酸味」について、官能評価と化学分析に味覚センサを組み合わせた解析を行い、本格焼酎の「酸味」に選択的に応答するセンサの特定を行うことで、簡易かつ正確にヒトの味覚に近い評価を行うための検討を行った。第4章では、本格焼酎の主成分であるエタノールに注目し、本格焼酎に含まれる濃度においてエタノールがヒトにどのような味質および感覚を与えるのかについて官能評価を軸に検討を行った。また、そのエタノールの味に選択的に応答するセンサの特定を行うと共に、本格焼酎に含まれる陰イオン成分およびエタノールを含むアルコール類との相互作用について分子科学論的考察を行った。第5章では、食における『快』の状態の一つ、「まろやかさ」について、今後の展望も含め本格焼酎における考察を試みた。以下に本論で得られたこれらの次第を詳細に論述する。

## 第1章 本格焼酎に含まれる無機成分の定性・定量

### 第1節 序章

無機成分は、食品の味に最も関連が深い成分であるといわれている。食品中の Na/K バランスにおいては、Kを多く含むのが一般的であるが、Naが多くなると食品は美味しくなるとされている<sup>34)</sup>。塩化ナトリウム (NaCl) は、塩味 (食塩味) の代表であるが、このような味がするのは NaCl のみであり、同じ Na 塩でも Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> や Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> などは NaCl とは全く違う味がする。また、MgSO<sub>4</sub> (にがりの成分) のような塩は、一般的に苦味を呈し、塩の陽イオンおよび陰イオンの原子量が大きくなるほど、苦味が増す傾向にあるといわれている<sup>35)</sup>。

無機成分の詳細な分析を行い、合成エキスのオミッショントテストにより、その呈味に果たす役割が明らかにされたのは、ズワイガニが最初である。これら無機成分の中でも Na および Cl の影響は大きく、Na の欠如により、旨味、甘味等が消失し、Cl の欠如により無味に近くなることが報告されている。これは、食塩の共存によりアミノ酸、糖などの味覚強度が著しく増強されるためであり、減塩食がおいしくないのもこのためである<sup>36)</sup>。また、水の味に関する研究も古くから行われており、「おいしい水研究会」(厚生労働省) から提出されている「水の味をおいしくする要件」には、Ca や Mg をはじめ、Na, K などの無機成分が挙げられている<sup>37)</sup>。

酒造りにおいても水は、極めて重要な役割を果たしており、灘の宮水など銘醸地には必ずといってよいほど良質な水が存在し、酒質に対して直接的、間接的に影響を与えるといわれている<sup>38)</sup>。本格焼酎は、蒸留により留出してきた揮発性成分を冷却、回収した蒸留酒であるため、不揮発性である Na や Ca といった無機成分は含まれていないはずである。しかし、醸造設備や原酒の希釈 (割水という) に用いる醸造用水からの混入があるため、全く含まれていない訳ではない。特に泡盛に関しては既報<sup>39)</sup>のとおり、貯蔵に用いる素焼きの陶器から無機成分が溶出するといわれている。しかし、1980年代の泡盛に関する報告以降、本格焼酎の無機成分に関する報告はほとんど見られず、特に陰イオ

ン成分に関する報告は皆無である。

本章では、本格焼酎の味に関する研究を行うにあたり、その味に影響を与えていると考えられる無機成分について定性および定量分析を行った。

## 第2節 実験方法

### 第1項 市販本格焼酎サンプルおよびサンプルの調製

サンプルとなる本格焼酎には、平成14年度出荷石数上位33社に記載<sup>40)</sup>されているメーカーで製造されたものを中心に一般的に市販されている麦焼酎4種類、米焼酎4種類、いも焼酎5種類、そば焼酎3種類、黒糖焼酎4種類および泡盛4種類の計24種類を使用した。

サンプルのアルコール濃度の測定は、密度比重計 DA-300（京都電子工業：京都）に行った。このため、本文中のパーセント表記は全て容量%（v/v）に統一した。

### 第2項 高周波誘導プラズマ（ICP）発光分析による定性分析

本格焼酎に含まれる無機成分の定性分析は、ICP発光分析装置を用い、23成分について行った。装置は、ICP発光分析装置 SPS1500VR（セイコー電子：千葉）を使用し、測定条件は、高周波出力：1.3 kw；トーチ：石英トーチ；ネブライザ：ガラス同軸ネブライザ；ネブライザガス流量：0.4 kg/cm<sup>3</sup>；プラズマガス流量：17 L/min；補助ガス流量：0.3 L/min；観測高さ：9.6 mとした。標準液には、ICP Multi Element Standard IV23 元素（MERCK：ドイツ）を用いた。サンプルの前処理として、測定する本格焼酎100 mlに含まれるエタノールをエバポレーターにて除去し、超純水（和光純薬：大阪）を用いて再び100 mlに定容したものを測定に用いた。

### 第3項 イオンクロマトグラフィーによる定量分析

本格焼酎に含まれる陰イオン成分及び陽イオン成分の定量は、イオンクロマトグラフィーを用いて行った。装置は、イオンクロマトグラフ DX-500（日本ダイオネクス：大阪）、送液ポンプモジュール：グラジエントポンプ GP-50（日本ダイオネクス：大阪）、検出器モジュール：電気化学検出器 ED-40（日本ダイオネクス：大阪）を使用した。陰イオン分析の条件は、ガードカラム：IonPac AG12A（4×50 mm）；カラム：IonPac AS12A（4×200 mm）；サプレッサー：ASRS-ULTRA4-mm；溶離液：AS12A（2.7 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）

0.3 mmol/L NaHCO<sub>3</sub>) ; 検出器 : 電気伝導度計とし、標準液には、陰イオン混合標準液IV 7種混合 (関東化学 : 東京) を用いた。陽イオン分析の条件は、ガードカラム : IonPac CG12A (4×50 mm) ; カラム : IonPac CS12A (4×200 mm) ; サプレッサー : CSRS-ULTRA 4-mm ; 溶離液 : CS12A (20 mmol/L CH<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>H) ; 検出器 : 電気伝導度計とし、標準液には、陽イオン混合標準液II 6種混合 (関東化学 : 東京) を用いた。

#### 第4項 定量分析結果の解析

結果の解析には、平均値ではなく中央値 (Median) を採用し、基本統計量を視覚的に要約するための箱ひげ図 (図 6) を用いて表した<sup>41,42)</sup>。つまり、得られたデータを昇順に並べ替え、真ん中に位置する数値を中央値 (箱の中の白線)、小さい方から数えて25%、75%に位置する値 (パーセンタイル : 箱の両端) をそれぞれ第1四分位点、第3四分位点とした。また、四分位偏差 (第3四分位 - 第1四分位 : データの50%が含まれる範囲) の1.5倍のところまで第1四分位点、第3四分位点から「ひげ」のついた線を引き、それぞれ下内境界点、上内境界点とした。ただし、最大値や最小値が境界点よりも各四分位点に近い場合は、最大値、最小値を境界点とした。また、境界点よりも大きい、または小さいデータは外れ値としてシンボル (×) 表示をした。この箱ひげ図を見ることでデータのバラツキ (四分位偏差) や外れ値の検出を容易にすることができる。

### 第3節 実験結果

本格焼酎に含まれている無機成分を推定するため高周波誘導プラズマ (ICP) 発光分析による23種類の無機成分 (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn) の定性分析を行った。その結果, Na, Ca, K および Mg が主成分であり, その他の成分は痕跡程度であった。これらの成分は, 通常の醸造用水に多く含まれている成分<sup>43)</sup>と同様であったことから, イオンクロマトグラフィーによる定量分析においては, 醸造用水に含まれる無機成分を中心に, 陽イオン6成分 ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) および陰イオン7成分 ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) について測定を行った。その結果を, 図6および表1に示した。(黒糖焼酎の1種類のみ  $\text{Na}^+$  含量が, 極端に高いものが存在していたため, 図6の  $\text{Na}^+$  含量の外れ値から除外した。)

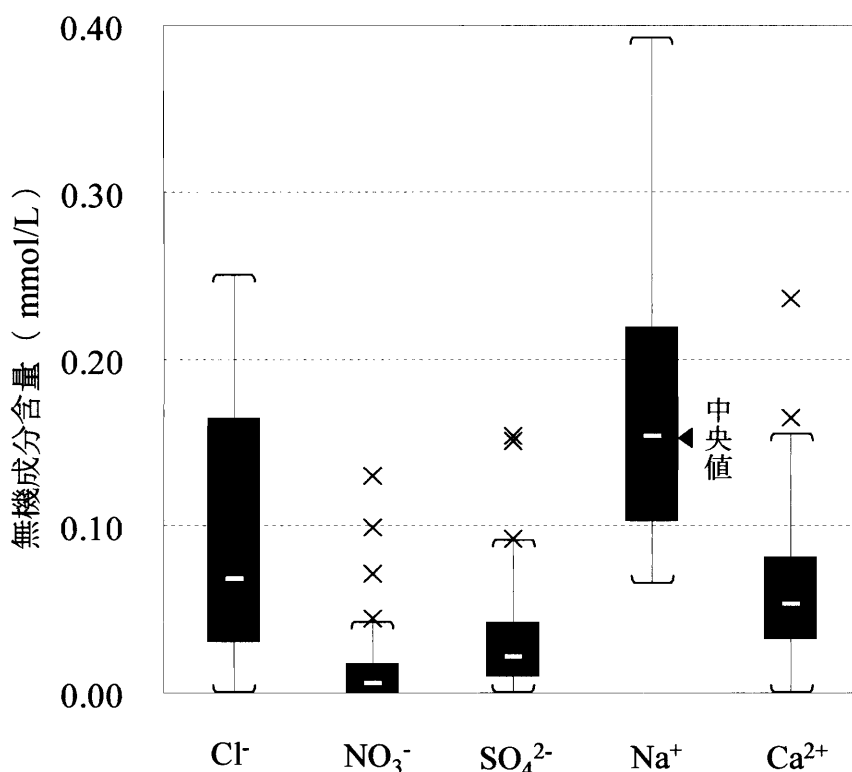


図6 本格焼酎 (アルコール濃度 15.0%) に含まれる無機成分の箱ひげ図



表1 本格焼酎（アルコール濃度 15.0%）に含まれる無機成分（mmol/L）

	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
サンプル数	24	24	24	24	24
平均	0.093	0.020	0.037	0.197	0.065
中央値	0.069	0.006	0.022	0.154	0.053
標準偏差	0.078	0.033	0.041	0.198	0.052
四分位偏差	0.134	0.018	0.033	0.116	0.049
最大値	0.251	0.130	0.154	1.098	0.236
上内境界点	0.251	0.044	0.091	0.393	0.155
第3四分位	0.165	0.018	0.043	0.219	0.082
第1四分位	0.031	0.000	0.010	0.103	0.033
下内境界点	0.000	0.000	0.000	0.066	0.000
最小値	0.000	0.000	0.000	0.066	0.000

陽イオン成分では、Na<sup>+</sup> が最も多く、次いでCa<sup>2+</sup>が多く含まれていた。サンプルによっては若干のK<sup>+</sup>およびMg<sup>2+</sup>が検出されたものもあったが、本格焼酎の種類による傾向は見られなかった。また、陰イオン成分では、Cl<sup>-</sup>が最も多く、その他NO<sub>3</sub><sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>以外のピークはほとんど検出されなかった。

## 第4節 考察

陰イオン成分については、これまで報告がないため定かではないが、陽イオン成分組成に関しては、玉城らの報告<sup>39)</sup>に一致していた。

サンプルの中には同じメーカーで製造され、別銘柄で販売されている焼酎も含まれていたが、ほぼ同じ無機成分組成を示し、醸造用水とその醸造用水を用いて希釈（割水）を行った本格焼酎製品の無機成分組成を比較したところ、 $\text{Na}^+$ 以外の成分でほぼ一致していた。このことから、本格焼酎の無機成分のほとんどが、希釈（割水）用の醸造用水に由来し、市販の本格焼酎の無機成分のバラツキは、概ね醸造用水の無機成分含量のバラツキに由来するものと考えられた。一方、 $\text{Na}^+$ に関しては、計算値よりも実測値の方が高い傾向にあった。今回は、市販の本格焼酎をサンプルとして用いているため、その製法などの詳細を知ることはできないが、この原因として製造設備や本格焼酎を充填するガラスビンからの溶出が考えられ、今後検討が必要である。

## 第5節 小括

市販の本格焼酎に含まれる無機成分を測定した結果、陽イオン成分では $\text{Na}^+$ と $\text{Ca}^{2+}$ が、陰イオン成分では、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ および $\text{SO}_4^{2-}$ が主に含まれていることが明らかとなった。また、醸造用水に含まれる無機成分含量との比較から本格焼酎に含まれる $\text{Na}^+$ 以外の無機成分のほとんどが希釈（割水）用の醸造用水に由来することが示唆された。

## 第2章 味覚センサによる本格焼酎の味の識別

### 第1節 序章

本格焼酎など酒類の味の評価においては、現在でも「きき酒」と呼ばれる官能評価が主流である。しかし、官能評価は直接、食品の味を知ることができる一方、かなりの集中力を要するうえ、パネルの個人差や体調またはきき酒を繰り返すことによるいわゆる「慣れ」に左右されやすく、官能評価を行う環境を十分に整えた上でなければ正確性、再現性にかけるなどの欠点がある。一方、ガスクロマトグラフィー (GC) に代表される化学分析では、食品を構成する成分やその含量を知ることができるが、数100種類以上も存在する成分がどのように影響し合い、その食品の味を構成しているかを知ることが極めて困難である。これまでも酒類の味を評価する手法としてプロファイル法や Cross cultural smell identification test (CC-SIT) 法など新たな官能評価法の導入や化学分析による成分分析値と官能評価を組み合わせ、統計的手法により解析する方法等が試みられてきた<sup>44-61)</sup>。また、現在では匂いを測定する「匂いセンサ」、味を測定する「味覚センサ」と呼ばれるバイオセンサの開発が行われており、特に「味覚センサ」では既にビール<sup>62)</sup>やコーヒー<sup>63,64)</sup>、日本酒<sup>65-68)</sup>、醤油<sup>69)</sup>、ミネラルウォーター<sup>70)</sup>、牛乳<sup>71)</sup>などの飲料食品の微妙な味の識別が可能となりつつある。

味覚センサは、多種類の脂質・高分子膜をトランスデューサとして用い、サンプルより得られた膜電位の変化をコンピュータで解析し、味の認識を行うインテリジェントセンサである。このセンサは、従来のセンサの持つ「高選択性」という概念とは異なる「広域選択性」とでも呼ぶべき概念を持つセンサであり、個々の物質選択性はあまり重視せず、我々の味覚同様、個々の物質の相互作用を質的に分類し、情報としている<sup>72)</sup>。また、この味覚センサに官能評価の結果を繋ぎ合わせ、酸味や苦味、渋味、コク、さわやかさといったこれまで言葉でしか表現し得なかったものを定量・数値化し、楽譜ならぬ「食譜」を作ろうとする試みが九州大学の都甲らを中心に行われている<sup>73-77)</sup>。

本章では、まず味覚センサによる本格焼酎の味の測定を行うにあたり、各種本格焼酎

の識別を可能にし、再現性を向上させるための合成基準サンプル（校正液）の組成について第1章の結果を基に検討を行った。次に一般的に市販されている41種類の本格焼酎を用い、各種本格焼酎の微妙な味の識別が可能か否かについて検討を行った。

## 第2節 実験方法

### 第1項 市販本格焼酎サンプルおよびサンプルの調製

サンプルとなる本格焼酎は、平成14年度出荷石数上位33社に記載<sup>40)</sup>されているメーカーで製造されたものを中心に一般的に市販されているものを使用した。種類、サンプル番号及び産地（県）は以下の通りである。

【麦焼酎】	サンプルNo.	産地	サンプルNo.	産地
	m-1	宮崎	m-5	福岡
	m-2	大分	m-6	鹿児島
	m-3	大分	m-7	宮崎
	m-4	宮崎		

【米焼酎】	サンプルNo.	産地	サンプルNo.	産地
	k-1	宮崎	k-6	熊本
	k-2	熊本	k-7	大分
	k-3	東京	k-8	鹿児島
	k-4	熊本	k-9	熊本
	k-5	熊本		

【いも焼酎】	サンプルNo.	産地	サンプルNo.	産地
	i-1	宮崎	i-7	鹿児島
	i-2	鹿児島	i-8	鹿児島
	i-3	宮崎	i-9	鹿児島
	i-4	鹿児島	i-10	鹿児島
	i-5	鹿児島	i-11	鹿児島
	i-6	宮崎	i-12	鹿児島

【そば焼酎】 s-1, s-2, s-3, s-4 (産地：宮崎)

【黒糖焼酎】 b-1, b-2, b-3, b-4 (産地：鹿児島)

【泡盛】 a-1, a-2, a-3, a-4, a-5 (産地：沖縄)

これらの本格焼酎は、実際に飲用（6：4のお湯割りなど）する際を想定し、蒸留水にてアルコール濃度15%に調製したものをサンプルとして使用した。また、サンプルのアルコール濃度の調製は、密度比重計 DA-300（京都電子工業：京都）を用いて行った。このため、本文中のパーセント表記は全て容量%（v/v）に統一した。

## 第2項 味覚センサ測定

味覚センサは、インテリジェントセンサーテクノロジー（神奈川）の味認識装置 SA402B を用いた。本装置は、本体、センサ部および制御・データ処理部（パーソナルコンピュータ）より構成されている。基本的には、8本の異なる人工脂質膜を貼り付けた味センサプローブと2本の参照電極をサンプル溶液につけ込んだ際に得られる脂質膜電位をA/D変換してコンピュータに取り込み、数学的処理により解析する装置である。

（図7）脂質膜は、ポリ塩化ビニルを支持材料とし、可塑剤と脂質を混合した厚さ約200 $\mu\text{m}$ のフィルム状をしている。今回の測定には、基本的な8種類の脂質膜センサ（表2）を使用した。

表2 センサ脂質膜の組成

極性	センサ名	脂質	可塑剤
マイナス	AC0	Palmitic acid	DOPP*
	AT0	Potassium tetrakis(4-chlorophenyl)borate	NPOE**
	AN0	Phosphoric acid di-n-decyl ester	DOPP*
	CN0	Phosphoric acid di-n-decyl ester	NPOE**
プラス	C00	Tetradodecyl ammonium bromide	NPOE**
	AE1	Tetradodecyl ammonium bromide	DOPP*
ブレンド	AAE	Triethylmethylammonium chloride Phosphoric acid di-(2-ethylhexyl)ester	DOPP*
	0E1	Tetradodecyl ammonium bromide	DOPP*
		Tetradecyl alcohol(TDA)	

DOPP\* : Dioctylphenyl phosphonate

NPOE\*\* : 2-Nitrophenyloctyl ether

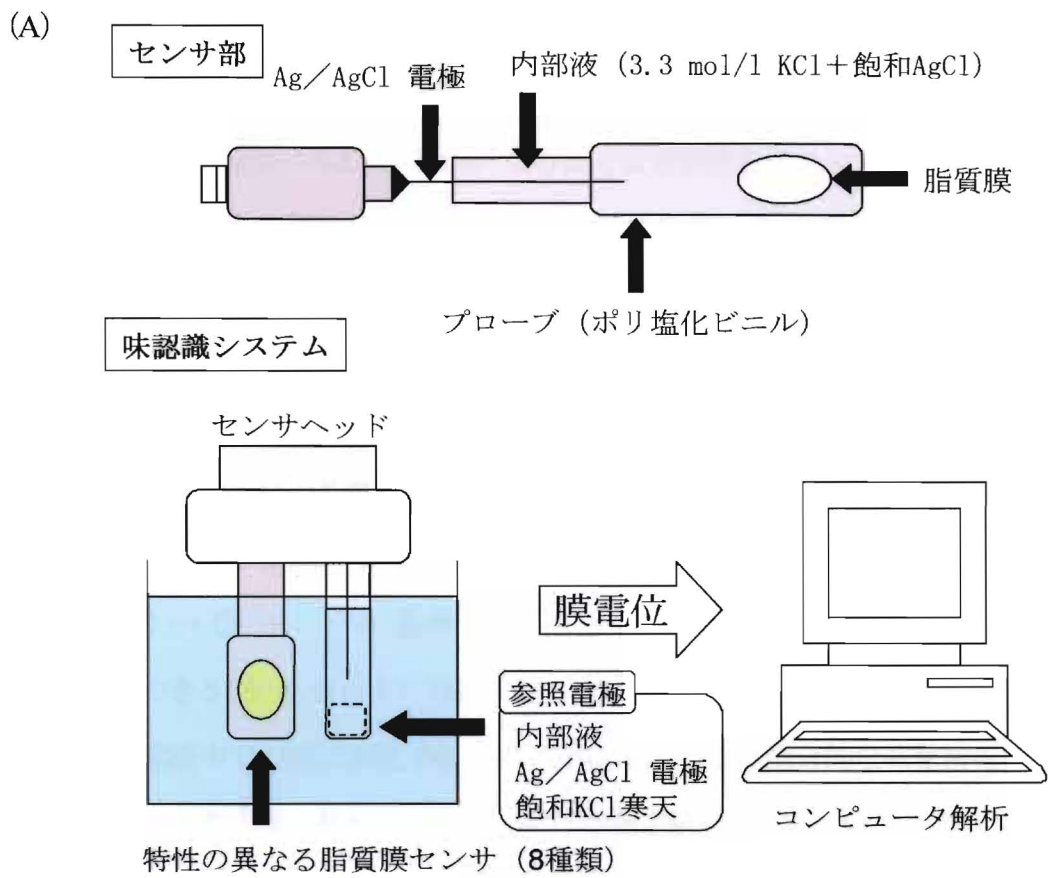


図7 味覚センサの概要

測定方法は、Change of membrane potential caused by adsorption (CPA) 測定を採用した。測定に使用した各種溶液の組成を表 3 に、測定手順の概略を図 8 に示した。センサは測定する前日から基準液に浸し、プリコンディショニングをしたものを使用した。

測定開始後、安定液 (B : 基準液と同組成) に 30 秒間浸漬し、その 30 秒後の測定値と前測定値との誤差が  $\pm 0.5$  mV 以内になるまで安定判定を繰り返し行った。この安定判定における最終の測定値を  $V_r$  とした。次にセンサをサンプル溶液に 30 秒間浸漬し、その 30 秒後の測定値を  $V_s$  とした。二組の基準液 (F, G) を用いてそれぞれ 3 秒間ずつ 2 回、簡単に共洗いした後、CPA 値測定液 (H : 基準液と同組成) に 30 秒間浸漬し、その 30 秒後の測定値を  $V_r'$  とした。各種洗浄液 (C) を用いて 90 秒間、膜に吸着した成分を洗浄し、更に別の二組の基準液 (D, E) を用いてそれぞれ 30 秒間ずつ 2 回、洗浄液を洗い流した後、再び安定判定を行った。この一連の動作を 1 セットとし、基準サンプル (①)  $\rightarrow$  ②  $\rightarrow$  ③  $\rightarrow$  …  $\rightarrow$  基準サンプル (①)  $\rightarrow$  ②  $\rightarrow$  ③  $\rightarrow$  … という順序で、1 サンプルにつき 5 回 (5 セット) の繰り返し測定を行った。

