技術論文

味認識装置による黒糖の評価

藤井沙代子, 塩見和世, 古田到真, 永井幸枝*, 河合俊和, 平田昭夫

三井製糖株式会社

Taste Evaluation of *Kokuto* (Non-centrifugal Cane Sugar) Using Taste Sensing System

Sayoko Fujii, Kazuyo Shiomi, Toma Furuta, Yukie Nagai*, Toshikazu Kawai and Akio Hirata

Mitsui Sugar Co. Ltd., 30-1, Nihonbashi-Hakozakicho, Chuo-ku, Tokyo 103-0015

We conducted sensory testing and taste evaluation using a taste sensing system of *kokuto* (non-centrifugal cane sugar) produced in Okinawa and Kagoshima, and confirmed the relationship between the results and the components present. According to sensory testing, *kokuto* produced in Okinawa generally has strong *egumi* (bitter and astringency taste) and a relatively similar taste. On the other hand, *kokuto* produced in Kagoshima has different strength of *egumi* and a characteristically distinct taste other than *egumi*, depending on the island where it is produced—that is, its taste quality is not similar. It has become clear that the strength of the taste information values for salty taste, *umami koku* (savory "fifth" and rich taste), and mineral bitterness can be evaluated by selecting the appropriate sensor in the taste sensing system. With regard to these values, *kokuto* produced in Okinawa generally showed higher values, while *kokuto* produced in Kagoshima has a different balance depending on the island where it is produced. This tendency mirrors the results of sensory testing. In addition, PC1 scores obtained by principal component analysis of the taste information values coincide with those of sugar products derived from sugar cane (*kokuto* taste index) obtained in a previous report at a relative coefficient $r=1.000$. This suggests that *kokuto* taste index can be used as an indicator for measuring the taste intensity of sugar cane-derived *kokuto*. We measured saccharide, polyphenol, and mineral contents in *kokuto* and color differences, and conducted principal component analysis of the mineral contents. These contents are correlated with *kokuto* taste index, and minerals, which are substantially present in *kokuto*, have a particularly strong effect on the intensity and quality of taste.

(Received Sep. 13, 2018; Accepted Jan. 28, 2019)

Keywords : *kokuto* (non-centrifugal cane sugar), taste sensing system, taste sensor, sensory testing, mineral

キーワード : 黒糖, 味認識装置, 味覚センサ, 官能検査, ミネラル

味認識装置の各センサは塩味, 酸味, うま味, 苦味, 甘味, 渋味の各基本物質に対する応答が確認されており^{1)~5)} ビール, コーヒー, 紅茶, 緑茶, だし, スープ等の液状品の食品から, 米, パン, 食肉, 果実, 野菜, チョコレート等の固形状食品の味質評価, さらに調味料としてみそおよびしょうゆの評価, バターおよびマーガリンの違い, 油脂成分抽出法の検討, および生薬の品質評価など, 幅広い目的で行われた研究が報告されている^{6)~15)}. そこで著者らは前報にて, サトウキビ由来の砂糖製品を対象に味認識装置による評価方法を検討した¹⁶⁾. 具体的にはサトウキビ由来の精製糖, ブラウン糖 (沖縄県産の原料糖, 糖蜜および黒糖を原料とする), 沖縄県産の黒糖および加工黒糖について, 味認識装置の評価に使用できるセンサの選択を行い, CT0 センサの先味である塩味, AAE センサの後味であるうま味コク, および AN0 センサの後味であるミネラル系

苦味について, 精製糖で低く, ブラウン糖から黒糖にかけて高い値がでること, 黒糖の濃度依存性が確認されたことから, これらの味推定値がサトウキビ由来の精製糖から含蜜糖の味質の違いを測定するために利用できることを提案した. また, これらの味推定値から主成分分析により得られた合成変数 PC1 は, 官能検査の黒糖の味の強度と高い相関があり, 黒糖の味が強くなるほど高くなる「黒糖味指数」として使用できることが示唆された.

