味覚センサを用いた本格焼酎の味評価[†]

中原徳昭^{*,**}, 境田博至^{*,**}, 甲斐孝憲^{*}, 榊原陽一^{***},
西山和夫^{***}, 福田亘博^{***}, 水光正仁^{*** §}

^{*} 雲海酒造株式会社

^{**} 鹿児島大学大学院連合農学研究科

^{***} 宮崎大学農学部応用生物科学科

Taste Evaluation of *Honkakushochu* with Taste Sensor
(Research on the Taste of *Honkakushochu* Part I)

Noriaki Nakahara^{*,**}, Hiroshi Sakaida^{*,**}, Takanori Kai^{*}, Yoichi Sakakibara^{***},
Kazuo Nishiyama^{***}, Nobuhiro Fukuda^{***} and Masahito Suiko^{*** §}

^{*} Unkai Shuzo Co., Ltd., 1800-5, Minamimata, Aya, Miyazaki 880-1303

^{**} The United Graduate School of Agricultural Science Kagoshima University,
1-21-24, Koorimoto, Kagoshima 890-0065

^{***} Department of Biochemistry and Applied Biosciences, Miyazaki University,
1-1, Gakuenkibanadainisi, Miyazaki 889-2192

The possibility of use of taste sensors equipped with lipid/polymer membranes as one of the techniques which evaluate the taste of *Honkakushochu* was investigated. First, in order to determine chemical composition of a standard sample, the inorganic component of *Honkakushochu* was analyzed. The most abundant cation was sodium ion and the richest anion was chloride ion. These ions are considered to be brought in from the mother water used for dilution of *Honkakushochu*. Next, the measurement with sufficient reproducibility became possible by preparing the standard sample for the taste sensor suitable for evaluation of *Honkakushochu*. Measuring 41 kinds of *Honkakushochu* including rice, barley, sweet potato, buckwheat, brown sugar *shochu* and *awamori* using 8 taste sensors enabled to classify them based on their materials. Moreover, visual expression was able to be obtained about the taste patterns. Analyses of the data obtained from the taste sensor using the statistical techniques such as principal component analysis and cluster analysis suggested that the taste sensor could be useful for new product development or process control of *Honkakushochu*.

(Received Jul. 26, 2004 ; Accepted Jan. 21, 2005)

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、パネリストの個人差や体調、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・再現性にかかるという欠点がある。一方、ガスクロマトグラフィー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 種類以上存在する成分がどのように影響し合い、食品の味を構成している

かを知ることが非常に困難である。これまでも酒類の味を客観的に評価する方法としてプロファイル法や 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^{1)~18)}。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¹⁹⁾やコーヒー^{20), 21)}、日本酒^{22)~25)}、醤油²⁶⁾、ミネラルウォーター²⁷⁾、牛乳²⁸⁾など食品の微妙な味の識別が可能となってきた。

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

[†] 本格焼酎の味に関する研究 (第 1 報)

^{*} 〒880-1303 宮崎県東諸県郡綾町大字南俣 1800-5

^{**} 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24

^{***} 〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

[§] 連絡先 (Corresponding author), msuiko@cc.miyazaki-u.ac.jp

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、情報とする²⁹⁾。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」を作ろうという試みが九州大学の都甲らを中心に行われている^{30)~34)}。

本研究では、本格焼酎の味に関する研究を行うにあたり、本格焼酎の味を客観的に評価する手法の一つとして味覚センサを用い、市販されている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のでここに報告する。

実 験 方 法

1. 味覚センサ

(i) 装 置

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、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み、その際生じた脂質膜電位をA/D変換してコンピュータに取り込み、数学的处理により解析する装置である(図1参照)。

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 μ 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1参照)を使用した。

(ii) 測定方法

測定方法は、CPA測定を採用した。測定に使用した各種溶液の組成を表2に、測定手順の概略を図2に示す。

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(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 ± 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。二組の基準液を用いてそれぞれ3秒間ずつ2回、簡単に共洗いた後、CPA測定液(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)→②→③→…→基準サンプル(①)→②→③→…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