サンプル溶液中での電位変化 ( $V_s - V_r$ ) を相対値、つまり総合的な味覚情報とし、CPA 測定液における測定値と最初の安定液における測定値の差 ( $V_r' - V_r$ ) を CPA 値、つまり吸着性の味覚情報とした。(図 9) CPA 測定とは、このように 1 本のセンサから、2 つの情報得られる測定法のことである<sup>78)</sup>。



表3 基準液・洗浄液の組成

溶液名	組 成
基準液	30 mmol/L KCl + 0.3 mmol/L 酒石酸
安定液	30 mmol/L KCl + 0.3 mmol/L 酒石酸
CPA値測定液	30 mmol/L KCl + 0.3 mmol/L 酒石酸
マイナス膜用洗浄液	30% エタノール + 100 mmol/L HCl
プラス膜用洗浄液	30% エタノール + 10 mmol/L KOH + 100 mmol/L KCl
ブレンド膜用洗浄液	30% エタノール + 100 mmol/L HCl

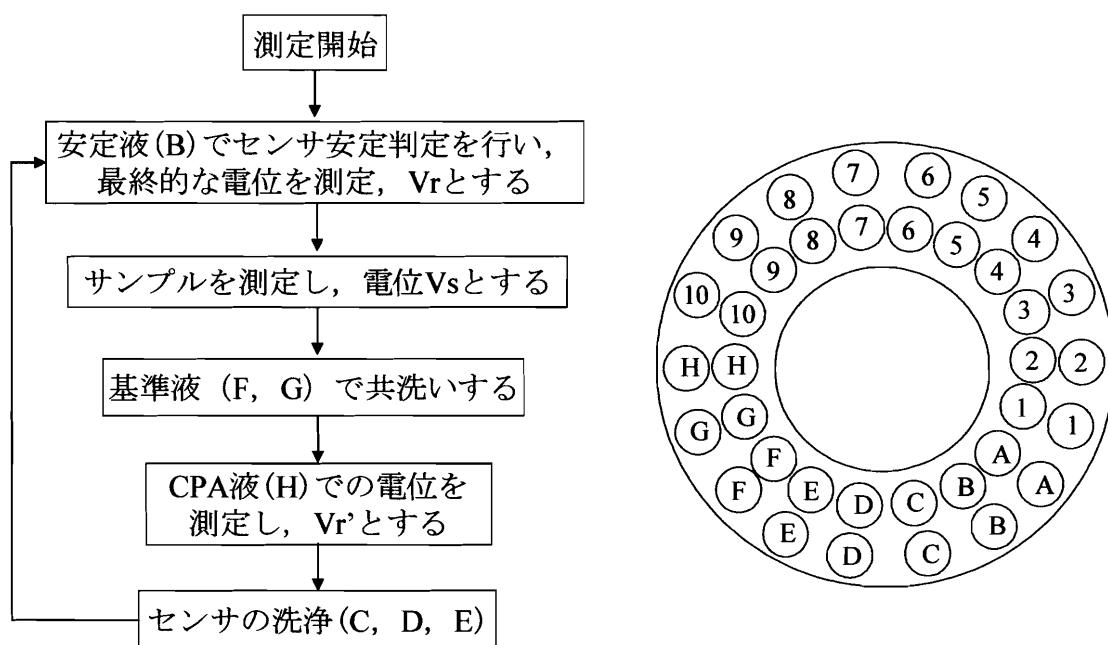


図8 CPA 測定手順および各種溶液配置図

A : 基準液 (センサ待機), B : 安定液, C : 各種洗浄液,  
 D~G : 基準液, H : CPA 値測定液, 1~10 : サンプル溶液

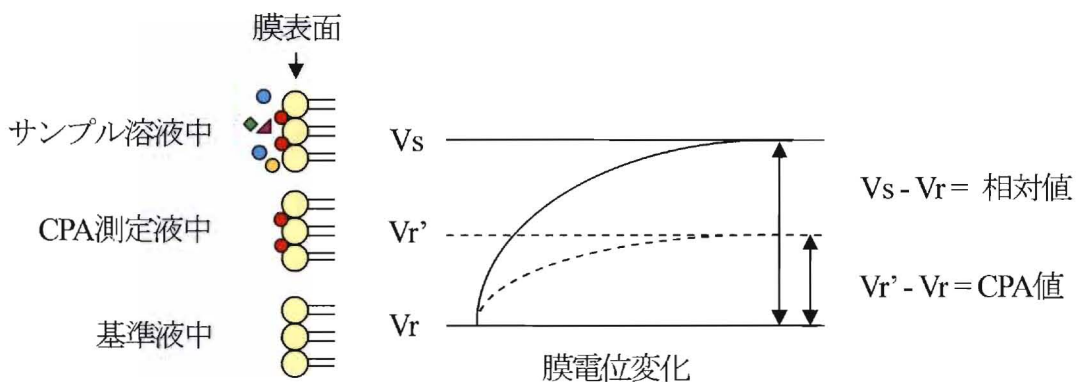


図9 各種溶液内における膜電位変化の模式図

●●● : 呈味成分    ● : 吸着性のある呈味成分

測定結果の解析は、5回の測定値のうち、後半3回の測定値について行った。最初に、基準サンプルの測定値を基に補正処理（基準サンプルの出力をゼロとして）を行い、その他のサンプルは基準サンプルに対する差分出力とした。次に、この補正処理データを用い、各センサの識別分解能を求めた。識別分解能は、 $\text{識別分解能} = \frac{\text{各サンプル内の測定誤差の平均二乗和} \times 100}{\text{サンプル群間のバラツキの平均二乗和}}$ と定義した。

この値が30以上のセンサはサンプルの違いを識別できていないセンサと判断し、以後の解析には使用しないことにした。つまり識別分解能が30のとき、その逆数の100倍

( $100/30$ )は約3.3となり、3サンプルまでならば、有意に識別できることを示す。通常の測定の場合、3つ以上のサンプルを用いるため、各サンプルを識別するためには、少なくとも識別分解能が30未満でなければならない。今回の解析では、識別分解能が30未満のセンサ出力を説明変数として、基準化したデータを用い、味認識装置SA402B専用の統計解析ソフトにより主成分分析<sup>79~81)</sup>を行うと共に、「EXCEL 多変量解析 Ver.5.0」

(株式会社エスミ：東京)にて、クラスター分析<sup>82)</sup>を行った。クラスター分析における原データの距離計算は、ユークリッド距離を、合併後の距離計算は最も実用的と言われているウォード法を用いて行った。

### 第3節 実験結果

#### 第1項 合成基準サンプルの作成

官能評価を行う際、微小な差を検知する場合は、対照となるサンプルを決め、この対照サンプルに十分舌を慣らし、かつ、対照サンプルと比較しながら差があるかどうかの評価を行う。センサで味を測定する際にも対照となるサンプルが必要であり、基準サンプルが、この官能評価における対照サンプルに相当する。測定結果を解析する際には、一点校正のため基準サンプルのセンサ出力をゼロとし、他のサンプルのセンサ出力を基準サンプルのセンサ出力に対する差分出力とした。通常は、測定対象となるサンプルのいずれかを基準サンプルとし、この基準サンプルの測定値を基に補正処理を行う。しかし、本格焼酎を基準サンプルとした場合、常に同じサンプルを用意することは不可能であり、各測定間の比較が出来ないなどの欠点が生じる。そこで、この欠点を補うため基準サンプルを以下の条件を基に合成した。その条件とは、①組成が単純で、常に同じ組成の合成基準サンプルを作成できること、②味覚センサ測定における応答がサンプルとなる本格焼酎の測定値に近いこと、の2点である。①の条件を満たすことはもちろん、②の条件を満たしていない合成基準サンプル、つまり測定対象となる本格焼酎の測定値からかけ離れた合成基準サンプルを用いた場合、差分出力は大きくなるものの実際のサンプル間の出力の差が検出し難くなる。そこで、前章で行った無機成分組成の測定結果ならびに既に明らかにされている本格焼酎の有機成分組成<sup>83)</sup>を参考にし、15%エタノール溶液を基本とした10数種類の成分の組み合わせから成る、約50種類の暫定合成基準サンプルを作成した。これら暫定合成基準サンプルを用いて市販の本格焼酎、代表として米、麦、いも、そば焼酎および泡盛を測定し、二つの条件を満たすべく、本格焼酎のセンサ出力との差ができる限り小さくなるように、成分組成の選定、成分濃度の調製を繰り返し行った。その結果、最終的に調製された合成基準サンプルの成分組成は、以下の通りである。

合成基準サンプル組成：

エタノール 15%、酢酸 5.0 mg/L、NaCl 10.0 mg/L、Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 1.8 mg/L

この合成基準サンプルを用い、各種本格焼酎の測定を行った際の各センサ出力を図 10 に示す。

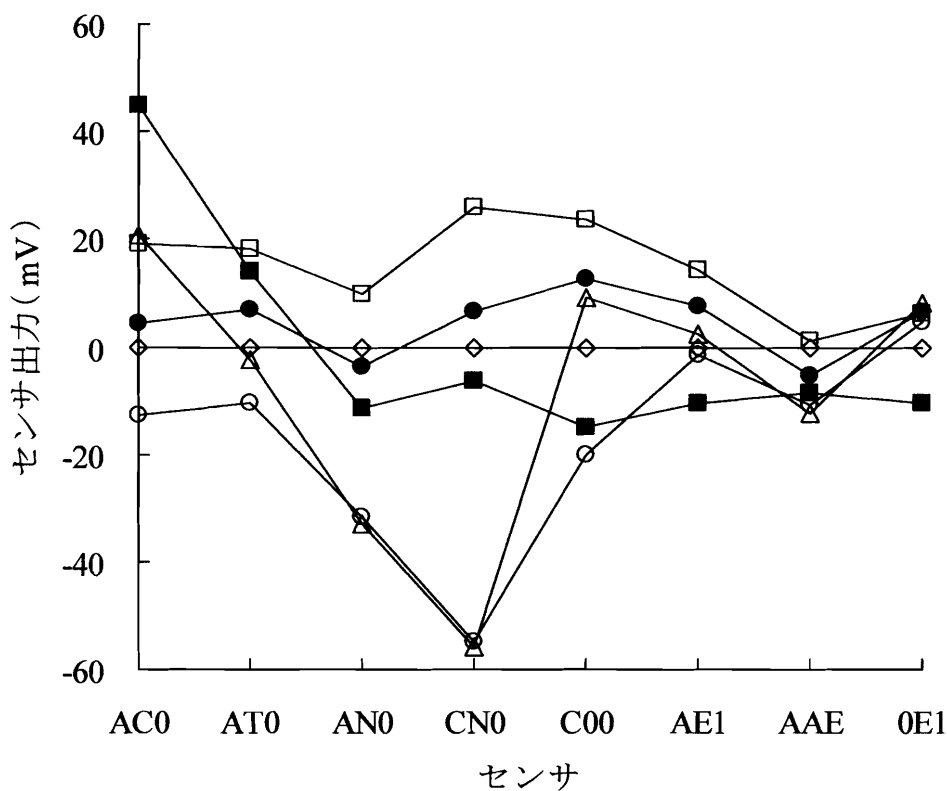


図 10 合成基準サンプルによる補正後の各センサ出力

◇：合成基準サンプル，△：麦焼酎，○：米焼酎，  
□：いも焼酎，●：そば焼酎，■：泡盛

このグラフは、合成基準サンプルのセンサ出力に対する差分出力で表しているため、合成基準サンプルの各センサ出力は、総てゼロに相当する。この合成基準サンプルに対して各種本格焼酎の各センサ出力が、ほぼ均等にプラス及びマイナス方向へ分散していることから、この合成基準サンプルは、市販の本格焼酎のセンサ出力に近づいており、②の条件、「合成基準サンプルのセンサ応答がサンプルとなる本格焼酎のセンサ応答に近いこと」をほぼ満たしていることが認められた。また、味覚センサは、ヒト味覚神経の AFP 説のように各センサから得られた情報をパターン認識し、味を識別する装置である。図

10の各種本格焼酎の応答パターンがそれぞれ異なることから、これらの本格焼酎の識別が可能であることが示唆された。

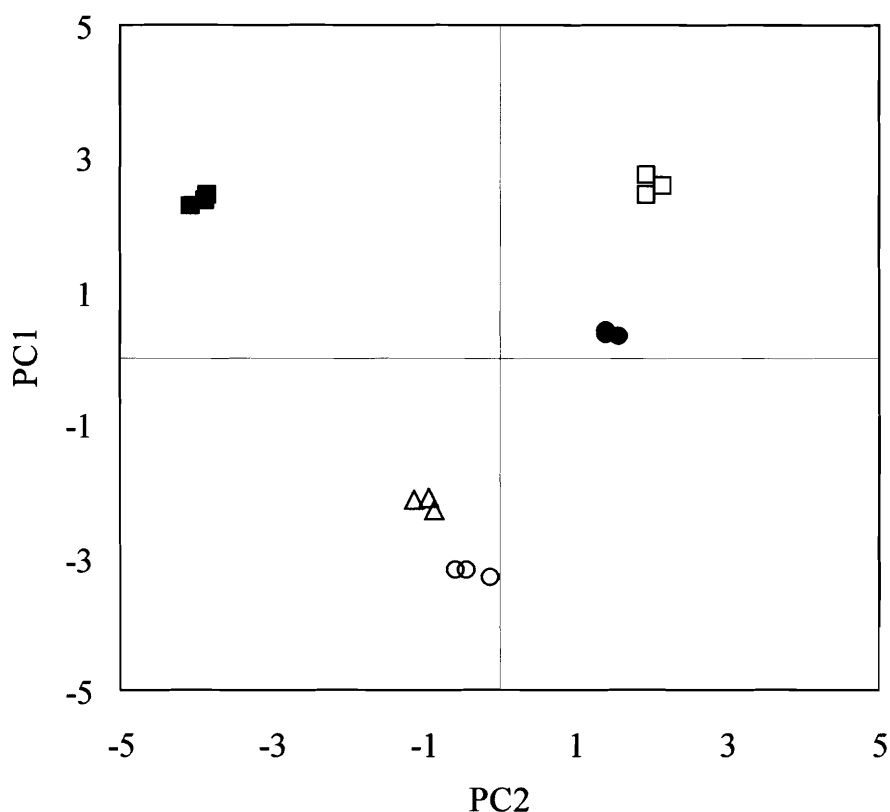


図 11 味覚センサによる繰り返し測定精度

Principal component 1 (PC1) : 第1主成分, Principal component 2 (PC2) : 第2主成分

△ : 麦焼酎, ○ : 米焼酎, □ : いも焼酎, ● : そば焼酎, ■ : 泡盛

また、主成分分析による3回繰り返し測定の結果を図11に示した。5種類の本格焼酎がお互いに離れたところに位置しており、しかも3回の測定値がほぼ同じ位置にあることから測定精度も十分であることが認められた。

## 第2項 味覚センサによる本格焼酎の識別（主成分分析）

このように組成の決定した合成基準サンプルを用い、市販本格焼酎41種類の味覚センサ測定を行った。本格焼酎に含まれる成分は、揮発性成分がほとんどであるため、当初は吸着性のある味覚情報は少ないのではないかと予想された。しかし、各センサの識別分解能（表4）を見ると、マイナス膜であるCN0センサのCPA値とブレンド膜であるAAE、0E1センサのCPA値以外は識別分解能が30未満であり、各本格焼酎を有意に識別していることがわかった。

表4 41種類の市販本格焼酎に対する各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	C00	AE1	AAE	0E1
相対値	1.81	9.28	3.99	3.03	4.74	20.05	12.67	7.46
CPA値	12.89	16.33	19.74	<b>43.20</b>	9.14	18.94	<b>185.76</b>	<b>187.68</b>

次に、センサから得られた相対値のみのデータ（変数8）および識別分解能が30以上であった3本のセンサを除く、5本のセンサのCPA値を加えたデータ（変数13）を基に主成分分析を行った。

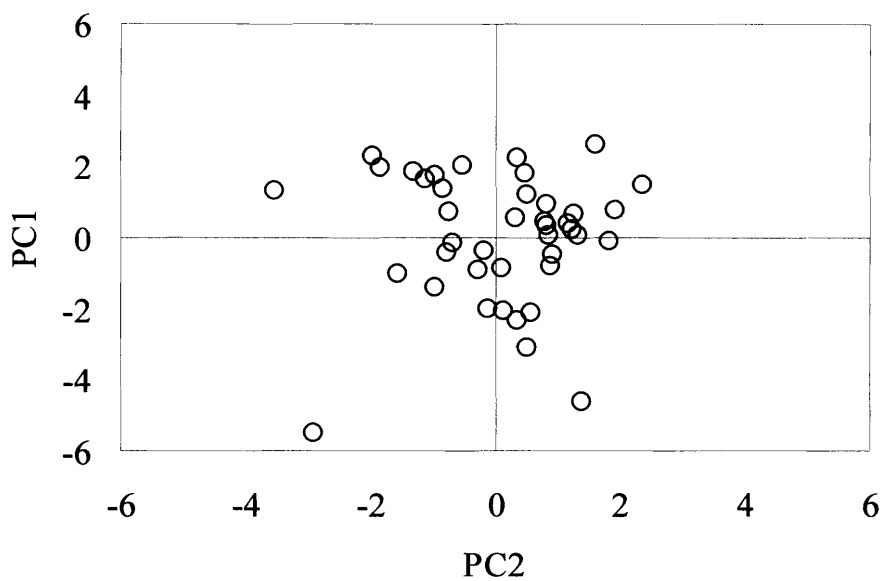
表5 主成分分析の固有値

		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
相対値のみ (変数：8)	固有値	3.18	1.95	1.14	0.34	0.27
	寄与率(%)	45.40	27.82	16.25	4.88	3.89
	累積寄与率(%)	45.40	73.22	89.47	94.35	98.25
相対値+CPA値 (変数：13)	固有値	4.60	3.82	2.42	0.66	0.59
	寄与率(%)	35.40	29.39	18.59	5.10	4.54
	累積寄与率(%)	35.40	64.79	83.38	88.49	93.03

主成分分析の固有値（表5）から、相対値のみのデータと相対値にCPA値を加えたデータとでは、どちらも3次元の情報を持っていることが認められた。また、CPA値を加えることで、PC1の寄与率が減少し、PC2とPC3の寄与率が増加していることから、CPA測定により情報量が増加することがわかった。更に、主成分のグラフを作成した場合、

相対値のみのグラフでは、プロットされた各サンプルに広がりが見られなかったのに対し、(図 12A) 相対値に CPA 値を加えたグラフでは良く分散しており、各種本格焼酎の特徴がより明確になった。(図 12B) このことより、本格焼酎の測定においても CPA 測定は有効な手段であり、CPA 測定を行うことで、センサから得られる個々のサンプルの情報量が増加することが認められた。

(A)



(B)

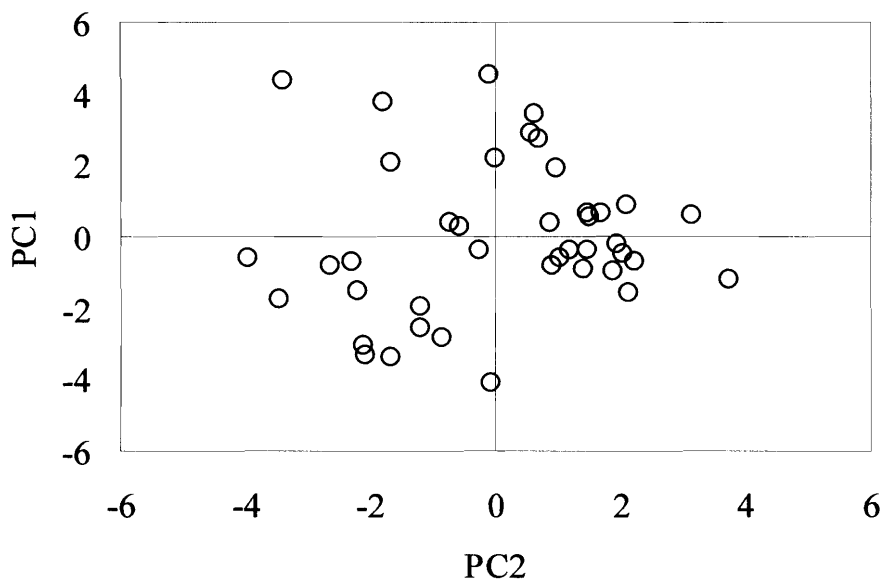


図 12 CPA 測定による情報量の増加

(A) 相対値のみ, (B) 相対値 + CPA 値

Principal component 1 (PC1) : 第 1 主成分

Principal component 2 (PC2) : 第 2 主成分



CPA 測定による詳細な主成分のグラフを図 13 に示す。この主成分のグラフでは、本格焼酎が原料別に分類されており、右上に常圧蒸留で味が濃厚なタイプのいも焼酎および泡盛が、左下の方には減圧蒸留で味が淡麗な麦焼酎および米焼酎がプロットされた。