現在, 黒糖は海外でも製造されているが, もともとは日本固有の含蜜糖である¹⁷⁾. 国産の黒糖は主に沖縄産および鹿児島産であり, 沖縄産同士または鹿児島産同士の黒糖について官能検査や成分含量を比較した研究が報告されている^{18)~24)}. 味に関しては, 国産の黒糖は主にお茶うけとしてそのまま食することが多いため, そのまま食した場合の官能評価は行われているが, 加工食品原料である調味料とし

での味質評価は行われておらず、味覚センサによる味の評価も報告されていない¹⁸⁾²¹⁾²⁵⁾。また、沖縄産および鹿児島産の黒糖の成分の比較では、鹿児島産の方が灰分(ミネラル分)が少ないこと、鹿児島産の方が成分のばらつきが大きいことが報告されている¹⁹⁾²⁰⁾。通説により沖縄産黒糖の方がしょっぱい(塩味が高い)、味が濃いと言われているが、その差を数値化して明らかにする研究は報告されていない。黒糖にはスクロース以外の成分が合わさって現れる特有の味があり、えぐみ、青臭さ、金属味、蜜っぽさ、芋っぽさなど複雑な味の表現がされている。特にえぐみは基本味ではなく、苦味および渋味が複雑に混ざり合った味であり、人により基準が異なる。そこで、黒糖の味の濃さを客観的に表現できる指標が必要であると考えた。

本報では、前報により設定された黒糖味指数が沖縄および鹿児島産の島産の黒糖においても客観的に数値として示すことができる評価指標として利用できるかを評価し、さらに味認識装置の味推定値およびPC1と成分との関係について考察した。

実験方法

1. 試料

黒糖試料として、鹿児島産として喜界島産、奄美大島(奄美瀬戸内)産、種子島産、加計呂麻島産、および徳之島産の5種、沖縄産として伊平屋島産、伊江島産、粟国島産、多良間島産、小浜島産、西表島産、波照間島産、および与那国島産の8種を用いた。

また比較基準のための試料として、精製糖であるグラニュー糖、前報で用いた粉末黒糖(沖縄・多良間島産)を、由来植物が異なる点を比較するための試料としてヤシの樹液から製造される含蜜糖であるヤシ糖(カンボジア産)を用いた¹⁶⁾。含蜜糖とは、植物由来のジュースからスクロースの結晶を蜜と分離して取り出すのではなく、スクロースを多く含むジュースをそのまま煮詰めて全量固形化して得られる砂糖であり、黒糖も含蜜糖の一つである²⁶⁾¹⁾。

2. 各島の黒糖の官能検査評価

各島の黒糖試料(13種)および基準となる黒糖(粉末黒糖:多良間島産)をそれぞれ10%(w/w)溶液に調製し、試料名を明記せず①~⑭の番号を付与した。基準となる黒糖⑭と同等の「えぐみ」である試料を①~⑬から4個以上選択し、これより「えぐみ」が低い試料、これより「えぐみ」が高い試料の3グループに分類した。また、各黒糖に「えぐみ」以外に特徴的な味がある場合には、青臭み、金属っぽさ、蜜っぽさ、芋っぽさなどを例示し、感じた味を任意で記載させた。なお評価は、官能検査パネリスト選定スクリーニング(5味識別)テスト(財団法人食品分析開発センター法)に合格した評価者が実施した。

3. 味認識装置による測定

全ての試料について10mM KClを含む10%(w/w)溶

液を調製し、味認識装置SA402B(株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー)を用いて測定した。