図 1 味覚センサの概要

表 1 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	Trioctylmethylammonium chloride	DOPP*
		Phosphoric acid di-(2-ethylhexyl) ester	
	0E1	Tetradodecyl ammonium bromide Tetradodecyl alcohol (TDA)	DOPP*

DOPP*: Dioctylphenyl phosphonate

NPOE**: 2-nitrophenyloctyl ether

表 2 基準液・洗浄液の組成

溶液名	組 成
基準液	
安定液	30 mmol/l KCl+0.3 mmol/l 酒石酸
CPA 値測定液	
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 2 CPA 測定手順

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 ($Vr'-Vr$) を CPA 値、つまり吸着性の味覚情報とした。CPA とは、Change of membrane potential caused by adsorption の略であり、1 本のセンサから、このように 2 つの情報が得られる測定法のことである³⁵⁾。

(iii) 解析方法

5 回の測定値のうち、後半 3 回の測定値について解析を行った。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。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、 $\text{識別分解能} = [\text{各サンプル内の測定誤差の平均二乗和}] \times 100 / [\text{サンプル群間のバラツキの平均二乗和}]$ 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^{36)~38)}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³⁹⁾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。

2. サンプル及びサンプルの調製

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⁴⁰⁾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は以下の通りである。

麦焼酎：

m-1 (宮崎), m-2 (大分), m-3 (大分), m-4 (宮崎), m-5 (福岡), m-6 (鹿児島), m-7 (宮崎)

米焼酎：

k-1 (宮崎), k-2 (熊本), k-3 (東京), k-4 (熊本), k-5 (熊本), k-6 (熊本), k-7 (大分), k-8 (鹿児島), k-9 (熊本)

いも焼酎：

i-1 (宮崎), i-2 (鹿児島), i-3 (宮崎), i-4 (鹿児島), i-5 (鹿児島), i-6 (宮崎), i-7 (鹿児島), i-8 (鹿児島), i-9 (鹿児島), i-10 (鹿児島), i-11 (鹿児島), i-12 (鹿児島)

そば焼酎：全て宮崎産

s-1, s-2, s-3, s-4

黒糖焼酎：全て奄美大島産

b-1, b-2, b-3, b-4

泡盛：全て沖縄産

a-1, a-2, a-3, a-4, a-5

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。

3. 本格焼酎の無機成分の測定

(i) 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金属成分の定性分析は、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/cm³, 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。

(ii) 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アニオン成分及びカチオン成分の定量は、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。アニオン分析の条件は、ガードカラム: IonPac AG12A (4×50 mm)、アニオンカラム: IonPac AS12A (4×200 mm)、サプレッサー: ASRS-ULTRA4-mm、溶離液: AS12A (2.7 mmol/L Na₂CO₃, 0.3 mmol/L NaHCO₃)、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 IV7 種混合 (関東化学: 東京) を用いた。カチオン分析の条件は、ガードカラム: IonPac CG12A (4×50 mm)、アニオンカラム: IonPac CS12A (4×200 mm)、サプレッサー: CSRS-ULTRA4-mm、溶離液: CS12A (20 mmol/L CH₃SO₃H)、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 II6 種混合 (関東化学: 東京) を用いた。測定サンプルは、味覚センサ測定に用いるサンプルからランダムに選択し、麦焼酎から 4 種類 (m-1, 2, 3, 4)、米焼酎から 4 種類 (k-1, 3, 8, 9)、いも焼酎から 5 種類 (i-1, 2, 5, 6, 7)、そば焼酎から 3 種類 (s-1, 2, 3)、黒糖焼酎から 4 種類 (b-1, 2, 3, 4)、泡盛から 4 種類 (a-1, 2, 4, 5)、計 24 サンプルを用いた。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 3 参照) を用いて表した^{41), 42)}。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とし、小さい方から数えて 25%, 75% に位置する値 (パーセンタイル) 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。