そば焼酎および黒糖焼酎に関しては、サンプル数自体が少なく、一部クラスターを形成してはいるものの、他の本格焼酎に比べ、その製造方法に多様性が伺える結果であった。

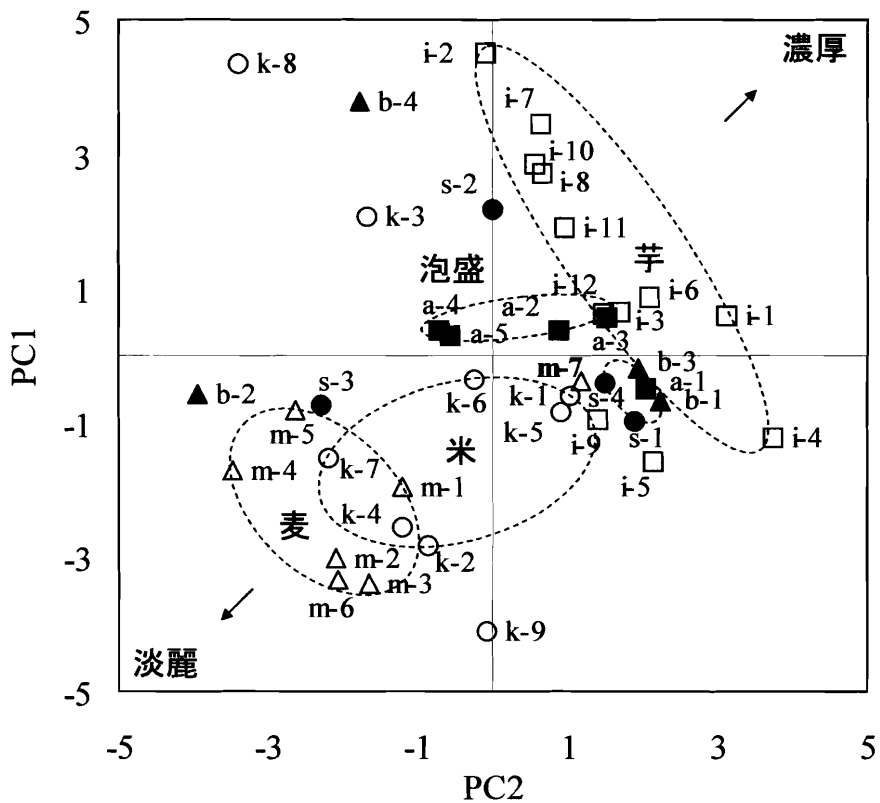


図 13 41 種類の本格焼酎の主成分分析

Principal component 1 (PC1) : 第 1 主成分

Principal component 2 (PC2) : 第 2 主成分

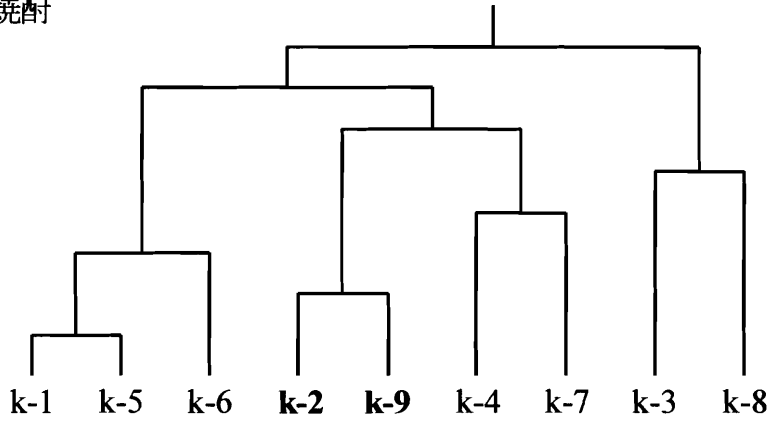
△ m : 麦焼酎, ○ k : 米焼酎, □ i : いも焼酎,

● s : そば焼酎, ▲ b : 黒糖焼酎, ■ a : 泡盛

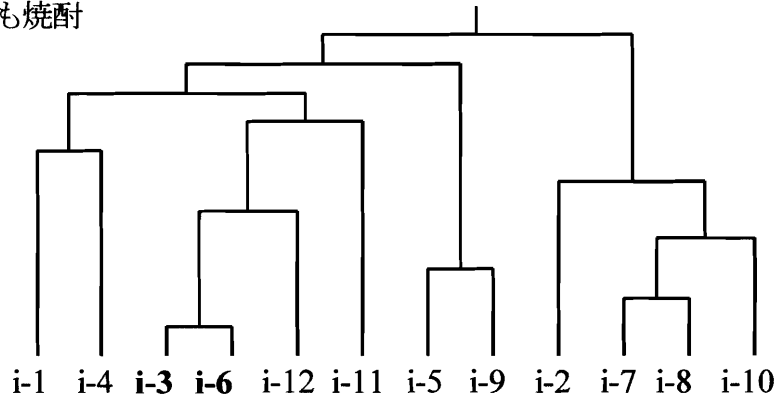
### 第3項 味覚センサによる本格焼酎の識別（クラスター分析）

主成分分析では、サンプルの分類を行い、全体の位置関係をおおまかに把握することはできるが、あくまでも分析者の主観に基づく分類しかできない。そこで、米、いも、麦焼酎について、それぞれ味覚センサ分析における各センサ出力データを用い、分析対象間の距離に基づき分析対象を分類するクラスター分析による分類を行った。図 14A の k-2 と k-9 は、同じメーカーで製造され、別銘柄で販売されている米焼酎である。また、図 14B の i-3 と i-6 も同様に同じメーカーで製造され、別銘柄で販売されているいも焼酎である。一方、図 14C の m-7 は、m-1 と同じメーカーで製造され、別銘柄で販売されている麦焼酎であるが、m-1 と同じ原料を用い、より濃厚な酒質を目指して製造法を変えたものである。図 13 の主成分分析の結果、他の同じメーカーの本格焼酎は、ほぼ同じ位置にプロットされていたが、m-7 に関しては、いも焼酎に近い、味の濃厚な位置にプロットされており、クラスター分析においても m-1 と良く差別化されていることが認められた。

(A) 米焼酎



(B) いも焼酎



(C) 麦焼酎

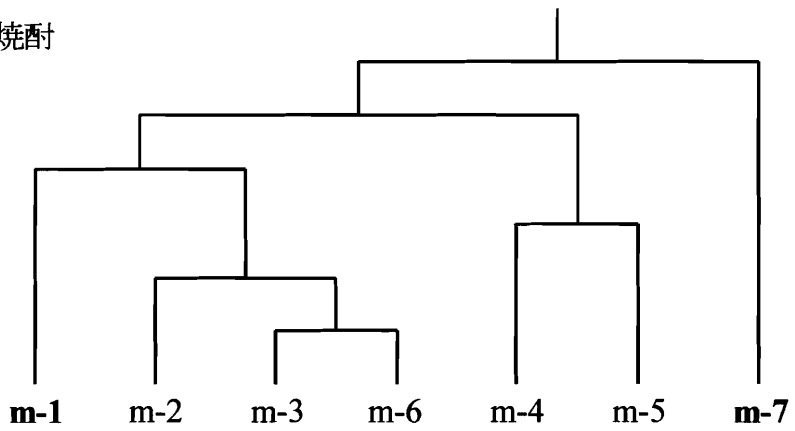


図 14 本格焼酎の原料別クラスター分析

#### 第4節 考察

前章で行った市販本格焼酎の無機成分組成の測定結果ならびに既に明らかにされている本格焼酎の有機成分含量<sup>83)</sup>を参考にし、合成基準サンプルとしての条件を満たすべく、成分組成の選定、成分濃度の調製を繰り返し行った。その結果、化学構造の異なる成分であっても応答するセンサの種類（応答パターン）が一致する場合のあることが示唆され、合成基準サンプルに総ての本格焼酎成分を網羅する必要のないことが明らかとなった。人の味覚においてアルカロイドであるキニーネとアミノ酸であるトリプトファンが同じ苦味を呈するように、味覚センサにおいても同じ味を呈する物質どうしは同じ応答パターンを示すことが明らかにされている<sup>84)</sup>。このことから、当初は成分含量が多いとされる高級アルコール類（Isoamyl alcohol など）やエステル類（Ethyl acetate など）、カルボニル化合物（Acetaldehyde など）等も添加し、組成の検討を行っていたが、①の条件の通り合成基準サンプルの組成は単純である方が好ましく、数100種類以上も存在する本格焼酎の香味成分すべてを網羅する必要がないこと、今後本格焼酎における香味成分の味への相互作用を検討する上で、合成基準サンプルに（醸造用水からの混入ではない、本格焼酎醪由来の）これら香味成分が含まれていない方が、各成分の添加確認試験において有利であることから、より単純な組成で②の条件を満たすべく、更に絞り込みを行った。イオンクロマトグラフィーによる定量分析において最も多く検出された $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ に関しては、基本的な塩味物質である $\text{NaCl}$ を採用することにした。 $\text{NaCl}$ の添加により、概してマイナス膜はプラスの方向へ（ $\text{Na}^+$ 応答）、プラス膜はマイナスの方向へ（ $\text{Cl}^-$ 応答）シフトする。また、味覚センサは、人の味覚同様、化学物質と生体膜の相互作用の違いを反映しており、膜の表面荷電密度の変化による膜と溶液の界面電位変化に敏感に応答する<sup>85)</sup>。酢酸は、本格焼酎に含まれる有機酸の主成分であるが、酢酸を添加することで溶液中の酸塩基平衡が変化すると共に酢酸の $\text{H}^+$ が、マイナス膜の親水基に結合し、膜の表面荷電密度を変化させ、プラス方向へシフトさせる。このため、酢酸は各センサ出力のバランスを保つ上で欠かせない成分の一つであると考え、合成基準サンプル成分に採用した。また、その他検出された $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等に関しては、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{CaSO}_4$

などを用いて検討を行ったところ、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ の添加により現段階で最も良いセンサバランスを示すことが明らかとなった。その理由として、各種本格焼酎を測定した際、極性がプラスのセンサ、C00 センサと AE1 センサでは、C00 センサのセンサ出力の方が各種本格焼酎サンプル間の差が大きく、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ の添加により C00 センサが敏感に応答し、プラス膜の応答をマイナス側にシフトさせる ( $\text{NO}_3$  応答) ことが認められたためである。以上の結果、合成基準サンプルの成分をエタノール、酢酸、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  に決定した。この決定した成分を基に、各種本格焼酎のセンサ出力との差が、最小になるように成分濃度の調製を繰り返し行い、決定したのが先の組成である。今回作成した合成基準サンプルの組成は、現段階において最良と思われるものを採用した。しかし、本格焼酎におけるセンサの特性自体、未知の部分が多く、その未知の部分を解明していくことこそが、今後の課題であると考えている。

主成分分析は多次元の情報を適度に圧縮し、数次元の情報にまとめる手法のことで、多くのデータの中からサンプルの特徴を抽出することが可能である。また、味の意味づけ (味の定量化) を行う場合は、情報量の多い方が有利であり、主成分のグラフを作成した際、個々のサンプルのプロットが分散していた方が、各サンプルの特徴を抽出しやすいと考えられる<sup>78)</sup>。主成分は、変数の数だけ抽出されるが、意味のある主成分を決める目安として固有値と累積寄与率が用いられる。この目安にはいくつかの考え方があるが、固有値が1以上、累積寄与率が80%を超えたところまでを意味あるデータとする考え方が一般的である<sup>80,81)</sup>。このことから、相対値のみのデータと相対値にCPA値を加えたデータとでは、どちらも3次元の情報があると考えられた。(表5) また、主成分分析においては、第1主成分に集約しきれなかった情報が、第2主成分へ、第2主成分に集約しきれなかった情報が更に第3主成分へと分割され、それぞれの主成分の寄与率は、その主成分が集約している情報量を表す。相対値のみでは、各センサから得られた情報が第1主成分に集中しているが、相対値にCPA値を加えることで、第1主成分と第2主成分に同等に分割されることが分かった。このことから相対値にCPA値を加えることにより、情報量が増加し、第2、第3主成分の寄与率が増加したと考えられる。よって、主成分のグラフを作成した場合、個々のサンプルの情報量の多いCPA値を加えたグラフ

の方が、相対値のみのグラフよりも、より分散したグラフになり、各サンプルの特徴を抽出しやすくなることが予想された。事実、相対値のみと相対値に CPA 値を加えた主成分のグラフを作成したところ、CPA 値を加えたグラフの方がよく分散しており、各種本格焼酎の特徴を抽出しやすくなった。(図 12) このことから、本格焼酎の測定においても CPA 測定は有効な手段であり、CPA 測定を行うことでセンサから得られる個々のサンプルの情報量が増加することが示唆された。

図 13 において、泡盛は、同じ米を原料とする米焼酎とは別のクラスターを形成していた。これは、泡盛が同じ米でもタイ米を用いた全麹仕込みであること、素焼の陶器で貯蔵を行うことなど、製造方法および貯蔵方法が異なることに由来すると考えられた。また、米焼酎の k-8 という焼酎の i-2 は、同じメーカーで製造された本格焼酎である。原料が異なるため第 2 主成分 (PC2) では、識別されているが、第 1 主成分 (PC1) では、ほぼ同じ位置にプロットされていた。今回は、市販の本格焼酎をサンプルとして用いたため、その製法などの詳細を知ることはできないが、同メーカーにおける製品の特徴が味覚センサによって検出されたと考えられる。

通常、新製品を開発する際には、官能評価を繰り返し、従来の製品との差別化を試みるが、官能評価では、表現が曖昧で、どの程度差別化されているかを具体的に表現することは難しい。一方、味覚センサでは、市販されている他社製品との味の違いを主成分分析による散布図や、クラスター分析による樹形図などを用いることで、視覚的に表現することが可能であり、新商品開発を行う上で有効な指標の一つとなり得る。また、この手法を応用することで、工場でのロット間差の確認や工場間での酒質の摺り合わせなど、工程管理にも充分応用可能と考えられる。

## 第5節 小括

味覚センサ測定のための本格焼酎用合成基準サンプルを作成し、各サンプルの測定値を補正することで、再現性良く本格焼酎の味を識別できることが示唆された。

市販の本格焼酎41種を味覚センサにて測定し、主成分分析を行った結果、原料別に分類でき、しかも味の濃淡まで散布図により視覚的に表現することができた。

味覚センサから得られたデータを数学的手法により解析することで、味の違いが明らかとなり、新商品開発や工程管理を行う上で有効な指標の一つと成り得ることが示唆された。

今回の試験の結果、他の食品同様、本格焼酎の味を客観的に評価する手法として味覚センサが極めて有効であることが確認された。

### 第3章 味覚センサを用いた本格焼酎における「酸味」の評価

#### 第1節 序章

本格焼酎は、蒸留酒であるため、揮発性成分以外は含まれておらず、(原酒の希釈に用いる醸造用水に含まれる成分や醸造設備に由来する成分は除く。)甘味を呈する糖質や旨味を呈するグルタミン酸などは含まれていない。しかし、本格焼酎の官能評価用語<sup>86-88)</sup>の中には、「苦味」、「酸味」はもちろん、「甘味」、「旨味」といった言葉が含まれており、本格焼酎の味を表現する用語として日常使用されている。通常の商品においては5基本味を生じる一般的な成分の存在が前提となるが、本格焼酎ではその前提は必ずしも当てはまらず、味の評価を行うにあたって、他の食品はもちろん、醸造酒<sup>89)</sup>とも考え方を異にする必要がある。

「酸味」は $H^+$ によって惹起される味といわれている。しかし、同じpHでも酸の種類により酸味強度の異なることが、官能評価や電気生理学的な実験によって明らかにされており、陰イオンがこの酸味強度の違いに影響を与えていると考えられている<sup>90-92)</sup>。

本格焼酎<sup>93)</sup>においても、この「酸味」を呈する様々な有機酸が生成されるが、蒸留過程において製品にまで移行する有機酸は、揮発性の酸、つまり酢酸が大部分である。このように「酸味」を呈する有機酸としては、ほとんど酢酸しか含まれていない本格焼酎においてもpH、酢酸濃度および官能評価における酸味強度の三者間に相関の見られない場合があり、本格焼酎の「酸味」が、単にpHや酢酸濃度のみによって決定されるものではないことが経験的に知られている。

従来の食品の香味に関する研究においては、化学分析のみ、もしくは官能評価のみの報告が主であった。しかし、ヒトの感覚量を見無視した形で食品の香味を論じることには意味が無く、また官能評価のみではその信頼性を確保するために多くの時間と労力を必要とする。そこで、本章ではヒトの基本味閾値に対応して設計され、成分間の相互作用を質的に分類し、情報とする味覚センサを用い、まず本格焼酎に含まれる酢酸の濃度に対応するセンサの選定を行った。更に、官能評価および化学分析値との比較を行いなが



ら、本格焼酎の「酸味」に選択的に応答するセンサの特定を行った。

## 第2節 実験方法

### 第1項 味覚センサ測定

味覚センサは、インテリジェントセンサーテクノロジー（神奈川）の味認識装置 SA402B を用い、第2章2節2項と同条件で測定および解析を行った。

### 第2項 官能評価

官能評価の方法は、基本的に食品科学工学会誌掲載の「食品ラボにおける官能評価」<sup>93)</sup>を参考に行った。各官能評価に用いるサンプルの提示は、パネルに先入観を与えないように配慮した。良く洗浄した無色透明のガラス製コップ（180 ml 容量）を使用し、サンプル量をほぼ同量（約 100 ml）とした。このガラス製のコップには、3桁の乱数コードを印字したテープを貼り付け、サンプルを区別できるようにした。提示するサンプル数は、パネルの感覚的疲労を考慮し、評価する特性が多い場合（カテゴリ尺度法）は 4 サンプル、特性が少ない場合（順位法）は、5 サンプルとした。供試温度および官能評価区域の温度設定は、空調設備にて行い、25～27°C 前後とした。官能評価の結果に影響が出ないように、サンプルに関する情報は与えず、評価方法のみを端的に伝えた。味のみの評価を行う場合、ノーズ・クリップ等を用い、香りの影響を排除したうえで官能評価を行うことがある。しかし、ストレスにより味の感受性、特に「苦味」に影響することも報告<sup>94,96)</sup>されているため、今回ノーズ・クリップ等は使用せず、リラックスした状態で評価を行ってもらった。ただし立ち香および含み香は評価の対象としないように指示した。官能評価の手順としては、提示されたサンプル 10-15 ml を口に含み、味を評価した後、吐き出すように指示した。この操作を数回繰り返し、次のサンプルに移る前には必ず水で口内をすすぐように、また疲労を感じないようパネル各人のスピードに応じて評価を行うように指示した。

### 第3項 官能評価：順位法<sup>97)</sup>による市販いも焼酎の「酸味」評価

サンプルには、第2章において味覚センサ測定に使用した市販のいも焼酎12種（アルコール濃度15%）のうち、宮崎県産2種（i-1, i-6）、鹿児島県産3種（i-4, i-5, i-12）の計5種を選択し、23から34歳の男女18名の醸造技術者をパネルとして酸味強度の小さいものから順に順位をつけてもらった。結果については、Friedman検定により有意性の確認を行った。また、どのサンプル間に差異があるのかを明らかにするため、ノンパラメトリック手法によるTukey型多重比較検定<sup>98)</sup>を行った。

### 第4項 酢酸濃度の異なるいも焼酎サンプルの調製

市販のいも焼酎をエタノール濃度15%に調整後（酢酸濃度:21 mg/L）、酢酸濃度が30, 50, 90, 170 および330 mg/Lになるように酢酸（和光純薬：大阪）を添加し、味覚センサ測定用サンプルとした。

### 第5項 pHの測定

非水溶媒中では、酸塩基平衡が水溶液とは異なるため水素イオンの解離状態も変化し、得られた起電力をpH値に変換することが出来ない<sup>99,100)</sup>。事実、pH 6.86の0.025 mol/Lリン酸塩pH標準液50 mlを用い、超純水およびエタノール（和光純薬：大阪）を加えて各エタノール濃度になるように100 mlに定容したサンプルのpH測定を行ったところ、図15のようにエタノール濃度の上昇に伴うpH測定値の上昇が認められた。本格焼酎もエタノールを含んでいるため、エタノール濃度が変化することでpH測定値も変化すると考えられる。そこで、今回は同じエタノール濃度に調整した本格焼酎サンプルについてpHメーターD-25（堀場製作所：京都）を用いて測定を行い、水素イオン活量の大小の指標としてpHを用いた。

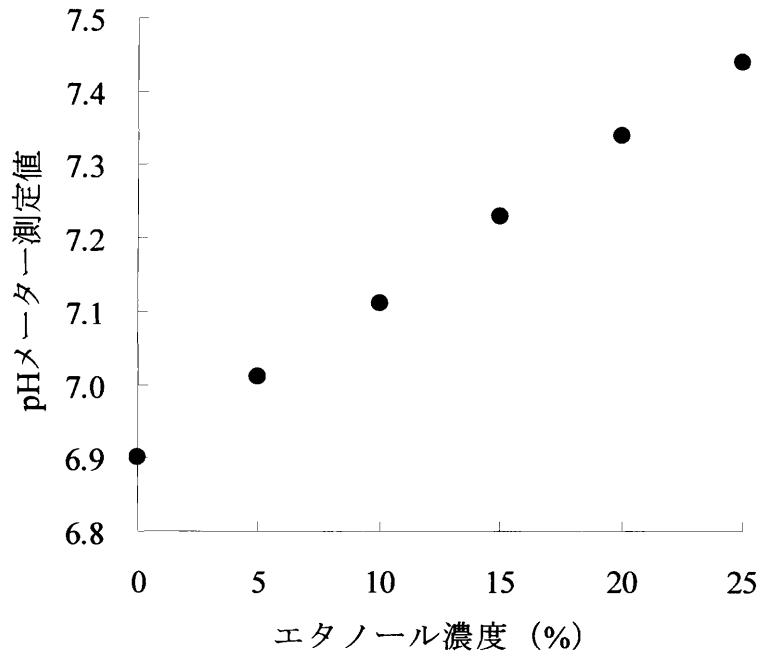


図15 水-エタノール混合溶媒系における pH 挙動

#### 第6項 有機酸の測定

本格焼酎に含まれる有機酸（酢酸）の測定は、高速液体クロマトグラフィーを用いて行った。装置は、有機酸分析システム（島津製作所：京都）を使用し、測定条件をガードカラム：Shim-pack SPR-H(G) (7.8×50 mm)；カラム：Shim-pack SPR-H (7.8×250 mm)；移動相：4 mM *p*-トルエンスルホン酸；反応液：4 mM *p*-トルエンスルホン酸，100 μM EDTA，16 mM Bis-tris；流量：0.8 ml/min；温度：40°C；検出器：電気伝導度検出器 CDD-10A とした。

### 第3節 実験結果

#### 第1項 酢酸添加焼酎におけるセンサ応答

酢酸濃度が 30, 50, 90, 170 および 330 mg/L になるように酢酸を添加したエタノール濃度 15%のいも焼酎を、味覚センサ測定に使用した。

表 6 酢酸添加焼酎に対する各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	C00	AE1	AAE	OE0
相対値	5.16	1.89	0.26	0.92	3.71	11.85	4.51	<b>47.78</b>
CPA値	15.36	9.97	<b>70.18</b>	<b>37.87</b>	<b>46.08</b>	<b>99.20</b>	<b>34.42</b>	<b>59.73</b>

各センサのデータから識別分解能（表 6）を算出すると、OE0 センサの相対値および AC0 センサと AT0 センサ以外のセンサの CPA 値において、識別分解能が 30 以上であり、これらのセンサは、酢酸添加による「酸味」を有意に識別出来ないセンサと判断し、本格焼酎の「酸味」に選択的に応答するセンサの候補から除外した。また、酢酸濃度を 30 mg/L に調整したいも焼酎を基準サンプルとし、このセンサ出力に対して補正処理を行った各センサ出力を図 16 に示した。最も大きく応答しているセンサは、AN0 センサと CN0 センサの相対値であり、ほぼ同じ挙動を示した。また、ヒトの味に対する応答感度は、濃度の対数に比例するという Weber-Fechner の法則に従う。味覚センサもヒトと同じような応答パターンを示すことが知られており<sup>101)</sup>、対数変換した酢酸濃度に対する各センサ出力の相関係数を求めると、一番低い C00 センサでも 0.888 と高い相関を示した。