味覚センサはAAE(うま味)、CT0(塩味)、AN0(苦味)、GL1(甘味)の4種類を使用した。各センサは基準液(30mM KCl水溶液、0.3mM 酒石酸水溶液)に浸漬して基準電位(V_r)を測定した後、試料に浸漬し試料電位(V_s)を測定した。「 $V_s - V_r$ 」から得られた電位差を口に含んだ瞬間に感じる先味(相対値とも呼ばれる)とした。先味を測定した後、センサを基準液で3秒間共洗いし、その後、後味測定用に用意した基準液に浸漬して基準電位(V_r')を測定し「 $V_r' - V_r$ 」から得られた電位差を飲み込んだ後に感じる後味(CPA値とも呼ばれる)とした¹⁾²⁾¹²⁾¹⁴⁾。AAEセンサで測定した後味を「うま味コク」、AN0センサで測定した後味を「ミネラル系苦味」とした。これにより味認識装置で測定した味覚項目は塩味、甘味(以上、先味)、うま味コク、ミネラル系苦味(以上、後味)の4項目であった。各センサの味の基準物質は、AAE(うま味・うま味コク)はグルタミン酸ナトリウム、CT0(塩味)は塩化カリウム、AN0(苦味・ミネラル系苦味)は塩酸キニーネ、およびGL1(甘味)はスクロースである。各センサの出力値は、これらの味の基準物質とセンサ出力値の関係式に基づき味推定値に換算して示した¹⁾¹⁴⁾。具体的には、センサ出力値は味の基準物質の20%濃度差の出力値を1目盛りとするスケール上の値(味推定値)に換算された。また、味推定値はその値が高いほど味の強さが強くなる。このセンサ出力から味推定値への換算はWeber-Fechnerの法則に基づいており、刺激の量の変化を知覚しうる弁別閾(刺激の識別が可能な最小値)は刺激の強さに比例し、ヒトが「味が違う」と認識できるのは、その味が1.2倍(20%)濃く(または薄く)なった場合とされている²⁷⁾。1試料につき4回、GL1センサは1試料につき5回測定を行ない、測定値が安定しないのは最初の1回、GL1センサについては初めの2回を除外した残りの3回分の測定値を採用した。なお、試料の導電率を調整する目的で添加したKClの影響を排除するため、試料と同時に10mMのKCl水溶液を各センサでブランク値として測定し、データ処理の段階で測定値からブランク基準液の値を差し引いた。塩味以外は基準液を0「無味点」とした値であり、この値がマイナスの数値であれば基準液よりも味がなくなることになり評価対象から外した。基準液には若干の酸と塩が含まれているため、塩味の無味点は-6となる。各センサの味推定値は、グラニュー糖の値を基準の0として表示した。

4. 糖含量の測定

糖含量の測定には、HPLCによりスクロース、グルコースおよびフルクトース含量を測定した。カラムは配位子交換クロマトグラフィー用カラム(配位子交換モード+サイズ排除モード)Shodex KS-801およびKS-802(昭和電工株式会社)、RI検出器、流速:1.0ml/min、カラム温度:60℃、

溶離液：水，打ち込み量：30 μ L で LC ケミステーションシステム（アジレント・テクノロジー社）を用いて，絶対検量線法で行った．

5. ポリフェノール含量の測定

サトウキビ由来のポリフェノール含量として，FOLIN-CIOCALTEU 法によりカテキン換算の含量を測定した^{ii) iii)}．

6. 色彩色差の測定

各試料について，10% (w/w) 水溶液を調製し，濁りによる影響を除くため No.2 ろ紙（アドバンテック社）でろ過した．ろ過後のフィルターは白色であり，着色物質は認められなかった．各ろ液は分光色差計 SE6000（日本電色工業(株)）を用い，透過型セル，光源 C/2，視野 2 度で，透過の CIE L*a*b* を測定した．また，色サンプルを確認するため，L*a*b* を RGB に変換し，色見本を作成した^{28)~30)}．