実験結果および考察

本格焼酎の定義では、「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」

とあり、様々な原料から造られているのが本格焼酎の特徴の一つである。しかし、一般的に入手できる本格焼酎は、麦・いも・米・そばの四大原料からなるものと、黒糖を原料とした奄美大島限定の黒糖焼酎、黒麹菌を用い、米麴のみを発酵させた沖縄の泡盛の 6 種類が主である。そこで、これら 6 種類の本格焼酎をサンプルとし、味覚センサによりその微妙な味の違いが識別可能か否か、測定を試みた。

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ことがある。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、これら 2 つ条件を満たす合成基準サンプルを作成するにあたり、本格焼酎に含まれる成分からその組成を決定するため、市販本格焼酎の無機成分の測定を行った。

1. 本格焼酎に含まれる無機成分の定性・定量

本格焼酎は、蒸留により留出してきた揮発性成分を冷却・回収したものであるため、金属などの無機成分はほとんど含まれていない筈である。しかし、醸造設備や原酒の希釈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⁴³⁾の通り、貯蔵に用いる素焼きの陶器から金属成分が溶出するとされている。そこで、まず市販されている本格焼酎に含まれる代表的な金属成分を調べるため、高周波誘導プラズマ (ICP) 発光分析による 23 種類の金属成分の定性分析を行った。その結果、本格焼酎には、Ca > Na > Mg > K の順に金属成分が含まれていることが分かった。これは、醸造用水の組成に近い⁴⁴⁾ことから、カチオンは Ca²⁺・Na⁺を中心に 6 成分、アニオンは醸造用水に多く含まれる Cl⁻を中心に 7 成分についてイオンクロマトグラフィーによる定

図 3 本格焼酎 (AL 15.0%) に含まれる無機成分の箱ひげ図

量分析を行った。今回の測定には、各地で造られた原料の異なる 24 種類の本格焼酎を用いたため、その製法も多種多様であり、得られたデータの中には極端に大きいものや小さいものが混在していた。そこで、イオンクロマトグラフィーの結果には、平均値ではなく中央値を採用し、基本統計量を視覚的に要約するための箱ひげ図を用いて表した。(図 3 参照。b-2 の Na^+ の含量は、極端に高いため図 3 からは削除した。) この結果、カチオンでは、 Na^+ がほとんどであり、 Ca^{2+} と若干の K^+ が検出されるのみであった。またアニオンでは、 Cl^- が最も多く含まれており、その他 NO_3^- と SO_4^{2-} 以外のピークはほとんど検出されなかった。また、醸造用水とその醸造用水を用いて希釈を行っている本格焼酎製品の無機成分組成を比較した結果、 Na^+ 以外の成分がほぼ一致し、(泡盛のような特殊な製品を除く) 本格焼酎の無機成分のほとんどが、希釈用の醸造用水に由来すると考えられた。よって、(泡盛を除く) 市販の本格焼酎の無機成分のバラツキは、醸造用水の無機成分のバラツキによるものと考えられた。 Na^+ に関しては、計算値よりも実測値の方が高い傾向が示された。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、この原因として、製造設備や瓶からの溶出が考えられた。

2. 合成基準サンプルの作成

市販の本格焼酎に含まれる無機成分の測定結果および既に明らかにされている本格焼酎の有機成分含量⁴³⁾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。次いで、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、②の条件を満たすべく、これら各種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、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確認された。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確認されている⁴⁵⁾。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(イソアミルアルコール など)やエステル類(酢酸エチル など)、カルボニル化合物(アセトアルデヒド など)等も添加し、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 種類以上もある本格焼酎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 Na^+ 、 Cl^- に関しては、基本的な塩味物質である NaCl を採用することにした。 NaCl の添加により、概してマイナス膜はプラスの方向へ (Na^+ 応答)、プラス膜はマイナスの方向へ (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⁴⁶⁾。酢酸は、本格焼酎に含まれる有機酸の主成分であり、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 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 Ca^{2+} 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等に関しては、 CaCl_2 、 CaSO_4 などを用いて検討を行ったところ、溶解度等の問題も考慮した結果、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 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確認された。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 (NO_3^- 応答) ことが確認されたためである。以上の結果、合成基準サンプルの成分をエタノール、酢酸、 NaCl 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ と決定した。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、最小となるように、成分濃度の調製を繰り返し行った。その結果が、エタノール 15%、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 であり、このときの各センサ出力を示したの