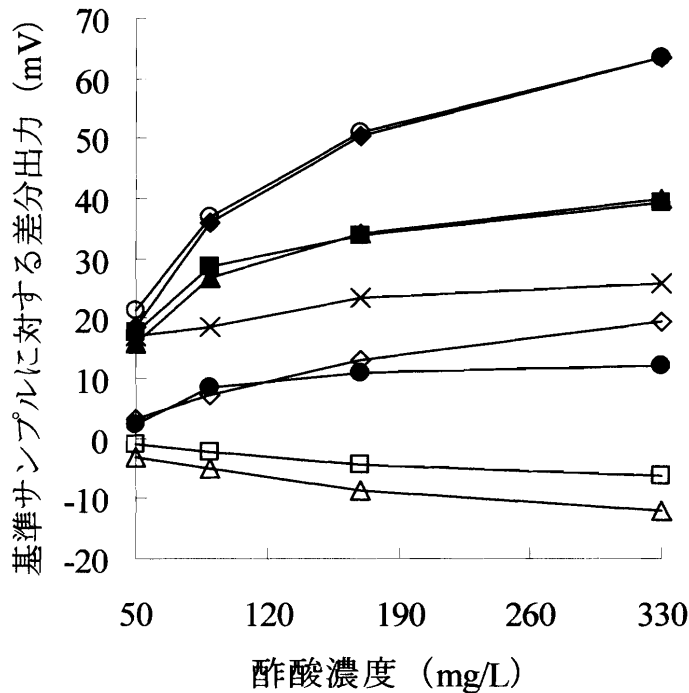


図 16 酢酸添加いも焼酎（アルコール濃度 15%）に対する各センサ応答

▲ : AC0, ■ : AT0, ◆ : AN0, ○ : CN0, × : C00, ◇ : AAE, ● : AE1,  
□ : cpa(AT0), △ : cpa(AC0)

## 第2項 市販いも焼酎における化学分析値と官能評価およびセンサ応答

第2章において味覚センサ測定に使用した市販のいも焼酎12種（アルコール濃度15%）のうち、宮崎県産2種（i-1, i-6）および鹿児島県産3種（i-4, i-5, i-12）の計5種を選択し、pHと酢酸濃度の測定を行った。（図17A）i-4は、酢酸濃度およびpH共に低いことが認められた。

これらのサンプルを用い、順位法<sup>97)</sup>による「酸味」についての官能評価を行った。その結果を、表7および図17B（平均値±標準誤差）に示すと共に、ノンパラメトリック手法によるTukey型多重比較検定（ $p < 0.05$ ）結果を図17Bのグラフ上にアルファベット表記した。Friedman検定の結果から5種類のいも焼酎の「酸味」には有意（ $p < 0.01$ ）な差があり、順位平均からi-1 > i-6 > i-4 > i-12 > i-5の順に「酸味」が強いという結果であった。しかし、多重比較検定により、官能評価で個々のサンプル、特にi-4, i-6およびi-12

の3サンプルを識別することは難しいことが示唆された。

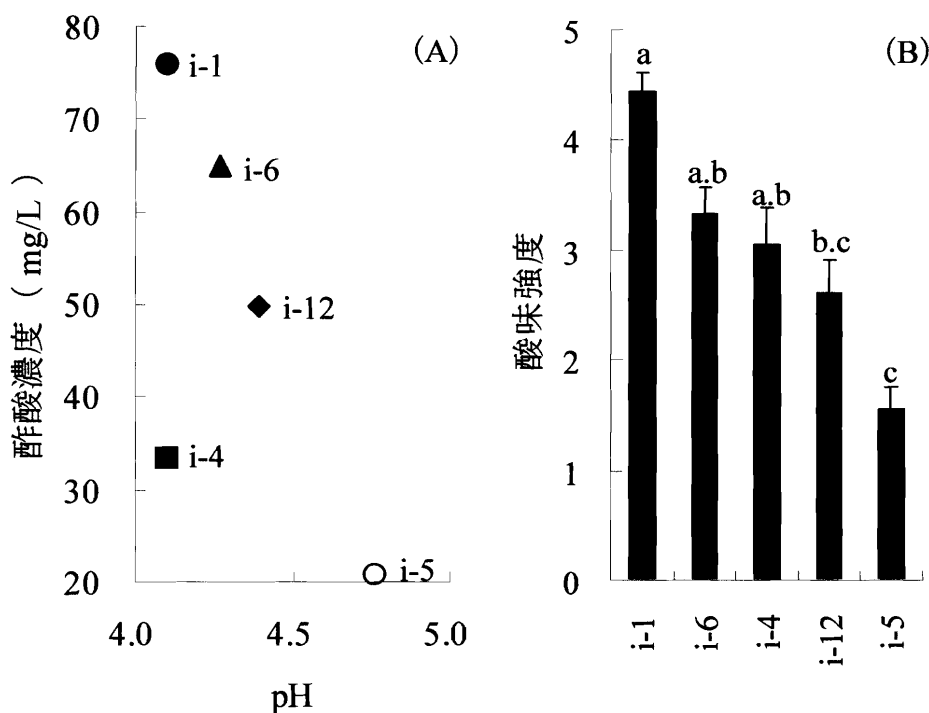


図17 市販いも焼酎（アルコール濃度15%）のpHと酢酸濃度との相関（A）および順位法による酸味強度（B） ●：i-1，■：i-4，○：i-5，▲：i-6，◆：i-12  
a, b, c：異なるアルファベット間に有意な差があることを示す（ $p < 0.05$ ）

表7 いも焼酎の「酸味」に関する官能評価（順位法）のFriedman検定結果（ $n=18$ ）

サンプル	i-1	i-4	i-5	i-6	i-12
順位合計	80	55	28	60	47
自由度 (f)	4				
統計量 (T)	31.96				
$\alpha=0.01$ に対する $\chi^2$ 値	13.28				
P値	0.000				
有意差判定	**				

有意差判定[\*\*]： $p < 0.01$

更に、これらのサンプルを味覚センサ測定に用いたところ、酢酸添加試験において選択されたセンサのうち、AC0, AN0, CN0, C00 およびAAE センサの相対値において、識別分解能が30未満であった。（表8）

表8 市販いも焼酎に対する各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	C00	AE1	AAE	OE1
相対値	3.89	<b>49.26</b>	5.20	2.72	11.98	<b>41.20</b>	15.77	11.03
CPA値	<b>77.34</b>	<b>46.11</b>	<b>36.59</b>	<b>47.42</b>	12.06	<b>47.36</b>	<b>94.20</b>	<b>170.30</b>

このうちAN0, CN0 およびAAE センサの相対値において、官能評価における酸味強度と高い相関関係が見られ、その相関係数は、AN0 センサで 0.972, CN0 センサで 0.986 およびAAE センサで 0.996 であった。(図18)

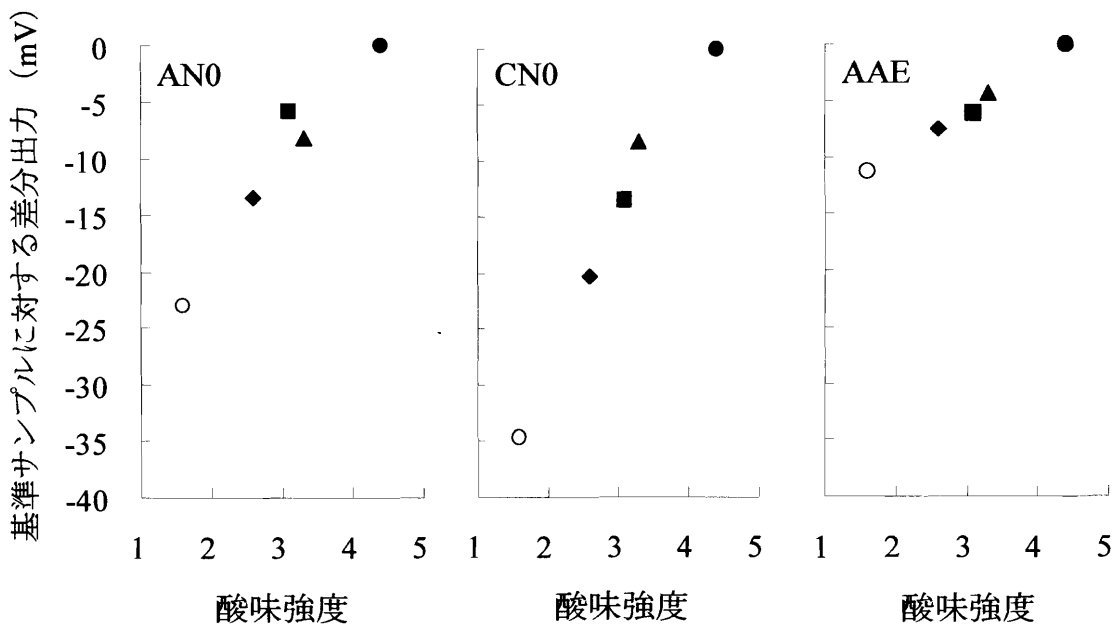


図18 市販いも焼酎に対するAN0, CN0 およびAAE センサ応答

● : i-1, ■ : i-4, ○ : i-5, ▲ : i-6, ◆ : i-12

以上のことから、これら3つのセンサが、本格焼酎における「酸味」に選択的に応答するセンサとして使用可能であることが示唆された。

## 第4節 考察

舌表面上で味細胞の細胞膜を構成している代表的な成分にレシチン（ホスファチジルコリン）がある。この脂質は極性脂質であり、リン酸基と第4級アンモニウム基の二つの官能基を有するため両性イオンとして存在している<sup>102)</sup>。今回選択したマイナス膜のAN0, CN0 センサは、どちらも Phosphoric acid di-n-decyl ester を使用しており、官能基としてリン酸基を有していることから、基本的にプラス電荷を有する成分に応答する。例えば酸味を呈する成分である酢酸が存在した場合、リン酸基に解離している酢酸のH<sup>+</sup>が一部結合し、膜の表面荷電密度が変化する。その結果、膜とサンプル溶液の界面電位が変化し、（プラス方向の）応答電位として計測される。しかし、陰イオンが酸味強度に影響を与えるように、実際のサンプル溶液中で起こる反応は単純ではなく、味物質の相互作用により表面荷電密度、表面電位およびH<sup>+</sup>結合率などが変化した結果を計測していると考えられる。また、ブレンド膜のAAE センサには Phosphoric acid di-(2-ethylhexyl)ester と Trioctylmethyl ammonium chloride を使用しており、ヒトの舌と同様、官能基としてリン酸基と第4級アンモニウム基の両方を有していることから、出力こそ小さいものの、ヒトの感度に近く、相関係数も最も高くなったと考えられる。

## 第5節 小括

本格焼酎の官能評価における酸味強度は、pH および酢酸濃度に必ずしも一致しないことが確認され、AN0, CN0 および AAE センサのようにセンサの脂質膜にリン酸エステルを使用することで、本格焼酎に含まれる「酸味」成分によく応答することが示唆された。このことにより、味覚センサを用いることで、簡易かつ正確にヒトの味覚に近い本格焼酎の「酸味」評価を行うことが可能となった。



## 第4章 味覚センサを用いた本格焼酎における「エタノールの味」の評価

### 第1節 序章

酒類に含まれるエタノールの味については、「こくやボディ感を与える」、「やや甘味があり、温和な感じを与える」など様々な記述がされているが、なかでも「苦味」やその増強効果および「刺激感」に関する報告が多い<sup>103-107)</sup>。市販されている酒類においてエタノールの濃度は様々であり、一般的にビールでは4.5~6.0%、ワインでは9.7~13.9%、清酒では14.5~16.0%である。本格焼酎は、20%と25%が一般的であるが、沖縄の泡盛では30%が主流である。また、近年の商品の多様化に伴い、下はエタノール濃度10%前後から、上は44%の原酒そのものを商品化した製品まで販売されており、他の酒類よりもエタノール濃度の幅は大きい。このように本格焼酎における水以外で最も多い成分は、エタノールであるにもかかわらず、その味に関する報告は皆無である。

また、アルコール濃度を測定する手段として浮ひょう法や振動式密度計法が、アルコール類の測定方法としてガスクロマトグラフィー (GC) などが一般的に用いられているが、アルコール類とその他の本格焼酎成分の相互作用を確認する手法は確立されておらず、また味覚感受性に関連した報告も行われていない。

味覚センサは、複数の脂質膜からの信号をパターン認識することで、味を識別すると共に、各脂質膜に特異的に応答する成分を特定することで、ある特定の味情報を表現し、その味情報への相互作用を確認することも可能である。事実、第3章において本格焼酎の「酸味」をヒトの味覚に近い形で、簡易かつ正確に評価し得ることを示した。本章では、まず本格焼酎に含まれる濃度のエタノールが、ヒトにどのような味質および感覚を与えるのかについて官能評価を軸に明らかにした。更に、エタノールの濃度に選択的に応答するセンサの特定を行い、その応答機序に関する考察を行うと共に、他のアルコール類に対する応答についても検討を行った。

## 第2節 実験方法

### 第1項 官能評価

官能評価の基本的な方法については、第3章2節2項と同様に行った。

#### (i) 順位法<sup>97)</sup>によるエタノール濃度の識別と「苦味」の評価

2, 4, 6, 10 および 18%のエタノール溶液を用い、23 から 33 歳の男女 12 名の醸造技術者をパネルとして濃度の薄いものから順に順位をつけてもらった。結果については、Friedman 検定により有意性の確認を行った。また、順位をつけた各サンプルについて、客観的に「苦い」、「苦くない」という表現が当てはまるかどうかの評価を行い、 $P=1/2$  の二項分布に従う両側検定<sup>108)</sup>にて有意性の確認を行った。

#### (ii) カテゴリ尺度法<sup>97,109,110)</sup>によるエタノール溶液の味の検出

10, 20, 30 および 40%のエタノール溶液を用い、23 から 33 歳の男女 16 名の醸造技術者をパネルとして、「苦味」、「甘味」、「刺激感」および「温度感」について 9 段階尺度による「繰り返しのない」評価を行った。各応答カテゴリには数値的な先入観を与えないように記述用語（「苦味」の場合、「苦くない」から「極めて苦い」まで）を用い、パネルにはカテゴリ間の心理的感覚が等しくなるように、また尺度上で極端な点を使うことを避けること（中央集中傾向）がないように指示した。結果については、各特性強度の小さい方から順に 1→9 の数値を割り当て（「苦味」の場合、「苦くない」の 1 から「極めて苦い」の 9 まで、「温度感」の場合は、「冷たい」の 1 から「大変温かい」の 9 まで）、各特性に対し二元配置分散分析による解析を行った。また、どのサンプル間に差異があるのかを明らかにするため、Tukey の多重比較検定を行った。

## 第2項 口中温度変化のモデル実験<sup>33)</sup>

各エタノール濃度の本格焼酎を口にした際の口内の温度変化を調べるため、モデル実験装置を作成した。(図19) 500 mlの三角フラスコに唾液の主成分(99.5%)である水(蒸留水) 100 ml およびスターラーバー(φ8 mm×30 mm)を入れ、データ収集システムNR-1000(KEYENCE:大阪)に三線式で接続した白金測温抵抗体を挿入した。白金測温抵抗体は、精度(0°Cにおける誤差 ±0.03°C) および応答速度を重視したものを選択し、測温体(蒸留水)に保護管径(φ2.1 mm)の20倍以上が浸るように先端から50 mmの部分にL字に加工したものを使用した。このモデル装置をサーモユニット SM-05R(TAITEC:愛知)付きウォーターバス内で攪拌(約400 rpm)しながらヒトの平均体温である37°Cに保つように制御した。この装置に別途37°Cまたは25.5°Cに調節した0, 10, 20, 25, 30 および40% (常圧蒸留のいも焼酎のみ36.1%)のエタノール溶液および本格焼酎400 mlを添加し、0.2秒おきに(味覚センサ同様)30秒間の温度変化のデータを収集した。

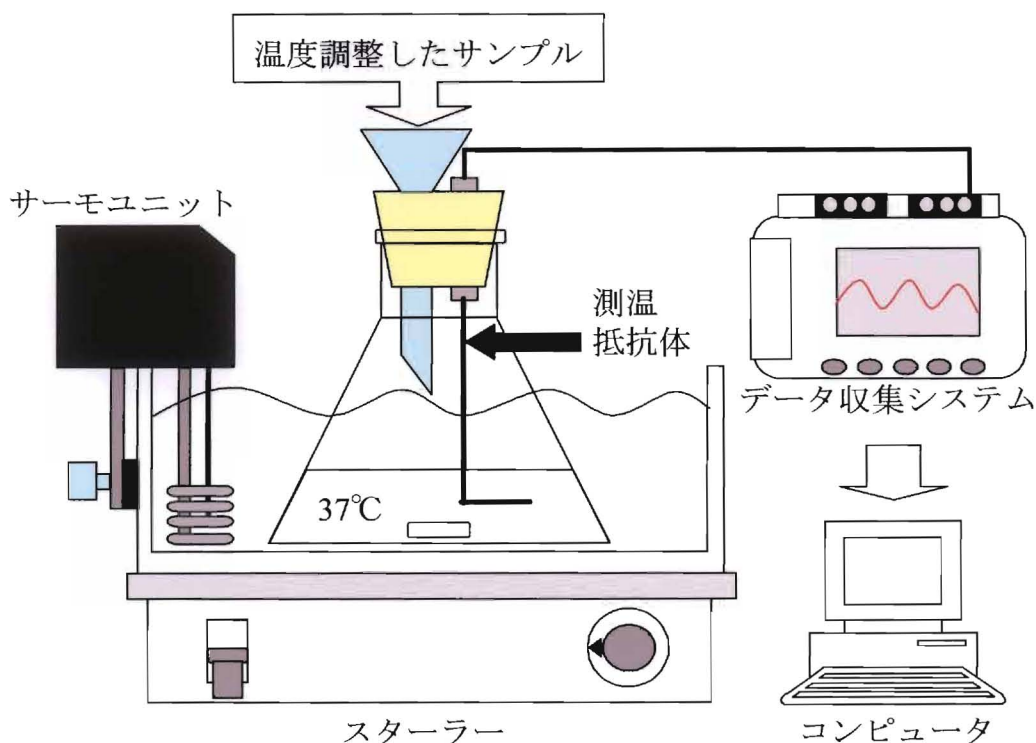


図19 口中温度変化測定用モデル実験装置概要

### 第3項 味覚センサ測定

味覚センサは、インテリジェントセンサーテクノロジー（神奈川）の味認識装置 SA402B を用い、第2章2節2項と同条件で測定および解析を行った。

味覚センサ測定用のサンプルには、第2章で決定した合成基準サンプル(酢酸 5.0 mg/L, NaCl 10.0 mg/L,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1.8 mg/L) のエタノール濃度のみを段階的に調製したサンプルおよび蒸留水にて段階的に希釈した市販の各種いも焼酎および合成基準サンプルに各種アルコール類 (*n*-Propyl alcohol, Isobutyl alcohol, Isoamyl alcohol, Phenethyl alcohol) を適宜添加したサンプルを使用した。

### 第3節 実験結果

#### 第1項 エタノール濃度の識別とその「苦味」に関する評価

はじめに、エタノール濃度による総合的な味の識別が官能において可能かどうかを調べるため、2~18%のエタノール溶液を用いた順位法<sup>9)</sup>による官能評価を行った。(図20) この官能評価の結果についてFriedman検定による有意差の確認を行ったところ、エタノールの濃度による総合的な味の違いについては、有意 ( $p < 0.001$ ) に識別可能であることが確認された。(表9)

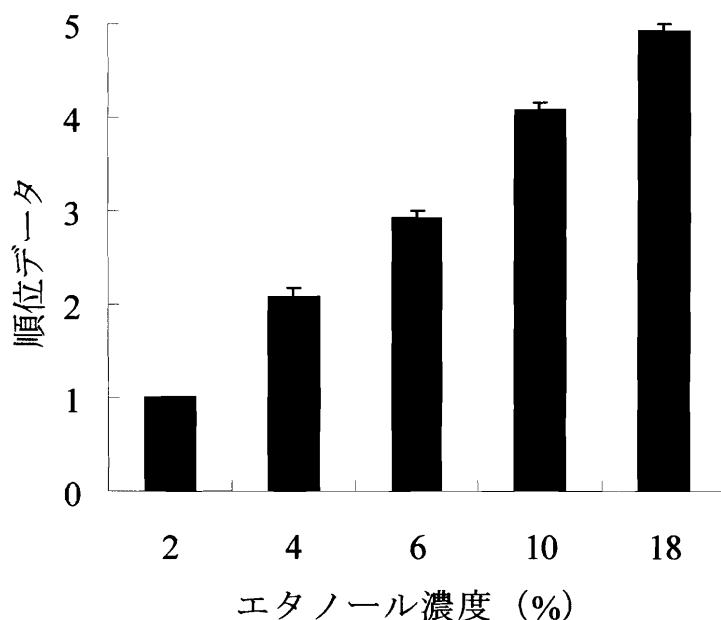


図20 官能評価によるエタノール濃度の識別 (順位法：平均値±標準誤差)

表9 エタノール溶液濃度の官能評価 (順位法) に対するFriedman検定結果 (n=12)

エタノール濃度	2%	4%	6%	10%	18%
順位合計	12	25	35	49	59
自由度 (f)	4				
統計量 (T)	46.53				
$\alpha=0.001$ に対する $\chi^2$ 値	18.47				
P値	0.000				
有意差判定	***				

有意差判定[\*\*\*] :  $p < 0.001$

また、各サンプルについて客観的に「苦い」、「苦くない」という表現が当てはまるかどうかの判定を、 $P=1/2$ の二項分布に従う両側検定にて行ったところ、2%エタノール溶液に対して1%有意で「苦くない」という判定、4%エタノール溶液では有意差がなく、6、10および18%エタノール溶液では、いずれも5%有意で「苦い」という判定結果が得られた。この結果は、飯野ら<sup>105)</sup>がワインを想定して行った5~15%のエタノール溶液での官能評価結果とほぼ一致していた。ただし、6%以上のエタノール溶液については12名のパネルのうち、2名が「苦くない」と判定しており、「苦い」という表現のみではエタノールの味を表現できないことが示唆された。また、この順位法では、サンプル間差の大きさに対する情報を得ることができない。つまり、順位づけられるサンプル間の差が非常に大きくても、またほんの少しでもサンプル間の順位の差は1として区別される。そこで、「苦味」以外の味の情報及びサンプル間の差の大きさに対する情報を得るため、カテゴリ尺度を用いた官能評価を行った。

## 第2項 カテゴリ尺度法<sup>97,109,110)</sup>によるエタノール溶液の味の検出

カテゴリ尺度法では、各サンプルにおける官能特性の強度を数段階で示す具体的な尺度をパネルに提供する。今回は9段階のカテゴリ数を採用し、記述用語を用いて各サンプルに対する「苦味」、「甘味」、「刺激感」および「温度感」について「繰り返しのない」評価を行った。サンプルには、市販の本格焼酎に見られるエタノール濃度範囲、10~40%のエタノール溶液を用いた。官能評価結果については、各特性強度の小さい方から順に1→9の数値を割り当て、各特性値に対し、グラフ(平均値±標準誤差:図21-1, 21-2)で表すと共に、二元配置分散分析による解析を行った。(表10)

分散分析の結果、エタノール濃度の異なる4つのサンプルは、すべての特性において有意( $p < 0.05$ )に異なることが確認された。しかし、この分散分析では、どのサンプルの母集団に差異があるのかを示すことができない。そこで、Tukeyの多重比較検定を行い、その結果を図21のグラフ上にアルファベット表記した。このアルファベットは統計的に異なるどのグループに属しているかを表しており、同じ文字が表記されていない母集団どうしは、有意( $p < 0.05$ )に異なることを示す。このカテゴリ尺度による官能評価