7. ミネラル含量の測定

サトウキビ由来および製造工程由来のミネラル含量として，陽イオン（ナトリウム，カリウム，マグネシウム，カルシウム，およびアンモニウムイオン）および，陰イオン（塩素，リン酸，および硫酸イオン）を測定した．測定には Integrion AS-AP システム（サーモフィッシャーサイエンティフィック社）を用いた．陽イオン測定では，カラムは Dionex IonPac CS12 A，標準液は陽イオン混合標準液Ⅲ（富士フイルム和光純薬工業社），溶離液は 20 mM メタンスルホン酸を用いた．陰イオン測定では，カラムは Dionex IonPac AS14 A，標準液は陰イオン混合標準液Ⅳ（関東化学社），溶離液は 8.0 mM Na₂CO₃/1.0 mM NaHCO₃ を用いた．

8. 統計処理

各統計処理は，エクセル 2010 およびエクセル統計 2.15（Bellcurve for Excel）を用い，一元配置分散分析（多重比

較），相関行列計算および主成分分析を行った．

実験結果および考察

1. 各島の黒糖の官能検査評価

官能検査を行うにあたり，あらかじめ試験に用いた 13 種の黒糖の味を確認したところ，そのまま食した場合と水溶液にした場合で，味質の感じ方が大きく異なることが確認された．黒糖は粉末又はブロック状であり，大きさを同一にすることが難しく，また粉体またはブロックを形成する砂糖結晶の大きさが異なるため，口の中での溶け具合が異なるため，水溶液で比較した方が味質の評価として妥当であると判断した．そこで，本研究では加工食品原料の砂糖としての評価を行うため，水溶液にして味の比較を行った．はじめ 5% 溶液で比較したところ黒糖同士の差がわかりにくかったため，10% 溶液にして黒糖らしさを表現できる「えぐみ」について評価した．「えぐみ」を評価基準にしたのは，えぐみは一般に苦味と渋味が合わさった味であり，黒糖の味の強さを総合的に表現する一語であること³¹⁾，氏原らの黒糖の品質に関する研究でも用いられている黒糖の味を示す語であることから²⁵⁾，基準となる黒糖を示し，その黒糖には一定のえぐみがあると設定することにより他の黒糖と比較できると考えたためである．

その結果，表 1 に示すように，鹿児島県の喜界島産および種子島産はえぐみが低く，加計呂麻島産および徳之島産はえぐみが強く，奄美瀬戸内産はえぐみの評価が分かれた．一方，沖縄産は全体的にえぐみが基準と同等または強い傾向であった．また，任意評価では，鹿児島産は芋っぽいまたは蜜っぽいという評価であり，他に青臭い，金属的という評価がみられた．えぐみは基本味ではなく苦味と渋味が

表 1 各島の黒糖の官能検査評価結果

島	いずれか選択			任意評価			
	えぐみ低い	基準同様	えぐみ強い	青臭い	金属的	蜜・芋的	他の特徴
喜界島（鹿児島）	10	0	2	2	0	3	1
奄美瀬戸内（鹿児島）	5	2	5	0	4	2	3
種子島（鹿児島）	10	2	0	0	0	2	4
加計呂麻島（鹿児島）	1	0	11	4	1	2	2
徳之島（鹿児島）	2	2	8	5	1	0	1
伊平屋島（沖縄）	0	10	2	0	0	0	0
伊江島（沖縄）	1	9	2	0	0	0	1
栗国島（沖縄）	4	7	1	0	0	0	1
多良間島（沖縄）	2	6	4	0	0	0	1
小浜島（沖縄）	1	5	6	0	0	0	2
西表島（沖縄）	1	10	1	0	0	0	0
波照間島（沖縄）	1	9	2	0	0	0	0
与那国島（沖縄）	0	0	12	7	0	0	2

図1 各島の黒糖の味認識装置評価

合わさった味であり、人によっては青臭さおよび金属味をえぐみに含めることが考えられるが、鹿児島産についてはえぐみとは別の任意評価が多く、複雑な味であることが確認された。また、沖縄の与那国島産はえぐみが強く青臭さも強いという評価が高く、味が強いと表現できる結果であった。与那国島産以外の沖縄産黒糖は、任意評価が少なく、鹿児島産と比較して味質が似通っていると考えられた。