が図4である。これは、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結果がX軸に相当する。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、つまり「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」を満たしていると考えられる。また、味覚センサは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4の各種本格焼酎の応答パターンが異なることから、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。更に、このデータを主成分分析した3回繰り返し測定の結果を図5に示した。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った。

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、現段階において未知の部分が多く、その未知の部分の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。

3. 本格焼酎の主成分分析

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。本格焼酎においては、揮発性成分がほとんどであるため、吸着性のある味覚情報を得がたいと予想された。しかし、各センサ

の識別分解能(表3参照)を見ると、マイナス膜であるCN0センサ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分かった。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。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できる。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³⁵⁾。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^{37), 38)}。このことから、相対値のみと相対値にCPA値を加えたものとは、どちらも3次元の情報があると考えられた。(表4参照)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

図4 合成基準サンプルによる補正後の各センサ応答

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

図5 味覚センサによる繰り返し測定精度

△m: 麦焼酎, ○k: 米焼酎, □i: いも焼酎, ●s: そば焼酎, ■a: 泡盛

表3 各脂質膜センサの識別分解能

	AC0	AT0	AN0	CN0	CO0	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	43.20	9.14	18.94	185.76	187.68

表 4 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

図 6 41 種類の本格焼酎の主成分分析

△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

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値を加えると、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(図6参照)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。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確認された。

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ていた。泡盛は米焼酎と同様に米を原料として造られているが、タイ米を用いた全麴仕込みであること、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から米焼酎とは別のクラスターを形成しているものと考えられた。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が得られた。また、米焼酎のk-8といも焼酎の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ているのではないかと考えられた。

図 7 本格焼酎の原料別クラスター分析

4. 本格焼酎のクラスター分析

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7参照)。

図7A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7B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7C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6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るが、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いた。また、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分かった。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酒質の違いを主成分分析によるプロット図や、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。

要 約

本格焼酎の味に関する研究を行うにあたり、本格焼酎の味を客観的に評価する手法の一つとして味覚センサを用いた市販本格焼酎の識別試験を行った。

1. 本格焼酎の無機成分を測定した結果、本格焼酎の無機成分のほとんどが、醸造用水に由来することが示唆された。

2. 本格焼酎用の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により、再現性良く識別できる測定法を確立することができた。

3. 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主成分のグラフにより視覚的に表現することができた。

4. 味覚センサより得られるデータを数学的手法で解析することにより、新商品開発や工程管理に応用できる可能性が示唆された。

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非常に有効であることが分かった。しかし、この結果は従来の官能評価を否定するものではなく、従来解析が困難であった官能評価と化学分析値の組み合わせに味覚センサを加え、よりわかりやすく解析できるようなシステム構築を目的としている。今後は、本格焼酎における各脂質膜センサの特性(意味づけ)について、官能評価と化学分析を組み合わせた検討を行う予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご指導を賜りました宮崎県食品開発センター 工藤哲三博士、インテリジェントセンサーテクノロジー 小林義和氏に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 江島 正, 橋本直樹, ビールの官能検査, 醸協, **78**, 513-518 (1983).
- 2) 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), 醸協, **78**, 629-632 (1983).
- 3) 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), 醸協, **79**, 343-