の結果、市販の本格焼酎に見られるエタノール濃度において、エタノール自体には強い「苦味」および「刺激感」を感じると共に、ある程度の「甘味」も感じる事が確認された。

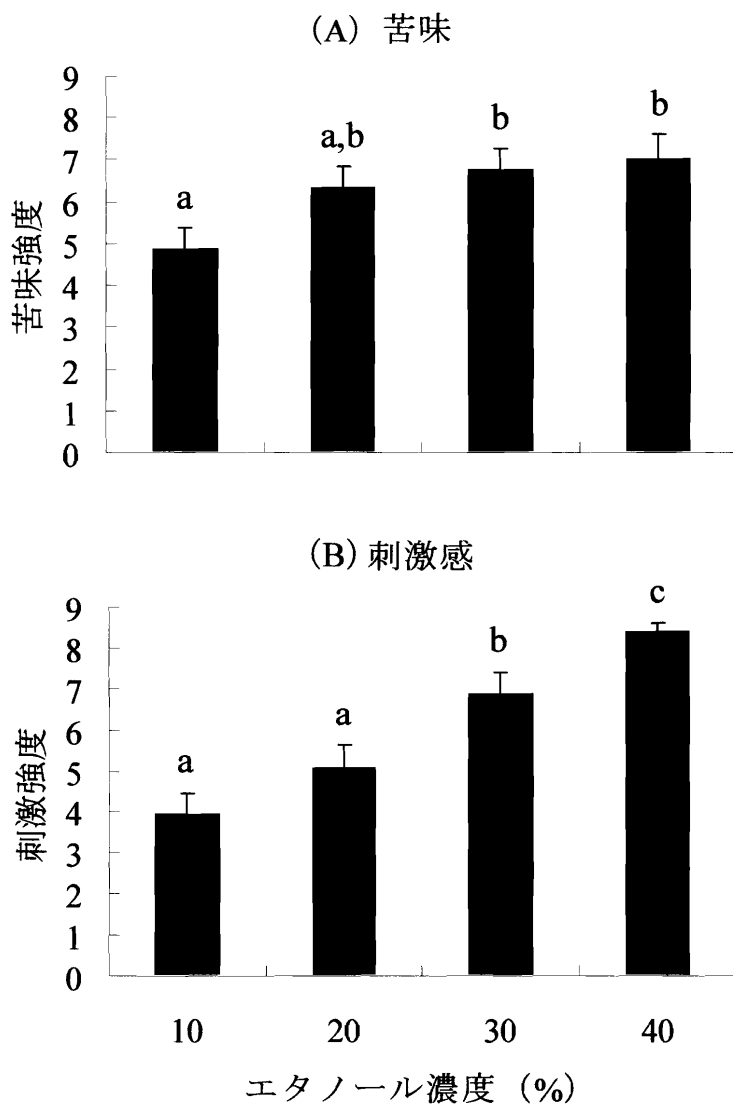


図 21-1 エタノール溶液の味強度

a, b, c : 異なるアルファベット間に有意な差があることを示す ( $p < 0.05$ )

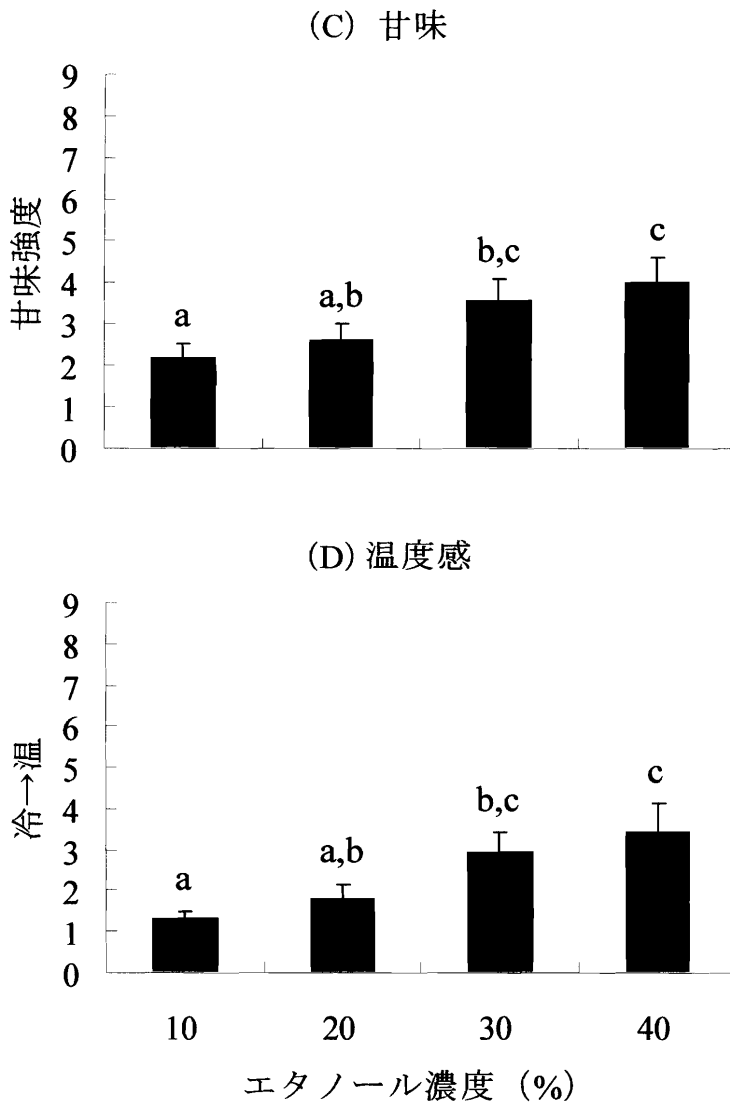


図21-2 エタノール溶液の味強度

a, b, c : 異なるアルファベット間に有意な差があることを示す ( $p < 0.05$ )



表 10 各官能特性における分散分析

「苦味」に対する（繰り返しのない）二元配置法による分散分析

	自由度	平方和	平方平均	F値	P値	判定	F値(α=0.05)
パネル (A)	15	120.73	8.05	2.19	0.022	*	1.89
サンプル (B)	3	43.30	14.43	3.93	0.014	*	2.81
誤差 (E)	45	165.45	3.68				
全体 (T)	63	329.48					

「刺激感」に対する（繰り返しのない）二元配置法による分散分析

	自由度	平方和	平方平均	F値	P値	判定	F値(α=0.01)
パネル (A)	15	126.25	8.42	4.45	0.000	**	2.46
サンプル (B)	3	184.38	61.46	32.49	0.000	**	4.25
誤差 (E)	45	85.13	1.89				
全体 (T)	63	395.75					

「甘味」に対する（繰り返しのない）二元配置法による分散分析

	自由度	平方和	平方平均	F値	P値	判定	F値(α=0.01)
パネル (A)	15	129.44	8.63	4.93	0.000	**	2.46
サンプル (B)	3	33.31	11.10	6.35	0.001	**	4.25
誤差 (E)	45	78.69	1.75				
全体 (T)	63	241.44					

「温度感」に対する（繰り返しのない）二元配置法による分散分析

	自由度	平方和	平方平均	F値	P値	判定	F値(α=0.01)
パネル (A)	15	123.00	8.20	4.63	0.000	**	2.46
サンプル (B)	3	46.25	15.42	8.70	0.000	**	4.25
誤差 (E)	45	79.75	1.77				
全体 (T)	63	249.00					

### 第3項 エタノール溶液による口内の温度変化

一般的な甘味物質には、プロトン供与基 (AH) とプロトン受容基 (B) が、互いに2.5~4.0 Åの距離で存在し、甘味受容体にも同様なAH-Bがあることから、甘味物質と甘味受容体との間に水素結合が生じ、甘味刺激が引き起こされると考えられている。グリセリンのような多価アルコールには甘味を感じるものが存在するが、エタノールのような一価のアルコールにおいては、「甘味」と共に灼けるような味や「苦味」を呈するものが多いとされており、立体構造と甘味感受性の詳細については、未だ解明されていない<sup>111,112)</sup>。また、温度と味の関係については100年以上も前から数多くの研究が行われ、なかでも4基本味に対する味覚感受性と温度との関係については多くの報告がなされてい

る。これらの報告において必ずしも一致した結果は得られていないが、「甘味」に関してだけはほぼ一致しており、ヒトの体温付近の温度で閾値が低い、つまり感度が高いとされている<sup>113-117)</sup>。アルコール濃度の高い市販の蒸留酒を全く希釈せずに口に含んだとき、燃えるような刺激と同時に、「甘味」を感じるのは良く経験する感覚である。梶浦ら<sup>107)</sup>は2~10%のエタノール水溶液について、わずかに「甘味」があると報告しており、今回10~40%濃度のエタノール溶液の官能評価においてもエタノール濃度の上昇と共に甘味強度の増加が確認された。(図21-2C) また、本格焼酎では、ロックや水割り、お湯割りなど、飲用形態が様々であり、その際の飲用温度も大きく異なる。通常、ロックの場合、飲用温度は0~5℃前後であるが、(本格焼酎:お湯)6:4や7:3のお湯割りでは、およそ35~45℃となり、お湯割りの方が「甘味」を感じやすいといわれている。このように、本格焼酎の「甘味」には、エタノールの濃度およびその飲用温度が、大きく関わっていることが推測された。そこで、エタノール濃度の異なる本格焼酎を口に含んだ際、口内の温度がどのように変化するかを調べるため、モデル実験を行った。(図22)

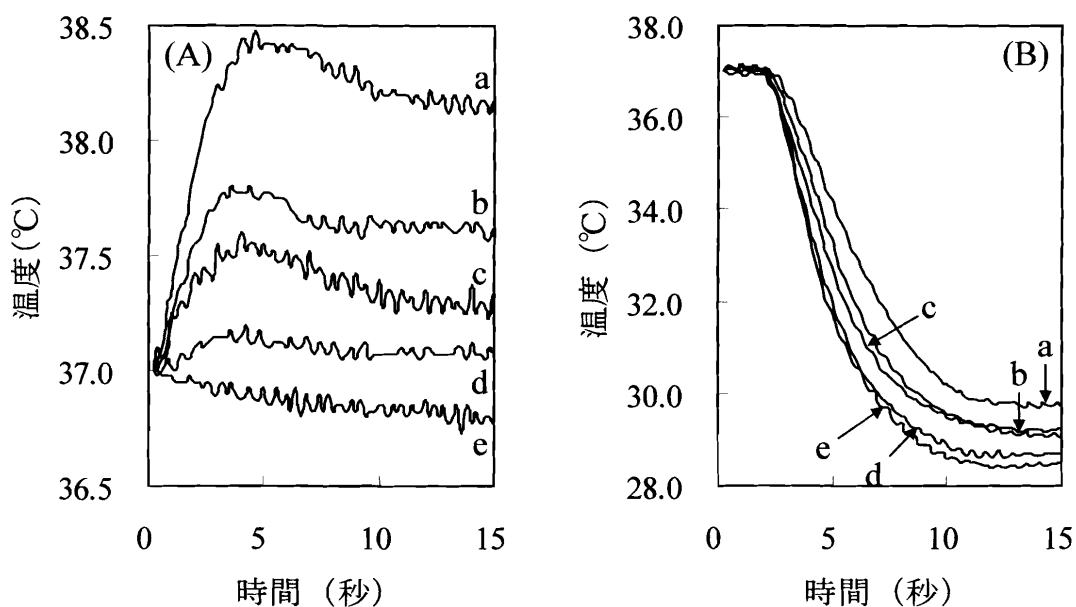


図22 エタノール溶液による口内温度変化

(A) 水 (37°C) + エタノール溶液 (37°C), (B) 水 (37°C) + エタノール溶液 (25.5°C)  
 エタノール濃度 a : 40%, b : 30%, c : 25%, d : 20%, e : 0% (水)

まず、各濃度のエタノール溶液を、お湯割りの際の飲用温度およびヒトの平均体温と同じ37°Cに調整し、モデル口内の水分(37°C)と混合した際の温度変化を調べた。その結果、エタノール濃度25%以上において混合後直ちに熱の放出が始まり、40%のエタノール濃度では、約1.5°Cの液温上昇が認められた。一方、各濃度のエタノール溶液および本格焼酎を、室温の25.5°Cに調整し、モデル口内の水分(37°C)と混合した際の温度変化を調べた。その結果、エタノール濃度25%以上では、口内温度の低下抑制が認められた。この現象は、本格焼酎を用いた試験においても同様に認められ、本格焼酎を口に含んだ際、本格焼酎のエタノールと唾液の水分が結合し、発熱することで舌表面温度を変化させることが示唆された。

#### 第4項 エタノール濃度に応答するセンサの特定

第3章において、センサを用いることでヒトの味覚に近い本格焼酎の「酸味」評価が可能となることを示したが、ここでは、本格焼酎のベースとなる味、つまりエタノールの味に選択的に応答するセンサの特定を行うべく検討を行った。

第2章で決定した本格焼酎測定用の合成基準サンプル(酢酸 5.0 mg/L, NaCl 10.0 mg/L, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>・4H<sub>2</sub>O 1.8 mg/L)のエタノール濃度のみを2, 5, 10, 15 および20%に調整し、味覚センサ測定に使用した。

各センサのデータから識別分解能(表11)を算出したところAC0とCN0センサの相対値, AT0, CN0, C00, AE1 およびAAEセンサのCPA値では、識別分解能が30以上であった。このことから、これらのセンサは、エタノールの濃度を有意に識別できていないセンサと判断し、エタノールの味に選択的に応答するセンサの候補から除外した。

表11 エタノール溶液に対する各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	C00	AE1	AAE	OE1
相対値	<b>36.28</b>	28.69	5.96	<b>42.09</b>	2.85	5.94	3.09	6.26
CPA値	22.58	<b>110.68</b>	9.36	<b>142.43</b>	<b>114.37</b>	<b>40.63</b>	<b>132.14</b>	27.28

また、エタノール濃度2%の合成基準サンプルのセンサ出力に対して補正処理を行った各センサ応答(図23)によると、AT0センサの相対値, AC0およびOE1センサのCPA値は濃度に対応しておらず、これらのセンサも候補から除外した。

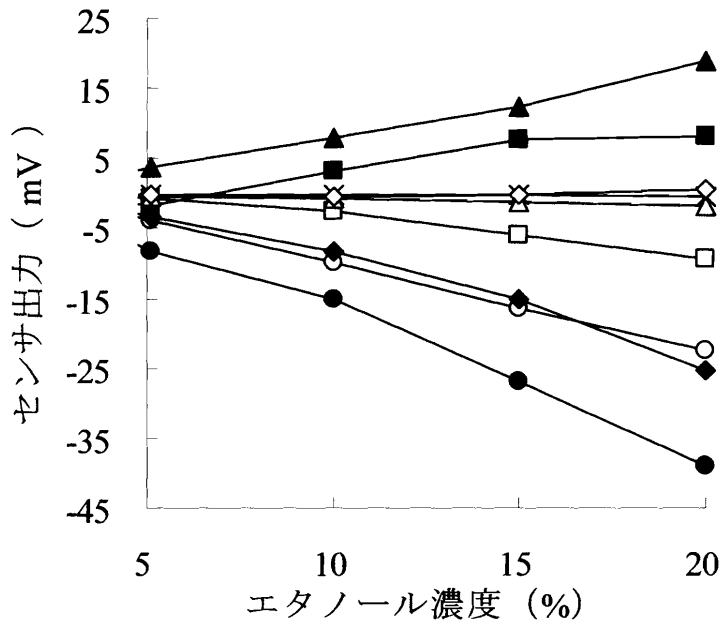


図23 濃度の異なるエタノール溶液に対する各センサ応答

▲ : AN0, ■ : AT0, ◇ : cpa(0E1), × : cpa(AC0),  
 △ : cpa(AN0), □ : C00, ○ : AAE, ◆ : 0E1, ● : AE1

次に、市販されている5種類のいも焼酎を用い、各エタノール濃度を5、10、15および20%に調整したサンプルについて味覚センサ測定を行った。先述のエタノール溶液では、AN0、C00、AE1、AAEおよび0E1センサの相対値およびAN0センサのCPA値が候補として残っており、このいも焼酎を用いた測定においても、識別分解能は30未満であった。(表12)

表12 エタノール濃度の異なるいも焼酎に対する各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	C00	AE1	AAE	0E1
相対値	2.16	7.12	5.05	2.84	7.34	11.40	11.91	8.68
CPA値	<b>47.21</b>	11.19	8.78	<b>33.07</b>	20.95	20.73	<b>123.32</b>	<b>68.51</b>

しかし、エタノール濃度との二次元散布図（図24）を作成すると、エタノールの濃度に対応していたのは、AE1 センサと 0E1 センサの相対値のみであり、この二つのセンサが本格焼酎におけるエタノールの味に選択的に応答するセンサとして使用可能であることが示唆された。また、AE1 センサの方が、0E1 センサよりも応答が大きく、同じエタノール濃度であっても、本格焼酎の種類によってその差が大きくなった。

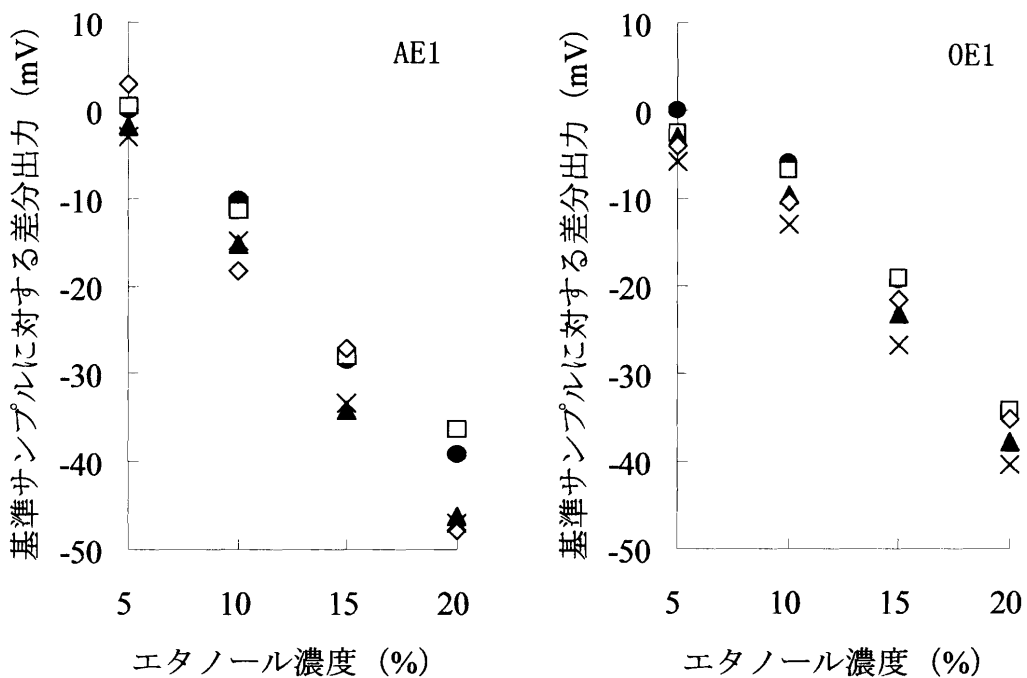


図24 エタノール濃度の異なる市販いも焼酎に対するAE1および0E1センサ応答

▲: A社, ◇: B社, ×: C社, □: D社, ●: E社

## 第5項 各種アルコール類に対するセンサ応答

本格焼酎には、エタノール以外にも様々なアルコール類が含まれている。そこで、合成基準サンプルに代表的なアルコール類 (*n*-Propyl alcohol, Isobutyl alcohol, Isoamyl alcohol および Phenethyl alcohol) を過剰に添加したサンプルを作成し、AE1 センサおよび OE1 センサにおける応答性について検討を行った。(図 25) その結果、添加したアルコール類の炭素数が多くなるにつれて応答が大きくなり、いも焼酎の時と同様に AE1 センサにおいて応答が大きくなる傾向が認められた。

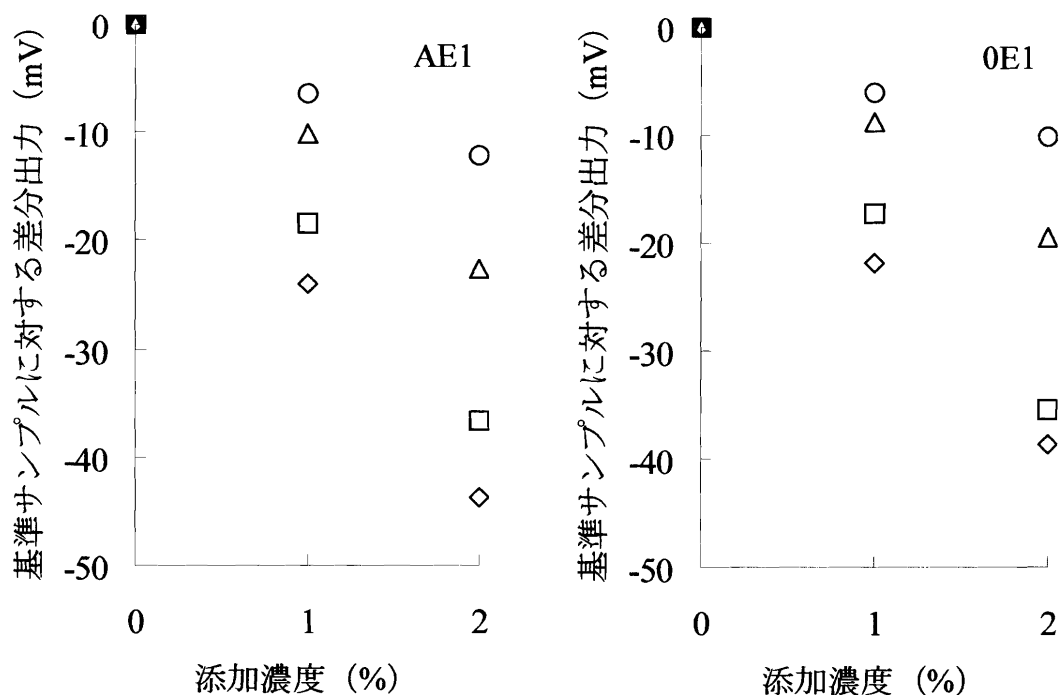


図 25 各種アルコール類に対する AE1 および OE1 センサ応答

○ : *n*-Propyl alcohol, △ : Isobutyl alcohol, □ : Isoamyl alcohol, ◇ : Phenethyl alcohol

## 第4節 考察

梶浦ら<sup>107)</sup>は、ビールを想定した2~10%のエタノール溶液を用いた官能評価において、エタノール濃度の上昇に伴い、苦味強度、刺激強度ともに上昇することを報告している。しかし、今回の10~40%のエタノール溶液を用いた官能評価では、エタノール濃度が高くなるに従い刺激強度が増加しているにもかかわらず、苦味強度において、エタノール濃度20%以上で、ほとんど変化が見られなかった。