2. 味認識装置による測定および結果の解析

味認識装置の各センサによる味推定値を図1に示した。塩味については、鹿児島の喜界島産、奄美瀬戸内産、種子島産、および加計呂麻島産が8.0以下の若干低い味推定値であり、ミネラル系苦味については0.3以下と明らかに低い推定値であった。ミネラル系苦味は、沖縄産のすべてが1.1以上と高い推定値であった。うま味コクについては、鹿児島の奄美瀬戸内産および種子島産が0.2以下であり、次いで鹿児島の喜界島産および沖縄の伊平屋島産と伊江島産が0.4以下の低い値であり、沖縄の小浜島産および与那国島産が0.7以上の高い推定値であった。また、甘味については、ミネラル系苦味の味推定値が低い鹿児島の喜界島産、奄美瀬戸内産、種子島産、および加計呂麻島産で比較的高い傾向がみられた。味認識装置の各センサによる結果において、鹿児島産黒糖同士では塩味、ミネラル系苦味およびうま味コクの3つの味推定値の傾向が異なること、沖縄産黒糖同士では3つの味推定値のバランスが比較的似通っていることは、表1の官能検査の結果と共通していた。

次に前報と同様に、各黒糖の塩味、うま味コクおよびミネラル系苦味の3つの味推定値について、データを統計的

に標準化しないで主成分分析を行った。統計における標準化(正規化, 規格化, 基準化)は、平均値を0, 分散を1とする統計処理で、具体的な算出方法は、各データから平均値を引き、標準偏差で割ることにより算出する。主成分分析には、元データを用いる場合(分散共分散行列による分析)と標準化したデータを用いる場合(相関行列による分析)がある。データの可視化を目的とした主成分分析の場合には、一般に相関行列による主成分分析を採用し、具体的にはデータを標準化し、結果として得られる主成分得点も標準化して表される。この場合は、主成分分析に用いた一連の試料同士の比較しかできない。本研究においては、主成分分析に用いていない試料のデータと比較することも目的としているため、データを標準化せずに元データで主成分分析を行った^{32)33)iv)}。その結果、図2に示す通りPC1の寄与率は97.0%, PC2の寄与率は2.7%であり、これら2変数でデータのほぼすべて(99.7%)を反映することが確認できた。また、グラフはグラニュー糖を基準の0とした主成分得点で示したが、グラフ上で鹿児島産グループ、沖縄産グループ、ヤシ糖およびグラニュー糖が分かれていることが確認できた。

このPC1得点の数値については表2に示した。沖縄産黒糖のPC1得点は9.0~11.3と値が近かったが、鹿児島産は5.9~9.9と値の差が大きく、これは沖縄産黒糖同士の方が鹿児島産黒糖同士よりも似通った味であることを示している。

主成分負荷量は各主成分と各項目(変数)の相関係数であるが、PC1の主成分負荷量は、塩味、うま味コクおよび

図 2 味認識装置の主成分分析

グラニュー糖の値を 0 として示した。

表 2 各島の黒糖の PC1 得点および黒糖味指数

糖種	略号	PC1 得点	黒糖味指数 ^{a)}
グラニュー糖	GS	0	0
喜界島 (鹿児島)	KI(K)	7.42	7.38
奄美瀬戸内 (鹿児島)	AM(K)	5.85	5.81
種子島 (鹿児島)	TA(K)	7.10	7.06
加計呂麻島 (鹿児島)	KA(K)	7.64	7.62
徳之島 (鹿児島)	TO(K)	9.89	9.85
伊平屋島 (沖縄)	IH(O)	9.43	9.40
伊江島 (沖縄)	IE(O)	9.47	9.43
粟国島 (沖縄)	AG(O)	9.15	9.12
多良間島 (沖縄)	TA(O)	9.89	9.86
小浜島 (沖縄)	KO(O)	11.30	11.27
西表島 (沖縄)	IR(O)	9.05	9.03
波照間島 (沖縄)	HA(O)	9.49	9.47
与那国島 (沖縄)	YO(O)	10.08	10.06
粉末黒砂糖	CON	9.04	9.06
ヤシ糖 ^{a)}	PS	4.63	4.60

a) 前報の主成分分析により特定された PC1 得点である。
 黒糖味指数 = CT0 (相対値) × 0.971 + AAE (CPA 値) × 0.130 + AN0 (CPA 値) × 0.198
 PC1 得点および黒糖味指数の間の相関係数は 1.000 であった。