- 348 (1984).
- 4) 大場俊輝, 中村欽一, 佐藤 信, 酒類検査パネル訓練法, 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, 醸協, **79**, 656-658 (1984).
 - 5) 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, 醸協, **80**, 480-484 (1985).
 - 6) 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, 醸協, **80**, 682-686 (1985).
 - 7) 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).
 - 8) 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, 醸協, **85**, 341-344 (1990).
 - 9) 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, 醸協, **86**, 405-410 (1991).
 - 10) 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, 醸協, **89**, 77-79 (1993).
 - 11) 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, 醸協, **90**, 787-795 (1995).
 - 12) 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起および記憶の違いについて, 醸協, **91**, 745-752 (1996).
 - 13) 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, 醸協, **92**, 217-223 (1997).
 - 14) 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, 醸協, **92**, 224-227 (1997).
 - 15) 古庄重樹, ビール官能評価法について, 醸協, **97**, 178-187 (2002).
 - 16) 木田 信, 鶴山勝也, 吉留明尚, 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).
 - 17) 牧 則光, 吉留明尚, 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).
 - 18) 宇都宮仁, 清酒官能評価パネルの選抜・訓練法, 醸協, **98**, 312-321 (2003).
 - 19) Toko, K., Beer. In "Biomimetic Sensor Technology", (Cambridge University Press), pp. 149-151 (2000).
 - 20) Fukunaga, T., Toko, K., Mori, S., Nakabayashi, Y. and Kanda, M., Quantification of taste of coffee using sensor with global selectivity, Sens. Mater., **8**, 47-56 (1996).
 - 21) 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, 135-139 (2002).
 - 22) 中山繁喜, 齊藤博之, 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).
 - 23) Arikawa, Y., Toko, K., Ikezaki, H., Shinha, Y., Ito, T., Oguri, I. and Baba, S., Analysis of sake taste using multielectrode taste sensor, Sens. Mater., **7**, 261-270 (1995).
 - 24) Arikawa, Y., Toko, K., Ikezaki, H., Shinha, Y., Ito, T., Oguri, I. and Baba, S., Analysis of sake mash using multichannel taste sensor, J. Ferment. Bioeng., **82**, 371-376 (1996).
 - 25) 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).
 - 26) 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, 食科工, **44**, 615-622 (1997).
 - 27) Iiyama, S., Yahiro, M. and Toko, K., Quantitative sensing of mineral water with multichannel taste sensor, Sens. Mater., **7**, 191-201 (1995).
 - 28) 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, PS-96, 227-234 (1996).
 - 29) 谷口 晃, 池崎秀和, 味覚センサー, ぶんせき, **8**, 408-414 (2001).
 - 30) 都甲 潔, 味覚センサー, 「味とにおいの分子認識」, 初版, 第2刷, 日本化学会編 (学会出版センター, 東京), pp. 113-121 (2000).
 - 31) 都甲 潔, 味覚センサー, 「旨いメンには理由がある」, 初版, (角川書店, 東京), pp. 85-128 (2001).
 - 32) 都甲 潔, 味覚センサ, 「感性バイオセンサ」, 初版, 第1刷, 都甲潔編, (朝倉書店, 東京), pp. 130-185 (2001).
 - 33) 都甲 潔, 宮城幸一郎, 味覚センサ, 「センサがわかる本」, 第1版, 第1刷, (オーム社, 東京), pp. 167-211 (2002).
 - 34) 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).
 - 35) 池崎秀和, 谷口 晃, 都甲 潔, マルチチャンネル味センサ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**, 506-512, (1998).
 - 36) 菅 民郎, 主成分分析, 「Excel で学ぶ多変量解析入門」, 第1版, 第1刷, (オーム社, 東京), pp. 173-202 (2001).
 - 37) 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).
 - 38) 長谷川勝也, 主成分分析, 「これならわかる多変量解析」, 初版, 第1刷, (技術評論社, 東京), pp. 103-180 (2002).
 - 39) 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」, 第1刷, (東京図書, 東京), pp. 155-176 (2003).
 - 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, **535**, 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, 第5刷, (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) 本格焼酎, 「醸造物の成分」, 初版, 家藤治幸, 嶋崎孝行, 弥永俊次, 瀬戸口真治, 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).
 - 44) 清酒第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 (1999).
 - 45) Toko, K. and Nagamori, T., Biosensors. Quantitative expression of mixed taste of amino acids using multichannel taste sensor, Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan, **119-E**, 528-531 (1999).
 - 46) 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, 第1刷, (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).

(平成16年7月26日受付, 平成17年1月21日受理)