液滴の断熱膨張法を用いたエタノール溶液の質量スペクトル定量的解析によると、エタノールと水のモル比が1:200 (エタノール濃度約1.5%) の様な希薄な溶液中において、エタノールのアルキル基 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2$ ) のまわりには、その大きさに応じた水素結合による水のシェル (殻) ができ、エタノールを中心とした水のクラスターが安定化するといわれている。このエタノールに強く結合した水は、エタノールの舌への直接の刺激をブロックすると共に、大きなクラスターのもつ量感を与える。しかし、エタノールと水のモル比が1:20 (エタノール濃度約14%) を超えるとシェルを持たない純粋なエタノールポリマーが増え、舌への刺激が大きくなってくる。(図26)

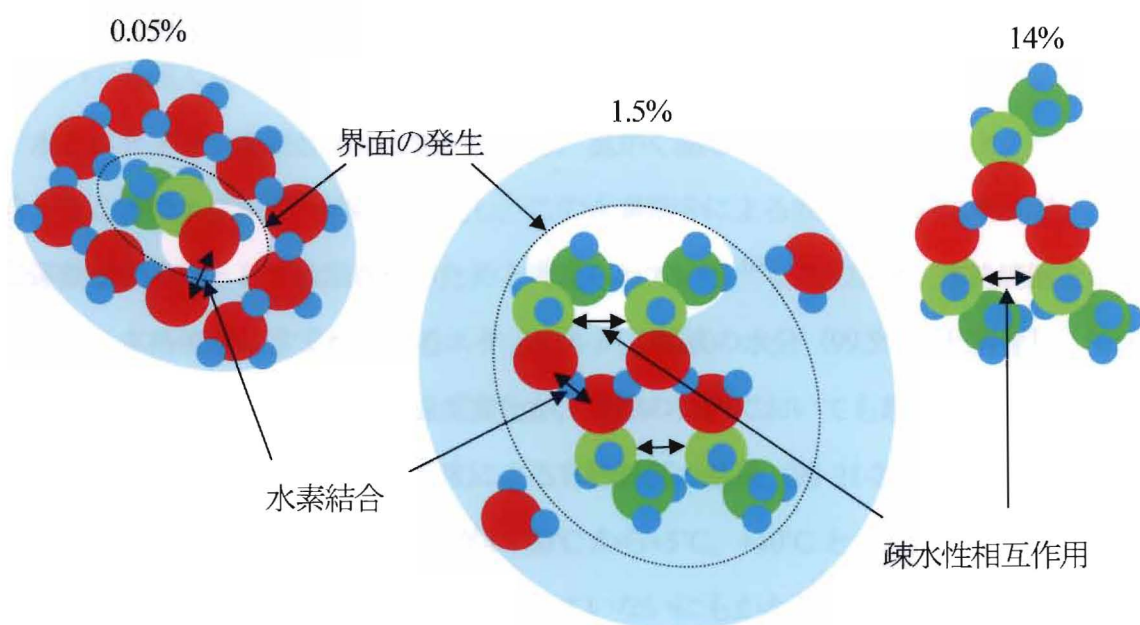


図26 異なる濃度のエタノール水溶液におけるクラスターモデル

● : C ● : O ● : H



つまり、エタノール濃度 6%までは、水の水素結合シェルを主体とした水溶液としての性格を持ち、8%から 22%までは、水和シェルを持たないエタノールポリマーと水クラスターを部分的に持つポリマーが共存した状態になる。更に 23%以上では水和シェルがほとんど見られなくなるとされている<sup>118-120)</sup>。今回の官能評価の結果、「苦味」に関する  $P=1/2$  の二項分布に従う両側検定により、エタノール濃度 4%までは、水の水素結合シェルを主体としているため「苦味」に対する有意差はない。つまり、「苦味」および「刺激」を感じないが、6~18%では水和シェルがある程度エタノールポリマーの刺激を抑制するため「刺激」ではなく、「苦味」として感知する。更に、カテゴリ尺度法による官能評価（図 21-1）より、30%以上では、水和シェルがほとんど見られないため、刺激が非常に強くなり、「苦味」と共に強い「刺激感」も感じるようになると推察される。しかし、「苦味」の感受性には個人差があることが知られており、フェニルチオカルバミド（PTC）やプロピルチオウラシル（PROP）のように、その化学構造に N-C=S 基を持つ苦味物質に対して、苦く感じる群（taster）とあまり苦く感じない群（nontaster）とに分かれること、またその発現は劣性遺伝することが明らかにされている。日本人における nontaster の出現頻度は、5~15%と低いが、PROP の苦味感受性とエタノールの苦味感受性との相関を示唆する報告<sup>121,122)</sup>もみられることから、本格焼酎におけるエタノールの苦味感受性においても個人差の生じる可能性が考えられる。

水とエタノールを混合すると熱が発生し、温かく感じる。これは水とエタノールが結合することでエネルギー的に安定化し、この水素結合による安定化分のエネルギーが振動運動などの熱として放出されるためと考えられている<sup>118)</sup>。このため、本格焼酎を口にすると、本格焼酎に含まれているエタノールが、唾液の水分（99.5%）と結合し、モデル実験においてみられたような温度変化が、実際の口内においても起こりうることは容易に想像でき、今回のカテゴリ尺度による官能評価の結果（図 21-2D）とも良く一致していた。Green らは、舌温度を局部的に 20°C から +5°C、+10°C と上昇させることで、糖質などの化学物質による味刺激を一切加えていないにもかかわらず「甘味」を引き起こすことが出来たと報告している。これは、温度変化により、感覚のトランスダクションの変化がおこり、味覚神経自体の応答変化を引き起こした結果であると考察している<sup>123)</sup>。

更に、エタノールが温度受容体 Transient receptor potential cation channel, subfamily V, member 1 (TRPV1) の活性化温度閾値を 43°C から 34°C に低下させることも報告されており<sup>14)</sup>、本格焼酎を飲用することで、ヒトの体温 (約 37°C) が TRPV1 を活性化させる可能性も考えられる。エタノール自体の甘味感受性については、まだまだ不明な点が多いものの、飲用温度の味覚感受性に与える影響、エタノールと水の発熱反応による舌表面温度の変化、温度受容体 TRPV1 活性化温度閾値の低下等、様々な要因が本格焼酎の味、特に「甘味」感受性に何らかの影響を与えていることが推察された。

以上の結果から、通常本格焼酎を飲用する際、(約 15~18%の) エタノール自体に対しては「刺激感」を伴う「苦味」を主に感じ、これよりも高いアルコール濃度のものを口にしたとき、強い「刺激感」と共にわずかな「甘味」も感じる事が明らかとなった。

AE1, OE1 センサのエタノール濃度への応答機序については、センサの組成こそ異なるものの、同じ第 4 級アンモニウム塩を脂質膜に使用している (表 2) 点で、蟻川ら<sup>67)</sup> および塚谷ら<sup>124-126)</sup> の報告と同じ機序と考えられる。つまり、これらのセンサは、酵素センサやガスクロマトグラフィーのように直接エタノールを測定しているのではなく、水-アルコール類混合溶媒系における各種イオン活量の変化<sup>127)</sup> に応答しており、本格焼酎の各種成分の相互作用を電位変化として検知していると考えられる。合成基準サンプルには、その組成として Cl<sup>-</sup> および NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> が含まれている。これらの陰イオンはエタノール濃度が上昇することにより、水分子に代わってエタノールに溶媒和する。エタノールは、水よりも水素供与性 (酸性) が小さいため、陰イオンはより不安定な状態、つまり反応性に富んだ状態になり、陰イオン活量の増大が生じる。よって図 23 における AE1 センサや OE1 センサの挙動は、これら陰イオンの活量変化に応答していると推察される。一方、本格焼酎には、各種陰イオンの他、エタノール以外のアルコール類も少なからず含まれている。陰イオンの場合、水素供与性の大きい (酸性が強い) 溶媒に選択的に溶媒和する傾向があり、溶媒となるアルコール類の炭素数が多くなるほど溶媒和が弱められ、より大きな活量変化が生じると考えられる。図 24 において各種アルコールを過剰に添加し、センサの挙動を確認したところ、その応答の大きさは、炭素数の増加に一致していた。しかし、本格焼酎において最も多く含まれている Isoamyl alcohol で

さえ、本来は 500 mg/L 前後であり、それぞれのアルコール類が単独でセンサ応答に影響しているとは考えにくい。むしろ各種アルコール類や陰イオンなど、含まれる成分の総合的なバランスの違いに応答しており、図 24 に示した同アルコール濃度におけるセンサ応答のバラツキは、その成分バランスの微妙な違いに応答していると考えられる。

## 第5節 小括

エタノール溶液による官能評価の結果、お湯割りなど、本格焼酎を飲用する際の一般的なエタノール濃度、約 15~18%においてはエタノールに対して主に「苦味」を、それ以上の濃度においては、強い「刺激感」と共に「甘味」も感じる事が明らかとなった。

25%以上のエタノール溶液および本格焼酎を口に含んだ場合、舌の表面においてエタノールと水の結合による発熱が起こり、この発熱が飲用温度による味覚感受性の変化、エタノールによる TRPV1 活性化温度閾値の低下と共に本格焼酎の味、特に「甘味」に何らかの影響を与えることが示唆された。

エタノール濃度を選択的に応答するセンサの特定を行った結果、プラス膜の AE1 センサおよびブレンド膜の OE1 センサが、本格焼酎のエタノール濃度に良く応答することが明らかとなった。また、この2つのセンサは、エタノールそのものを測定しているのではなく、水-アルコール類混合溶媒系における各種イオン活量の変化に応答していることから、その挙動を調べることで、アルコール類と本格焼酎のその他の味成分との相互作用を確認できることが示唆された。

## 第5章 本格焼酎における「まろやかさ」の評価

### 第1節 序章

「まろやかさ」とは、「バランスのとれた味で、基本味のいずれかが目立つことのない味わい」<sup>128)</sup>とされ、食における『快』の状態の一因といわれている<sup>2)</sup>。

マグロのトロや和牛の霜降り肉はもちろん、アイスクリームやクッキーなどにおいては、脂質の多い方が高級とされているが、一般的に食品に含まれている脂質は、皮膜となって口内を覆い、滑らかな触感を与えると共に呈味成分の味蓄への刺激、特に「苦味」を緩和することで味をまろやかにするといわれている<sup>129)</sup>。太田らは、甘味、塩味、酸味、苦味および旨味の濃度を5段階に変えた水溶液を作成し、その水溶液と無臭の油脂および乳化剤から成るO/WおよびW/Oエマルションについて官能評価を行ったところ、「苦味」に関して抑制効果が認められ、また全ての味で濃度差が識別しにくくなった、つまり「味が丸くなった」と報告している<sup>130)</sup>。さらに中島らは、リノール酸などの脂肪酸塩、脂肪酸のエチルエステル、DHAなどをラットの舌に塗布し、各種味物質に対する舌咽神経ならびに鼓索神経応答を調べたところ、約30~70%前後、苦味が抑制されたと報告している<sup>131)</sup>。また、最近まで脂質自体には味がなく、触覚(食感)に影響を及ぼすことで、おいしさの形成に関与するとされてきた。しかし、京都大学の伏木らのグループは、味細胞膜に脂肪酸受容体:FAT(Fatty Acid Transporter)が発現していることを明らかにし、食品に含まれる脂質が、有郭乳頭のエブネル腺から分泌される舌リパーゼにより一部分解され、遊離した脂肪酸をこのFATが受容することでおいしさの発現に関与している可能性を示している<sup>132)</sup>。

本格焼酎にも油性成分が含まれており、パルミチン酸やリノール酸などの高級脂肪酸およびそのエチルエステルが、本格焼酎の味に「濃醇さ」や「まろやかさ」を与えるとされている<sup>133)</sup>。しかし、リノール酸エチルは原酒貯蔵中に徐々に酸化され、油臭とよばれる酸化臭の原因になることが報告されており、酸化する前にろ過により除去されるのが一般的である<sup>134-140)</sup>。高峯らは、麴の代わりに酵素剤を用い、いも焼酎を試作した

ところ、味に幅のない辛口タイプのいも焼酎になったとし、この原因が麴原料としての精白米を使用せず、精白米に由来する高級脂肪酸エチルエステルが、従来法の1/10から1/100しか含まれていなかったためとしている<sup>141)</sup>。また、丸山らは、ろ過条件の異なる泡盛を7ヶ月間貯蔵した後、官能評価を行ったところ、5°Cよりも15°Cにおいてろ過を行った方が、良好な酒質であったとし、この理由として5°Cでろ過した場合、熟成による品質向上に寄与する油性成分が少なくなりすぎたためと考察している<sup>142)</sup>。このように本格焼酎の味に深く関わっているといわれている油性成分ではあるが、その報告には経験的なものが多く、科学的根拠に乏しいものがほとんどである。

本章では、これら油性成分が本格焼酎の味に影響を与えているか否かを官能評価により明らかにすると共に、その存在状態について検討を行った。

## 第2節 実験方法

### 第1項 サンプルのアルコール濃度の調製

サンプルのアルコール濃度の調製は、密度比重計 DA-300（京都電子工業：京都）を用いて行った。このため、本文中のパーセント表記は全て容量%（v/v）に統一した。

### 第2項 官能評価：処理の異なるいも焼酎のトライアングルテスト

官能評価の基本的な方法については、第3章2節2項と同様に行った。官能評価のサンプルには、いも焼酎原酒をアルコール15%に希釈し、全ろ過していない状態のものおよび0.4  $\mu\text{m}$  のメンブランフィルターを用いてろ過を行ったものの2種類を用意した。この2種類のサンプルを用い、23から34歳の男女15名の醸造技術者をパネルとして3つのサンプルから異なるサンプル1つを選び出すトライアングルテスト<sup>143)</sup>を行った。繰り返し回数は2回とし、6つのサンプル提示パターンが全て均等に提示されるように配慮した。また、ろ過を行っていないサンプルは白濁しており、外観により区別されてしまうことから、図27のような白色のドリンクグリッド付き紙製カップを使用し、パネルに先入観を与えないように配慮した。結果の解析については、3サンプルから偶然だけで正しく選ばれる確率を求め、有意性の確認を行った。



図27 ドリンクグリッド付きカップ

### 第3項 粒度分布測定

本格焼酎に含まれる油性成分の粒度分布測定は、レーザー回折／散乱式粒度分布測定装置 SALD-2000 および SALD-7000（島津製作所：京都）を用い、常温で測定を行った。測定サンプルには、いも焼酎原酒（アルコール濃度37.4%）を用い、アルコール濃度を、15.0 および 25.0%に調製したものを使用した。また、測定に際してはサンプルに対応す

る各濃度のエタノール溶液（和光純薬製：大阪）でバックグラウンドを調整してから測定を行った。

#### 第4項 香味成分分析用いも焼酎のろ過

いも焼酎原酒をアルコール濃度 25.0%になるように希釈した後，エタノール耐性のある親水性ポリテトラフルオロエチレン製メンブレンフィルター（日本ミリポア：東京）を用いて加圧ろ過を行った。

#### 第5項 GC分析条件

水素炎イオン化検出器（Flame ionization detector：FID）を搭載したガスクロマトグラフ GC18A（島津製作所：京都）を用い，いも焼酎の香味成分分析を行った。低沸点成分の分析条件は，カラム：DB-WAXetr 30 m×0.52 mm i.d；膜厚 2.0 μm（J&W Scientific：アメリカ）を用い，キャリアガス圧：25 kPa；カラム温度：40°C - 3 min - 2°C/min - 65°C - 5 min - 5°C/min - 220°C - 5 min；気化室温度：230°C；検出器温度：230°C；スプリット比 1：2 とし，内部標準（4-Methyl-2-pentanol）を添加したサンプル 1.0 μl を直接注入して分析を行った。中高沸点成分の分析条件は，カラム：DB-WAXetr 60 m×0.32 mm i.d；膜厚 0.25 μm（J&W Scientific：アメリカ）を用い，キャリアガス圧：150 kPa；カラム温度：60°C - 2°C/min - 240°C - 30 min；気化室温度：260°C；検出器温度：260°C；スプリット比 1：1 とし，サンプル 15 ml に内部標準（Cyclohexanol）および NaCl 4.5 g を添加し，*n*-Hexan 1.5 ml で抽出した抽出液 2.0 μl を直接注入して分析を行った。

#### 第6項 味覚センサ測定

味覚センサは，インテリジェントセンサーテクノロジー（神奈川）の味認識装置 SA402B を用い，第2章2節2項と同条件で測定および解析を行った。

### 第3節 実験結果

#### 第1項 処理の異なるいも焼酎における味の違い

いも焼酎原酒をアルコール濃度15%に希釈し、ろ過を行わなかったサンプルをA、0.4  $\mu\text{m}$ のメンブランフィルターを用いてろ過を行ったサンプルをBとし、15名のパネルによる繰り返し数2回のトライアングルテストを行った。その結果を、表13に示す。

表13 処理の異なるいも焼酎におけるトライアングルテスト結果

コードNo. (処理)	選択された異なるサンプル数		
	正解	誤り	合計
215 (A) 591 (B) 421 (B)	2	3	5
165 (B) 986 (A) 516 (B)	2	3	5
998 (B) 695 (B) 783 (A)	4	1	5
892 (B) 618 (A) 285 (A)	3	2	5
915 (A) 317 (B) 220 (A)	2	3	5
355 (A) 859 (A) 907 (B)	4	1	5
合 計	17	13	30

30回のトライアングルテストにおいて、偶然17回以上の正しい判定を行う確率 $P$ は、0.007に相当し、この値は $p=0.01$ よりも小さいことから、今回のこの処理の異なる2種類のサンプル間には1%有意で検出可能な味の違いが存在することが認められた。また、この2種類のサンプルに対する味の違いを尋ねたところ、ろ過を行ったサンプルBに対しては、苦味および酸味を感じ、ろ過を行わなかったサンプルAに対しては、甘味を感じ、苦味、雑味および酸味が少ないといった回答が得られた。

#### 第2項 本格焼酎における油性成分の粒度分布

本格焼酎の常圧蒸留において初留区分はエタノール濃度が約70%と高く、エステル類や高級アルコール類を多量に含む透明な液体が留出してくる。その後、エタノール濃度約45%から白濁し始め、40%をピークに減少していく。この白濁の原因となる成分が、パルミチン酸やリノール酸などの長鎖脂肪酸およびそのエチルエステルであるといわれ、



蒸留直後の本格焼酎原酒には、これらの油性成分がエマルジョンとして存在していると考えられる。ろ過前とろ過後のいも焼酎原酒の外観とろ過前のいも焼酎原酒の光学顕微鏡観察像を図 28 に示した。

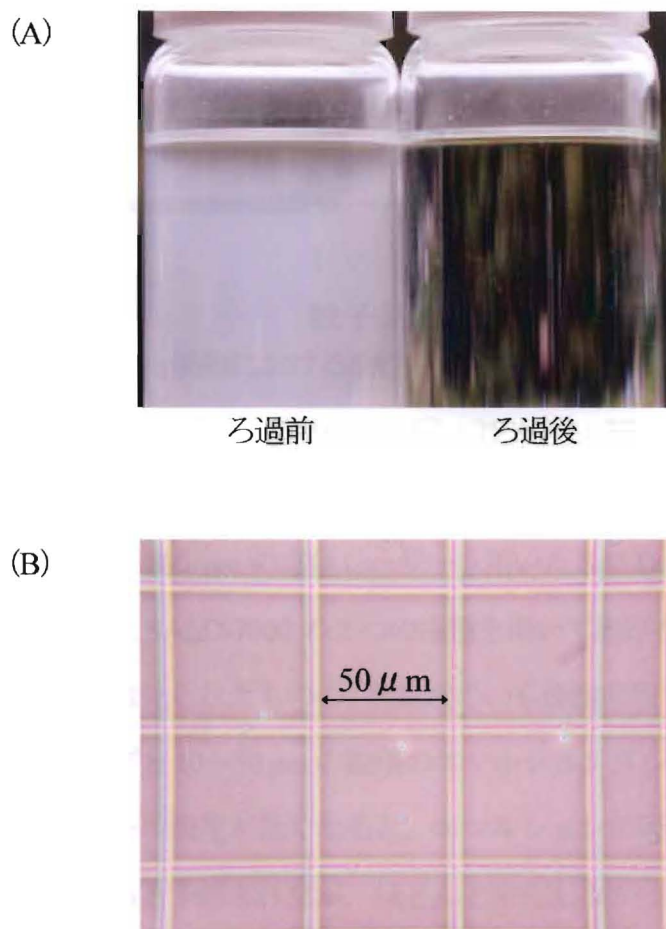


図 28 いも焼酎原酒の外観 (A) および光学顕微鏡観察像 (B)

図 28 (A) のように外観では、ハッキリと白濁しているのが確認されるが、光学顕微鏡で観察すると、エマルジョンは観察されるものの、その粒径等を計測することは極めて困難であった。そこで、レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置を用い、本格焼酎に含まれる油性成分の粒度分布測定ならびに粒径に及ぼすエタノール濃度の影響について検討を行った。図 29 に SALD-2000 を用いた粒度分布測定結果を示した。

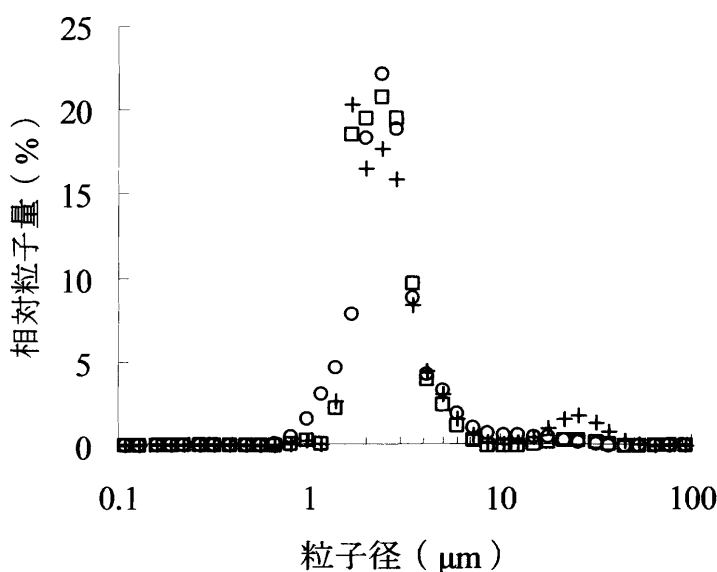


図29 いも焼酎における油性成分の粒度分布 (SALD-2000)

アルコール濃度 □ : 15%, ○ : 25%, + : 37.4% (原酒)

今回の測定では、波長 680 nm の赤色レーザーを用いた SALD-2000 と波長 405 nm の青紫色レーザーを用いた SALD-7000 の 2 つの機種を用いて測定を行った。その結果、サンプル間の微妙な違いは見られたものの、無処理のいも焼酎原酒では 0.5~10 μm の粒径のエマルシヨングループと 10~50 μm の粒径のエマルシヨングループに分かれて存在していた。また、エタノール濃度が低くなると、エマルシヨンの凝集が起こり、粒度分布が大きい方へシフトすると予想されたが、ほとんど変化しなかった。

### 第3項 ろ過による成分変化

前項により本格焼酎原酒には、概ね 0.5~10 μm のエマルシオンが含まれていることが明らかとなった。そこで、孔径 (0.2~10.0 μm) の異なるメンブランフィルターを用いてろ過を行い、その成分変化について検討を行った。

GC による分析の結果 (表 14, 図 30), 孔径の異なるフィルターでろ過を行った場合、有意にその含量が変化する成分は全て長鎖の脂肪酸エチルエステル類であった。また、前項において粒度分布測定装置により検出されたエマルシオン粒径は、0.5 μm 以上であったが、0.2 μm フィルターを用いたろ過においても長鎖脂肪酸エチルエステルの更なる

減少が認められた。

表 14 ろ過によるいも焼酎香味成分変化

成分濃度 (mg/L)	フィルター孔径 (μm)					
	0.2	0.5	1.0	5.0	10.0	unfiltered
Ethyl acetate	71.36	69.24	68.45	68.71	69.79	66.24
<i>n</i> -Propyl alcohol	84.20	83.48	83.97	83.64	83.68	83.51
Isobutyl alcohol	181.36	179.84	180.53	179.94	179.63	179.38
Isoamyl alcohol	315.18	312.24	314.37	314.27	314.04	313.44
Ethyl caproate	0.20	0.19	0.20	0.19	0.19	0.17
Ethyl caprylate	1.59	1.54	1.56	1.51	1.53	1.32
Linalool	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
Ethyl caprate	1.74	1.66	1.71	1.61	1.64	1.45
Diethyl succinate	0.60	0.60	0.61	0.60	0.36	0.32
$\alpha$ -Terpineol	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Citoronerol	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
Ethyl phenylacetate	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Nerol	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
$\beta$ -Phenethyl acetate	1.06	1.07	1.07	1.04	1.03	1.00
Ethyl laurate	0.39	0.38	0.40	0.39	0.41	0.37
Geraniol	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
Caproic acid	1.33	1.21	1.19	1.15	1.17	1.21
Phenethyl alcohol	44.45	43.94	44.83	43.73	44.24	43.16
Ethyl myristate	0.25	0.27	0.29	0.32	0.37	0.41
Caprylic acid	1.00	0.99	1.01	0.97	0.97	0.97
Ethyl cinnamate	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
Ethyl palmitate	1.09	1.42	1.73	2.30	3.22	4.38
Capric acid	0.39	0.39	0.40	0.38	0.38	0.38
Farnesol	0.27	0.27	0.28	0.27	0.28	0.28
Ethyl stearate	0.05	0.08	0.11	0.16	0.26	0.38
Ethyl oleate	0.12	0.17	0.20	0.28	0.25	0.56
Lauric acid	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.20
Ethyl linoleate	1.12	1.34	1.53	1.89	2.48	3.26
Ethyl linolenate	0.18	0.19	0.21	0.24	0.29	0.35

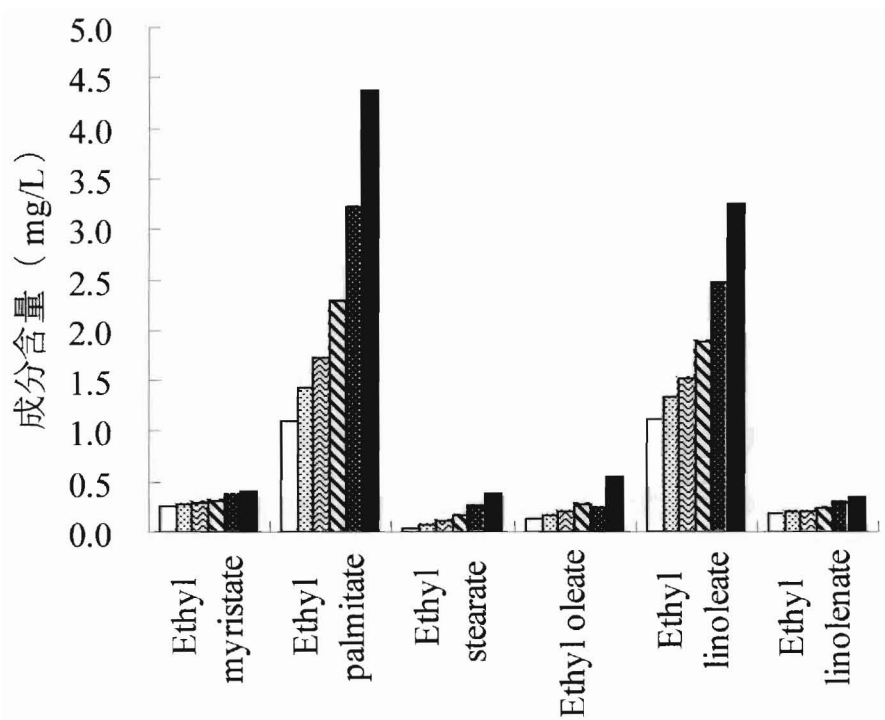


図 30 ろ過により含量が変化するイモ焼酎香味成分

□ 0.2μm   ▨ 0.5μm   ▩ 1.0μm   ▪ 5.0μm   ▫ 10.0μm   ■ unfiltered

#### 第4節 考察

レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置は、その測定原理からエマルションの絶対粒度を測定することはできない<sup>144)</sup>。また、ろ過に用いたメンブランフィルターはスクリーンフィルターに分類されるが、デプス効果等により、ろ過条件によっては、その精度に違いが生じることが予想される<sup>145)</sup>。しかし、本試験の結果から、無処理の本格焼酎には、少なくとも長鎖脂肪酸エチルエステルから成る数  $\mu\text{m}$  粒径のエマルションが、多数存在していると考えられた。更に、 $5\ \mu\text{m}$  以下のメンブランフィルターを用いてろ過を行ったサンプルでは、いずれも光散乱に起因する白濁が観察されず、十分な吸光度が得られないことから粒度分布測定装置での測定が不可能であった。しかし、GC 分析の結果、 $0.5\ \mu\text{m}$  のメンブランフィルターを用いてろ過を行ったサンプルよりも、 $0.2\ \mu\text{m}$  のメンブランフィルターを用いてろ過を行ったサンプルの方が、長鎖脂肪酸エチルエステル含量が減少しており、 $0.5\ \mu\text{m}$  以下の粒径をもつエマルションも存在する可能性が示唆された。

本格焼酎の蒸留時に共沸によって留出する油性成分は、初留 (エタノール濃度約 70%) の高濃度エタノール存在下において可溶化、つまり水の中のエタノールクラスターが作る疎水性集団に溶かし込まれていると考えられる。疎水性相互作用は、水のような高極性液体の環境下において、疎水基がはじかれて集合化し、一種の相分離を起こしているためにみられる現象であり、本格焼酎の油性成分は、その鎖の長さに対応した大きさの疎水基集団が存在しなければ可溶化しないと考えられる。蒸留が進み、エタノール濃度が約 45%以下になると、次第にエタノールクラスターが小さくなり、その大きさに対応しきれなくなった油性成分は、より長鎖の脂肪酸エチルエステルから順に析出が始まると考えられる。この際、析出した長鎖の脂肪酸エチルエステルは、その他の本格焼酎香味成分の相互作用を受けながら様々な粒径の多分散性エマルションを形成するが、本格焼酎の精製過程において大きい粒径のエマルションが除去され、その際の精製条件により長鎖脂肪酸エチルエステル含量の異なる本格焼酎製品が造り出されると考えられる。

伏木らの報告において、ラットの脂肪酸受容体の閾値は、数%であることが示唆されている<sup>132)</sup>。しかし、市販の本格焼酎には、数 mg/L の油性成分しか含まれておらず、こ

れら油性成分から飲用時に脂肪酸が遊離し、その脂肪酸を受容することで「まろやかさ」を感じているとは考えにくい。しかし、今回の官能評価の結果から、本格焼酎に含まれる油性成分が、本格焼酎の味に何らかの影響を与えており、太田や中島らの報告と同様、その他呈味成分の刺激を緩和することが示唆された。

今回、本格焼酎の味に「まろやかさ」を付与する油性成分に選択的に応答するセンサの選定を行うべく、長鎖脂肪酸エチルエステル含量の異なる本格焼酎を用いた味覚センサ測定を行ったところ、エタノールの味に選択的に応答する OE1 センサで、若干ながらエタノールとは逆の応答を示す傾向が認められた。しかし、応答が極めて小さく、サンプルによっては再現性にも欠けることから、より適した脂質および可塑剤の組成を決定すべく検討を行う予定である。また、今後この本格焼酎の「まろやかさ」に選択的に応答するセンサの開発を行うためにも、精製後の本格焼酎に含まれる油性成分の存在状態について更なる検討を行うと共に、官能に与える影響を詳細に研究し、本格焼酎の味に「まろやかさ」を与える機序の解明を行う必要があると考える。

## 第5節 小括

蒸留後、無処理のいも焼酎には長鎖脂肪酸エチルエステルから成る 0.5~10  $\mu\text{m}$  粒径のエマルジョンが、多数存在していることが確認され、このエマルジョンの存在が、本格焼酎に検出可能な味の違いを付与していることが確認された。

## 総括

本格焼酎は、清酒とならび日本を代表する酒類の一つであり、その生産数量は、現在でも右肩上がりの成長を続けている。それにもかかわらず、本格焼酎に関する研究報告は、清酒に比べると極めて少なく、特に味に関する研究は皆無である。また、カメラや温度計、マイクロホンなどヒトの五感の代わりに担う物理的計測技術がめざましく発展する中、酒類の味の評価においては、現在でも「きき酒」と呼ばれる官能評価が主流であり、ヒトの感覚量を簡易かつ正確に数値化する技術の開発が望まれている。本論文では、ヒトの基本味閾値に対応して設計され、成分間の相互作用を質的に分類し、情報とする化学的センシングデバイス；味覚センサを使用し、本格焼酎の味を客観的に、よりわかりやすく消費者に提供することのできるシステムの構築を目的とし、検討を行った。

まず、本格焼酎の味に関する研究を行うにあたり、その味に影響を与えていると考えられる無機成分について、市販の代表的な本格焼酎 24 種を対象に定性および定量分析を行った。その結果、陽イオン成分では  $\text{Na}^+$  と  $\text{Ca}^{2+}$  が、陰イオン成分では、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  および  $\text{SO}_4^{2-}$  が主に含まれていることが明らかとなった。また、醸造用水に含まれる無機成分含量との比較から本格焼酎に含まれる  $\text{Na}^+$  以外の無機成分のほとんどが希釈（割水）用の醸造用水に由来することが示唆された。

次に、味覚センサによる本格焼酎の味の測定を行うため、各種本格焼酎の識別を可能にし、再現性を向上させるための合成基準サンプル（校正液）の組成およびその使用について第 1 章の結果を基に検討を行った。その結果、合成基準サンプルの測定値を基準に各サンプルの測定値を補正することで、再現性良く本格焼酎の味を識別できることが示唆された。また、この合成基準サンプルを用い、市販の本格焼酎 41 種の測定および解析を行った結果、原料別に分類でき、しかも味の濃淡についても散布図を用いて視覚的に表現することができた。通常、新商品を開発する際には官能評価を繰り返し、従来の製品との差別化を試みるが、官能評価のみでは、表現が曖昧であり、どの程度差別化されているかを具体的に表現するには多くの時間と労力を必要とする。今回、現製品との差別化を目指して設計、開発した製品と現製品とを味覚センサを用いて測定し、クラス

ター分析により解析を行ったところ、その違いを樹形図により視覚的に表現することが出来た。以上のことから、センサから得られるデータを数学的手法により解析することで、本格焼酎の味を散布図や樹形図などを用いて視覚的に表現することが可能となり、新商品開発や工程管理に応用できると共に、消費者に分かりやすく味の違いを提示することが可能となった。

従来の食品の香味に関する研究においては、化学分析のみ、もしくは官能評価のみの報告が主であり、これらのデータを結びつけることは、極めて困難であると考えられてきた。事実、本格焼酎の官能評価における酸味強度も、単に pH や酢酸濃度のみによって決定されるものではないことが経験的に知られている。そこで、ヒトの味覚に対応して設計されたセンサを用い、ヒトの感覚量を数値化して化学分析値と結びつけることで、本格焼酎の特定の味を簡易かつ正確に評価するための検討を行った。まず本格焼酎における酢酸濃度に対応するセンサの選定を行い、更に官能評価との比較を行いながら本格焼酎の「酸味」に選択的に応答するセンサの特定を行った。その結果、AN0、CN0およびAAEセンサのようにセンサの脂質膜にリン酸エステルを使用することで、本格焼酎に含まれる「酸味」成分によく応答することが明らかとなった。以上のことから、味覚センサを用いることで簡易かつ正確にヒトの味覚に近い本格焼酎の「酸味」評価を行うことが可能となった。

本格焼酎のエタノール濃度は、20%と25%が一般的であるが、下は10%前後から、上は44%の原酒そのものを商品化した製品まで販売されており、他の酒類よりもエタノール濃度の幅は大きい。このように本格焼酎における水以外で最も多い成分は、エタノールであるにもかかわらず、その味に関する報告は皆無であった。そこで、まず本格焼酎の味のベースとなるエタノールの味を明らかにするため官能評価を軸に検討を行った。その結果、水和シエルが存在し、ある程度エタノールポリマーの刺激を抑制すると考えられる6~18%のエタノール溶液においては、エタノールに対して主に「苦味」を、それ以上の濃度のエタノール溶液に対しては強い「刺激感」と共に「甘味」も感じる事が明らかとなった。更に、エタノール濃度の異なる本格焼酎を口に含んだ際、口内の温度がどのように変化するかを調べるため、モデル実験を行った。その結果、25%以上



のエタノール溶液および本格焼酎を口に含んだ場合、舌の表面においてエタノールと水の結合による発熱が起こり、この発熱が、飲用温度による味覚感受性の変化を引き起こすことが示唆された。これは、エタノールによる TRPV1 活性化温度閾値の低下と共に本格焼酎の味、特に「甘味」の感受性に何らかの影響をおよぼすと考えられた。次にこの本格焼酎のベースとなる味（エタノールの味）に選択的に応答するセンサの特定を行った結果、AE1 センサおよびOE1 センサが、エタノールの濃度によく対応し、AE1 センサの方が、応答が大きくなることが認められた。また、この2つのセンサは、エタノールそのものに応答しているのではなく、水-アルコール類混合溶媒系における各種イオン活量の変化に応答していることから、炭素数の大きいアルコール類に対して、より大きな応答を示すことが明らかとなり、その挙動を調べることでアルコール類と本格焼酎のその他の味成分との相互作用を確認できることが示唆された。日常において本格焼酎を飲用する際、このエタノールのような刺激感を伴う「苦味」を感じることは希である。これは、熟成の効果もさることながら、本格焼酎独特の製法によって生み出される様々な成分が相互作用し、このエタノールの味を抑制しているためと考えられる。以上のことから、味覚センサを用いて本格焼酎の味を評価することで、簡易かつ正確にヒトの味覚に近い本格焼酎のベースとなる味（エタノールの味）の評価を行うことが可能となった。更に、他の本格焼酎成分を混合した際、これらのセンサ挙動を調べることで、アルコール類とその他成分との相互作用、つまりエタノールの「苦味」に対する相乗・抑制作用を確認できる可能性が示唆された。

本格焼酎にも油性成分が含まれており、パルミチン酸やリノール酸などの長鎖脂肪酸およびそのエチルエステルは、本格焼酎の味に「濃醇さ」や「まろやかさ」を与えているといわれている。しかし、その報告には経験的なものが多く、科学的根拠に乏しいものがほとんどである。そこで、これら油性成分が、本格焼酎の味に影響を与えているか否かを官能評価により明らかにすると共に、その存在状態についての検討を行った。その結果、蒸留後、無処理のいも焼酎には長鎖脂肪酸エチルエステルから成る 0.5~10  $\mu\text{m}$  粒径のエマルジョンが、多数存在していることが明らかとなり、このエマルジョンの存在が、本格焼酎に検出可能な味の違いを付与することが認められた。今回、この「まろやかさ」

に選択的に応答するセンサを特定することはできなかったが、若干ではあるが、エタノールの味に応答するセンサで逆の応答を示す傾向が認められており、今後より適したセンサを開発することで本格焼酎の「まろやかさ」をセンサで表現することも可能であると考えられる。

近年、「食品感性工学」として「おいしさ」や「食嗜好」を何らかの理工学的手法により計測することで、再現性および客観性の高い定量的データを収集し、評価しようという試みが活発化してきている。既に2004年末、九州大学を中心とした産学協同のベンチャー企業として生まれた「(株)味香り戦略研究所」では、今回使用した味覚センサから得られた様々な食品の味覚データを蓄積し、そのデータベースを企業や一般消費者に提供するサービスを開始している。本論文において、本格焼酎の味を客観的に評価する手法として味覚センサが非常に有効であり、本格焼酎の味の違いを散布図などにより、視覚的に、よりわかりやすく表現できることを示した。また、本格焼酎のある特定の味、例えば「酸味」やエタノールの「苦味」などに選択的に応答するセンサを特定することで、その味を数値化することはもちろん、それらの味に対する他成分の相互作用を確認することも可能であることを示した。これらの結果は、醸造学的に極めて有用な知見を与えると共に、本格焼酎の味の共通尺度として、製造業においては品質管理や新商品開発など様々な応用研究への利用が期待できるほか、ユビキタス・ネットワークを介してその蓄積したデータベースを活用することで、流通業においてはマーケティングリサーチなどに、個人消費者においては自分にあった商品探しなどに活用されることが期待される。

本格焼酎の味に関する研究においては、まだまだ不明な点が数多く残されているが、味覚センサを用い、今後更なる検討を行うことで、本格焼酎の「おいしさ」に迫ることができるかと確信している。

## 謝辞

本稿を終えるにあたり、終始御懇篤なご指導、御校閲を賜りました宮崎大学農学部応用生物科学科 水光正仁教授には、深甚なる謝意を表します。

また、本論文をご審査下さいました、佐賀大学農学部 加藤富民雄教授、鹿児島大学農学部 安部淳一教授、琉球大学農学部 安田正昭教授、ならびに宮崎大学農学部 榊原陽一助教授に謹んで感謝の意を表します。

味覚センサに関するご助言を賜りました株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー 小林義和様、無機成分の定量分析に関するご助言を賜りました宮崎県食品開発センター 工藤哲三博士、レーザー回折／散乱式粒度分布測定に関するご助言を賜りました宮崎県工業技術センター 清水正高様をはじめスタッフの方々に厚く御礼申し上げます。

本研究を行うにあたり、御指導、御高見を賜りました宮崎大学農学部 福田亘博教授、西山和夫助教授をはじめ応用生物科学科の諸先生方および水光・榊原研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

最後に、本研究に対し深い御理解と御支援を賜りました弊社中島勝美代表取締役社長、中島美幸代表取締役副社長、飯干勝利専務取締役、甲斐孝憲取締役研究開発部長ならびに研究開発部の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 文献

- 1) 官能評価分析一用語, 日本工業規格 JIS Z 8144 (2004. 3. 20)
- 2) 山口静子, おいしさと健康-2, 日本味と匂学会誌, **10** (2), 175-182 (2003)
- 3) 金谷節子, おいしさと健康-3, 日本味と匂学会誌, **10** (2), 197-206 (2003)
- 4) 山本隆, おいしさと健康-1, 日本味と匂学会誌, **10** (2), 173-174 (2003)
- 5) 山口静子, 玉木有子, おいしさのスケール確立に向けて-2, 日本味と匂学会誌, **11** (3), 223-236 (2004)
- 6) 山本隆, 味覚のしくみ, 「美味の構造」, 初版, (講談社, 東京), pp. 109-140(2001)
- 7) 山本隆, 味を感じるしくみ, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編 (光琳, 東京), pp. 87-116 (2003)
- 8) 増保生郎, 齋藤修, 味覚はどのように伝えられるのか, 化学と生物, **43** (6), 348-349 (2005)
- 9) 都甲潔, 味覚とは何か, 「旨いメシには理由がある」, 初版, (角川書店, 東京), pp. 17-44 (2001)
- 10) 長井孝紀, 味の末梢受容機構, 「おいしさの科学事典」, 初版, 山野善正編, (朝倉書店, 東京), pp. 19-26 (2003)
- 11) M. J. Caterina, M. A. Schumacher, M. Tominaga, T. A. Rosen, J. D. Levine and D. Julius, The capsaicin receptor : a heat-activated ion channel in the pain pathway, *Nature*, **389** (23 October), 816-824 (1997)
- 12) D. D. Mckemy, W. M. Neuhausser and D. Julius, Identification of a cold receptor reveals a general role for TRP channels in thermosensation, *Nature*, **416** (7 March), 52-58 (2002)
- 13) 富永真琴, 生体はいかに温度をセンスするか - TRP チャンネル温度受容体 -, 日本生理学雑誌, **65** (4/5), 130-137 (2003)
- 14) M. Trevisani, D. Smart, M. J. Gunthorpe, M. Tognetto, M. Barbieri, B. Campi, S. Amadesi, J. C. Jerman, S. J. Brough, D. Owen, G D. Smith, A. D. Randall, S. Harrison, A. Bianchi, J. B. Davis and P. Geppetti, Ethanol elicits and potentiates nociceptor responses via the

- vanilloid receptor-1 , *Nature neuroscience*, **5** (6), 546-551 (2002)
- 15) 今田純雄, 坂井信之, 温度と味の関係, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 145-149 (2003)
  - 16) 相良泰行, 食品感性工学のパラダイム, 「おいしさをさぐる食品感性工学」, 初版, (社) 農林水産技術情報協会編, (化学工業日報社, 東京), pp. 1-28 (2004)
  - 17) 都甲潔, おいしさのスケール確立に向けて-1, 日本味と匂学会誌, **11** (3), 221-222 (2004)
  - 18) 都甲潔, 池崎秀和, おいしさのスケール確立に向けて-3, 日本味と匂学会誌, **11** (3), 237-247 (2004)
  - 19) P. E. McGovern, J. Zhang, J. Tang, Z. Zhiqing, G R. Hall, R. A. Moreau, A. Nunez, E. D. Butrym, M. P. Richards, C. S. Wang, G. Cheng, Z. Zhao and C. Wang, Fermented beverages of pre- and proto-historic China, *Proceeding of National Academy of Science USA*, **101** (51), 17593-17598 (2004)
  - 20) アルコールの性質一般, 「アルコールハンドブック」, 第1版, (社) アルコール協会・(財) バイオインダストリー協会編, (技報堂出版, 東京), pp. 3-12 (1997)
  - 21) 原子や分子の集合体の謎をさぐる, 「分子科学者がいどむ 12 の謎」, 分子科学研究所編, (化学同人, 京都), pp. 31-45 (2005)
  - 22) 西谷尚道, 本格焼酎の歴史, 「本格焼酎製造技術」, (日本醸造協会, 東京), pp. 1-6 (1991)
  - 23) 櫻井民雄, 6年連続史上最高更新した焼酎乙類, 酒類食品統計月報, **47** (6), 57-61 (2005)
  - 24) 岩野君夫, 三上重明, 福田清治, 椎木敏, 島田豊明, 米焼酎と麦焼酎の発酵歩合の違いについて, 日本醸造協会誌, **82** (9), 661-664 (1987)
  - 25) 岩野君夫, 能勢晶, 三上重明, 椎木敏, 焼酎製造における原料特性について, 日本醸造協会誌, **84** (1), 55-57 (1989)
  - 26) 岩野君夫, 三上重明, 福田清治, 能勢晶, 椎木敏, 焼酎白麹の各種酵素生産に及ぼす製麹条件の影響, 日本醸造協会誌, **82** (3), 200-204 (1987)

- 27) 伊藤欣哉, 和久豊, 竹内良和, 神谷直方, 村井總一郎, 高生酸性焼酎麹菌の造成, 日本醸造協会誌, **85** (1), 57-60 (1990)
- 28) 高峯和則, 瀬戸口真治, 亀澤浩幸, 神渡巧, 緒方新一郎, 尾ノ上国昭, 濱崎幸男, 焼酎酵母の分離に関する研究, 鹿児島県工業技術センター研究報告, **8**, 1-6 (1994)
- 29) 高下秀春, 大森菜奈子, 大森俊郎, 下田雅彦, 大麦焼酎より分離した焼酎酵母の育種, 日本醸造協会誌, **90** (11), 878-882 (1995)
- 30) 谷村健, 濱田明美, 鬼束楠里, 野崎直樹, 甲斐孝憲, 小川喜八郎, 宮崎県沿岸日向灘海域からの焼酎用酵母の分離とその特性, 日本醸造協会誌, **100** (1), 56-64 (2005)
- 31) 太田剛雄, 甘藷焼酎の香気, 日本醸造協会誌, **86** (4), 250-254 (1991)
- 32) 境田博至, 中原徳昭, 渡司奈穂子, 甲斐孝憲, 中島美幸, 榊原陽一, 西山和夫, 福田亘博, 水光正仁, 蕎麦焼酎の特徴香および穀類本格焼酎の揮発性成分分析, 日本食品科学工学会誌, **50** (12), 555-562 (2003)
- 33) 境田博至, 渡司奈穂子, 中原徳昭, 甲斐孝憲, 榊原陽一, 西山和夫, 水光正仁, Retronasal Aroma Simulator を用いた穀類本格焼酎の含み香と立ち香, 日本食品科学工学会誌, **52** (1), 19-26 (2005)
- 34) 福家眞也, 呈味成分, 「おいしさの科学事典」, 初版, 山野善正編, (朝倉書店, 東京), pp. 79-84 (2003)
- 35) 栗原堅三, 塩味, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 46-50 (2003)
- 36) 福家眞也, 食品の味, 「おいしさの科学」, 初版, 山野善正, 山口静子編, (朝倉書店, 東京), pp. 69-81 (1994)
- 37) 川畑愛義, おいしい水の科学的条件とは, 「水博士の体によい水, 安全な水」, 初版, (講談社, 東京), pp. 21-27 (1998)
- 38) 古市明紀, 酒造用水, 「最新 酒造講本」, (日本醸造協会, 東京), pp. 22-33 (1980)
- 39) 玉城武, 桑原健治, 長嶺順子, 高江洲朝清, 泡盛新酒とカメ熟成古酒の金属成分含量の差異, 日本醸造協会誌, **78** (12), 973-976 (1983)

- 40) 櫻井民雄, 第2次焼酎ブーム迎えるか焼酎乙類, 酒類食品統計月報, **45** (5), 65-69 (2003)
- 41) 浜田知久馬, データの要約, 「学会・論文発表のための統計学」, 第1版, (真興交易株医書出版部, 東京), pp. 39-65 (2004)
- 42) 山口和範, 記述統計, 「よくわかる統計解析の基本と仕組み」, 第1版, (株式会社秀和システム, 東京), pp. 21-66 (2003)
- 43) 清酒編 第Ⅱ章 無機成分, 「醸造物の成分」, 初版, 荒巻功編, (日本醸造協会, 東京), pp. 8-15 (1999)
- 44) 江島正, 橋本直樹, ビールの官能検査, 日本醸造協会誌, **78** (7), 513-518 (1983)
- 45) 佐藤信, 大場俊輝, 福田整, 酒類検査パネル訓練法の開発と標準化 (第1報) 官能検査パネル選定のための嗅力および甘味・酸味識別能力の判定法 (その1), 日本醸造協会誌, **78** (8), 629-632 (1983)
- 46) 大場俊輝, 中村欽一, 佐藤信, 酒類検査パネル訓練法の開発と標準化 (第2報) 官能検査パネル選定のための嗅力および甘味・酸味識別能力の判定法 (その2), 日本醸造協会誌, **79** (5), 343-348 (1984)
- 47) 大場俊輝, 中村欽一, 佐藤信, 酒類検査パネル訓練法の開発と標準化 (第3報) 甘味・酸味・塩から味・苦み刺激閾値の測定, 日本醸造協会誌, **79** (9), 656-658 (1984)
- 48) 吉沢淑, 高橋康次郎, 宮崎伸一, 戸塚昭, 大場俊輝, 青柳尚徳, 荻野一郎, 佐藤茂生, 西村驥一, ウイスキーの官能評価 (第1報) プロファイル法によるウイスキーの官能評価, 日本醸造協会誌, **80** (7), 480-484 (1985)
- 49) 吉沢淑, 高橋康次郎, 中村欽一, ウイスキーの官能評価 (第2報) ウイスキーの官能評価値と成分との関係, 日本醸造協会誌, **80** (10), 682-686 (1985)
- 50) 浜崎幸男, 瀬戸口真治, 山口巖, 西元研了, 焼酎の成分分析と官能評価の結果について, 鹿児島県工業技術センター研究報告 No.3, 5-17 (1989)
- 51) 山本奈美, 戸塚昭, ノーズ・クリップ法によるワインの官能評価, 日本醸造協会誌, **85** (5), 341-344 (1990)
- 52) 馬渡雅夫, 多変量解析によるビールの官能特性の評価とその応用, 日本醸造協会

- 誌, **86**(6), 405-410(1991)
- 53) 川瀬直樹, 小山淳, 松丸克己, 野本秀正, 井本吉彦, 上田護国, 高橋利郎, 桑原健治, 伊藤康, 清酒の官能評価に及ぼす共存する味の影響について, 日本醸造協会誌, **89**(1), 77-79(1993)
- 54) 佐藤和夫, 蓼沼誠, 酒類評価に関する感性情報処理(第1報) ニュートラル・ネットワークによる清酒の官能評価データの解析, 日本醸造協会誌, **90**(10), 787-795(1995)
- 55) 佐藤和夫, 須藤茂俊, 大場俊輝, 蓼沼誠, 酒類評価に関する感性情報処理(第2報) 官能評価パネルによる清酒のカテゴリー評価と感性情報の想記および記憶の違いについて, 日本醸造協会誌, **91**(10), 745-752(1996)
- 56) 吉沢淑, 鈴木大介, 進藤斉, 角田潔和, 小泉武夫, 清酒香気成分添加の香味への影響, 日本醸造協会誌, **92**(3), 217-223(1997)
- 57) 山根善治, 武宮重人, 川瀬直樹, 佐伯宏, 清酒中の脂肪酸が官能評価に与える影響, 日本醸造協会誌, **92**(3), 224-227(1997)
- 58) 古庄重樹, ビール官能評価法について, 日本醸造協会誌, **97**(3), 178-187(2002)
- 59) 木田信, 鶴山勝也, 吉留朋尚, 牧則光, 西谷尚道, 本格焼酎と泡盛およびホワイトスピリッツの香味成分による類別(第1報) 東洋産および西洋産蒸留酒の成分組成, 平成14年度日本醸造学会大会講演要旨集, p.20, 東京(2002)
- 60) 牧則光, 吉留朋尚, 西谷尚道, 本格焼酎と泡盛およびホワイトスピリッツの香味成分による類別(第2報) 蒸留酒の香味成分による類別および「味わい」指標値の分布, 平成14年度日本醸造学会大会講演要旨集, p.20, 東京(2002)
- 61) 宇都宮仁, 清酒官能評価パネルの選抜・訓練法, 日本醸造協会誌, **98**(5), 312-321(2003)
- 62) K. Toko, Beer. In “Biomimetic Sensor Technology”, (Cambridge University Press), pp. 149-151, (2000)
- 63) T. Fukunaga, K. Toko, S. Mori, Y. Nakabayashi and M. Kanda, Quantification of taste of coffee using sensor with global selectivity, *Sensors and Materials*, **8**(1), 47-56(1996)



- 64) 福永泰司, 池崎秀和, 都甲潔, 平吹修一, 味覚センサを用いたコーヒーの味の定量化, 電気学会ケミカルセンサ研究会, **CHS-02-44**, 135-139 (2002)
- 65) 中山繁喜, 斉藤博之, 桜井廣, 中井博康, 池崎秀和, 味覚センサによる酒質評価, 岩手県工業技術センター研究報告, **2**, 97-101 (1995)
- 66) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri, and S. Baba, Analysis of sake taste using multielectrode taste sensor, *Sensors and Materials*, **7** (4), 261-270 (1995)
- 67) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri, and S. Baba, Analysis of sake mash using multichannel taste sensor, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, **82** (4), 371-376 (1996)
- 68) 塚谷忠之, 都甲潔, エタノールセンサーの開発と応答機構の解明, 福岡県工業技術センター研究報告, 74-79 (1998)
- 69) 飯山悟, 池田知宏, 都甲潔, 八尋美希, マルチチャンネル味覚センサを用いた醤油の味の評価, 日本食品科学工学会誌, **44** (9), 615-622 (1997)
- 70) S. Iiyama, M. Yahiro and K. Toko, Quantitative sensing of mineral water with multichannel taste sensor, *Sensors and Materials*, **7** (3), 191-201 (1995)
- 71) 山田広美, 都甲潔, 土井豊彦, 溝田泰達, 渡部良三, 飯山悟, 味覚センサを用いた牛乳の味の高感度検出, 電気学会物理センサ研究会, **CS-96-21**, 227-234 (1996)
- 72) 谷口晃, 池崎秀和, 味覚センサー, *ぶんせき*, **8**, 408-414 (2001)
- 73) 都甲潔, 味覚センサー, 「味とにおいの分子認識」, 初版, 日本化学会編 (学会出版センター, 東京), pp. 113-121 (2000)
- 74) 都甲潔, 味覚センサー, 「旨いメシには理由がある」, 初版, (角川書店, 東京), pp. 85-128 (2001)
- 75) 都甲潔, 味覚センサ, 「感性バイオセンサ」, 初版, 都甲潔編, (朝倉書店, 東京), pp. 130-185 (2001)
- 76) 都甲潔, 宮城幸一郎, 味覚センサ, 「センサがわかる本」, 第1版, (オーム社, 東京), pp. 167-211 (2002)

- 77) 都甲潔, 味覚センサー, 「味覚を科学する」, 初版, (角川書店, 東京), pp.145-197 (2002)
- 78) 池崎秀和, 谷口晃, 都甲潔, マルチチャンネル味センサーの測定方法の改良による情報量の増加, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン準部門誌), **118-E** (11), 506-512 (1998)
- 79) 菅民郎, 主成分分析, 「Excel で学ぶ多変量解析入門」, 第1版, (オーム社, 東京), pp. 173-202 (2001)
- 80) 内田治, 菅民郎, 高橋信, 主成分分析, 「EXCEL アドインによる多変量解析」, 第1刷, (東京図書, 東京), pp.103-126 (2003)
- 81) 長谷川勝也, 主成分分析, 「これならわかる多変量解析」, 初版, (技術評論社, 東京), pp. 103-180 (2002)
- 82) 内田治, 菅民郎, 高橋信, クラスタ分析, 「EXCEL アドインによる多変量解析」, (東京図書, 東京), pp. 155-176 (2003)
- 83) 本格焼酎, 「醸造物の成分」, 初版, 家藤治幸, 嶋崎孝行, 弥永俊次, 瀬戸口眞治, 工藤哲三, 下田雅彦, 高下秀春, 米元俊一編, (日本醸造協会, 東京), pp. 109-142 (1999)
- 84) K.Toko and T. Nagamori, Biosensors. Quantitative expression of mixed taste of amino acids using multichannel taste sensor, Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan, **119-E** (11), 528-531 (1999)
- 85) 都甲潔, 応答メカニズム, 「おいしさをさぐる食品感性工学」, 初版, (社) 農林水産技術情報協会編, (化学工業日報社, 東京), pp. 95-99 (2004)
- 86) 宮野信之, 岩田博, 新里修一, 高宮義治, 藤田正邦, 志垣邦雄, 忍頂寺晃嗣, 中尾俊幸, 田中康, 本格焼酎官能審査用語の整理について (I) — 本格焼酎を造る人, 売る人, 審査鑑定する人のために —, 日本醸造協会誌, **75** (9), 698-703 (1980)
- 87) 宮野信之, 岩田博, 新里修一, 高宮義治, 藤田正邦, 志垣邦雄, 忍頂寺晃嗣, 中尾俊幸, 田中康, 本格焼酎官能審査用語の整理について (II) — 本格焼酎を造る人, 売る人, 審査鑑定する人のために —, 日本醸造協会誌, **75** (12), 953-959 (1980)

- 88) 宮野信之, 岩田博, 新里修一, 高宮義治, 藤田正邦, 志垣邦雄, 忍頂寺晃嗣, 中尾俊幸, 田中康, 本格焼酎官能審査用語の整理について (Ⅲ) - 本格焼酎を造る人, 売る人, 審査鑑定する人のために -, 日本醸造協会誌, **76** (1), 22-27 (1981)
- 89) 吉澤淑, ビール、ワイン、清酒を比較する, 日本味と匂学会誌, **7** (2), 211-218 (2000)
- 90) S. Ugawa, Y. Minami, W. Guo, Y. Saishin, K. Takatsuji, T. Yamamoto, M. Tohyama and S. Shimada, Receptor that leaves a sour taste in the mouth, *Nature*, **395** (8 October), 555-556 (1998)
- 91) 鶴川真也, 島田昌一, 味覚のレセプターの構造, 日本生物物理学会誌, **40** (2), 105-110 (2000)
- 92) 栗原堅三, 酸味, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 50-51 (2003)
- 93) 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (1), 日本食品科学工学会誌, **48** (4), 311-320 (2001)
- 94) 乾隆子, 中川正, 長時間および短時間連続精神的作業負荷による苦味感受性への影響 - その1 -, 日本味と匂学会誌, **2** (3), 455-458 (1995)
- 95) 中川正, 乾隆子, ストレス状態における味の感受性, 日本官能評価学会誌, **1** (1), 18-23 (1997)
- 96) 中川正, ストレスと苦味, 「最新 味覚の科学」, 初版, 佐藤昌康, 小川尚編 (朝倉書店, 東京), pp. 83-89 (1997)
- 97) 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (3), 日本食品科学工学会誌, **48** (6), 453-466 (2001)
- 98) 対応のあるk標本データの解析, 「統計解析ハンドブックノンパラメトリック法」, 初版, 田中豊, 垂水共之編 (共立出版, 東京), pp. 96-109 (1999)
- 99) 伊豆津公佑, 非水溶液の pH 尺度, 「非水溶液の電気化学」, 初版, (培風館, 東京), pp. 57-64 (1995)
- 100) 伊豆津公佑, 非水溶液の pH 測定法, 「非水溶液の電気化学」, 初版, (培風館, 東京), pp. 144-149 (1995)
- 101) 都甲潔, アミノ酸, 「感性バイオセンサ」, 初版, (朝倉書店, 東京), pp. 100-104 (2001)

- 102) 若山信行, 浦谷善彦, 生体膜の基本構造 — 動的構造が特徴, 「生体膜の分子 — その姿, かたち, 振る舞い — », 初版, (共立出版, 東京), pp. 23-26 (1994)
- 103) S. Martin and R. M. Pangborn, Taste interaction of ethyl alcohol with sweet, salty, sour and bitter compounds, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **21** (12), 653-655 (1970)
- 104) B. G. Green, Spatial and temporal factors in the perception of ethanol irritation on the tongue, *Perception and Psychophysics*, **44** (2), 108-116 (1988)
- 105) 飯野修一, 渡辺正平, 低発酵性ワイン酵母による低アルコール清酒の醸造, 山梨県工業技術センター研究報告, **2**, 89-94 (1988)
- 106) 梶浦英明, 嶋本久美子, 横向慶子, エタノールがビールの味に及ぼす影響, *日本味と匂学会誌*, **5** (3), 375-378 (1998)
- 107) 梶浦英明, 横向慶子, 大野寿彦, エタノールの味, *日本味と匂学会誌*, **6** (2), 139-144 (1999)
- 108) 古川秀子, 官能検査の方法および解析法, 「おいしさを測る», 初版, (幸書房, 東京), pp. 19-61 (1994)
- 109) 佐藤信, 採点法, 「統計的官能検査法», 初版, (日科技連出版社, 東京), pp. 169-224 (1985)
- 110) 戸田準, カテゴリー尺度上のばらつき, *日本官能評価学会誌*, **6** (2), 146-151 (2002)
- 111) 都築洋次郎, 甘味物質と化学構造, 「味覚・嗅覚の科学», 初版, 佐藤昌康編, (朝倉書店, 東京), pp. 351-376 (1972)
- 112) 有吉安男, 甘味の化学, 「化学総説, No.14, 味とにおいの化学», 初版, (日本化学会, 東京), pp. 85-128 (1976)
- 113) 佐藤昌康, 味覚と温度, 「調理科学講座 1 基礎調理学 I」, 第 5 版, 下田吉人編, (朝倉書店, 東京), pp. 140-142 (1967)
- 114) 時実利彦, 味覚と温度, 「新調理科学講座 2 調理と物理・生理」, 第 4 版, 下田吉人, 松元文子, 元山正, 福場博保編, (朝倉書店, 東京), pp. 16 (1976)
- 115) 赤羽ひろ, 温度, 「調理科学講座 1 調理とおいしさの科学」, 初版, 島田淳子, 下村道子編, (朝倉書店, 東京), pp. 137-138 (1993)

- 116) 畑江敬子, 食品の温度, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 82-84 (2003)
- 117) 今田純雄, 坂井信之, 温度と味の関係, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 145-149 (2003)
- 118) 茅幸二, 西信之, 液体中でのクラスター形成と構造発生, 「クラスター」, 初版, (産業図書株式会社, 東京), pp. 91-128 (1995)
- 119) 西信之, 液相から分離したクラスター, 「クラスターの化学」, 初版, 梶本興亜編 (培風館, 東京), pp. 257-280 (1992)
- 120) 西信之, 溶液モデルとしての2成分クラスター, 「化学総説, No.25, 溶液の分子論的描像」, 初版, (日本化学会, 東京), pp. 201-212 (1995)
- 121) 山田恭正, 中谷延二, 苦味と化学構造, 「化学総説, No.40, 味とにおいの分子認識」, 初版, (日本化学会, 東京), pp. 72-83 (1999)
- 122) ニノ宮裕三, 味覚感受性と遺伝, 「最新 味覚の科学」, 初版, 佐藤昌康, 小川尚編, (朝倉書店, 東京), pp. 37-46 (1997)
- 123) A. Cruz and B. G Green, Thermal stimulation of taste, *Nature*, **403** (24 February), 889-892 (2000)
- 124) 塚谷忠之, 都甲潔, 脂質膜のエタノール応答, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン準部門誌), **118-E** (5), 266-271 (1998)
- 125) T. Tsukatani and K. Toko, Determination of Ethanol in Sake Mash by a Chloride Ion-Selective Electrode, *Food Science and Technology Research*, **5** (1), 43-47 (1999)
- 126) T. Tsukatani and K. Toko, Ethanol Sensor Using Two Chloride Ion-Selective Polymeric Membrane Electrodes, *Food Science and Technology Research*, **5** (2), 223-226 (1999)
- 127) 伊豆津公佑, イオンの溶媒和・錯形成と電解質の挙動, 「非水溶液の電気化学」, 初版, (培風館, 東京), pp. 15-40 (1995)
- 128) 畑江敬子, 基本味で表せない味わい, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 62-71 (2003)

- 129) 畑江敬子, 脂質の与える味, 「食品と味」, 初版, 伏木亨編, (光琳, 東京), pp. 71-77 (2003)
- 130) 太田静行, 坂本泰志, 近藤勝彦, 日下兵衛, 五味に及ぼす油脂の影響, 油化学, **28** (5), 321-327 (1979)
- 131) 中島清人, 村田裕子, 笹本一茂, 二ノ宮裕三, 水産物の呈味成分と脂質の味覚応答, 「水産食品の健康性機能」, 初版, 山澤正勝, 関伸夫, 奥田拓道, 竹内昌昭, 福家眞也編, (恒星社厚生閣, 東京), pp. 86-98 (2001)
- 132) T. Kawai and T. Fushiki, Importance of lipolysis in oral cavity for orosensory detection of fat, *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **285** (8), R447-R454 (2003)
- 133) 鮫島吉廣, 品質管理, 「本格焼酎製造技術」, (日本醸造協会, 東京), pp. 281-294 (1991)
- 134) 菅間誠之助, 西谷尚道, 河内邦英, 本格焼酎の熟成に関する研究 (第1報), 日本醸造協会誌, **70** (10), 739-742 (1975)
- 135) 西谷尚道, 荒巻功, 菅間誠之助, 本格焼酎の貯蔵過程で生成する油臭物質の同定 1, 醸酵工学会誌, **56** (3), 182-187 (1978)
- 136) 西谷尚道, 山川宗克, 荒巻功, 菅間誠之助, 本格焼酎の貯蔵過程で生成する油臭物質の同定 2, 醸酵工学会誌, **56** (3), 188-193 (1978)
- 137) 西谷尚道, 久保井雅男, 菅間誠之助, 本格焼酎の油臭前駆物質のろ過による除去, 日本醸造協会誌, **72** (4), 310-313 (1977)
- 138) 西谷尚道, 菅間誠之助, 本格焼酎における油臭関連物質の溶解特性, 日本醸造協会誌, **73** (4), 311-313 (1978)
- 139) 西谷尚道, 久保井雅男, 菅間誠之助, 本格焼酎に存在する油性成分の蒸留および備吸着による除去, 日本醸造協会誌, **73** (4), 314-317 (1978)
- 140) 西谷尚道, 荒巻功, 久保井雅男, 菅間誠之助, 油臭発現を防止するための貯蔵管理法の検討, 日本醸造協会誌, **73** (4), 318-320 (1978)
- 141) 高峯和則, 木田健次, 園田頼和, 生田六也, 塚田定清, 糖化酵素を用いた芋焼酎

- 製造における香味成分の検討, 日本醸造協会誌, **85** (11), 825-830 (1990)
- 142) 丸山新次, 焼酎の熟成, 日本醸造協会誌, **95** (8), 577-582 (2000)
- 143) 相島鐵郎, 食品ラボにおける官能評価 (2), 日本食品科学工学会誌, **48** (5), 372-392 (2001)
- 144) 岩井秀隆, エマルションの評価, 「界面と界面活性剤」, 第1版, 「界面と界面活性剤」編集委員会編, (日本油化学会, 東京), pp. 210-215 (2005)
- 145) 大矢晴彦, ろ過理論, 「食品工業と膜利用」, 初版, (幸書房, 東京), pp. 20-27 (1983)