ミネラル系苦味がそれぞれ 0.999, 0.716, および 0.772 であり, これらの 3 つの項目すべてを表現しているといえる。一方, PC2 の主成分負荷量は, ミネラル系苦味推定値が 0.631, うま味コク推定値が 0.49 でこれらを反映しているが, 塩味推定値は -0.035 とほぼ反映されていない。したがって, PC2 は塩味以外の味の違いを示しており, グラフに示されたように沖縄産と鹿児島産の違いはうま味コクおよびミネラル系苦味の味推定値の違いが影響しているものと考えられる。

また, 本研究における PC1 得点と, 前報において砂糖製品の主成分分析により得られた式による合成変数である黒糖味指数を表 2 に並べて示したが, これらはほぼ一致しており, 2 変数間の相関係数は 1.000 であった。

前報ではサトウキビ由来の砂糖製品について, 高度に精製されたグラニュー糖, サトウキビの搾り汁をそのまま加熱濃縮および冷却した黒糖, これらの中間の精製度にあたるブラウン糖の 3 つの味推定値について主成分分析を行い PC1 を得たが, このときの寄与率は 99.7% であった¹⁶⁾。本研究の PC1 の寄与率は 97.0% と低くなったが, その理由としては, 前報では試料として用いた黒糖およびブラウン糖がすべて沖縄産であり, データのばらつきが少なかったこと, これに対して本研究で用いた試料は各センサの味推定値が大きい黒糖の試料が 13 種もあり, 黒糖間のうま味コクおよびミネラル系苦味の味質の違いが PC2 として表現され, PC1 の寄与率が低くなったことが挙げられる。

表3 各島の黒糖の糖類含量

島	略号	スクロース	グルコース	フルクトース	合計
喜界島（鹿児島）	KI(K)	91.3	1.8	1.9	95.0
奄美瀬戸内（鹿児島）	AM(K)	81.2	5.1	4.7	91.0
種子島（鹿児島）	TA(K)	89.3	0.9	1.1	91.3
加計呂麻島（鹿児島）	KA(K)	80.3	3.9	4.5	88.7
徳之島（鹿児島）	TO(K)	83.4	1.7	2.3	87.4
伊平屋島（沖縄）	IH(O)	88.7	0.9	1.7	91.2
伊江島（沖縄）	IE(O)	89.0	1.0	1.5	91.6
粟国島（沖縄）	AG(O)	88.5	1.9	2.1	92.5
多良間島（沖縄）	TA(O)	89.1	0.8	1.3	91.2
小浜島（沖縄）	KO(O)	85.0	1.9	2.7	89.5
西表島（沖縄）	IR(O)	87.7	1.0	1.8	90.6
波照間島（沖縄）	HA(O)	87.2	1.6	1.9	90.8
与那国島（沖縄）	YO(O)	80.8	2.2	3.6	86.6
粉末黒砂糖	CON	85.4	1.3	2.1	88.8
ヤシ糖	PS	88.7	1.1	2.4	92.3

サンプル当たり % (w/w)

前報で設定した黒糖味指数は、同一産地および産年のスクロース純度の異なるサトウキビ由来の砂糖を対象にして、スクロース以外の味の濃さを総合的に表す指標となることが示唆されたが、本研究により黒糖味指数の測定は再現性があり、鹿児島産および沖縄産黒糖にも利用できることが確認された。このことから、今後はさらに産年の異なる黒糖、海外のサトウキビ由来の含蜜糖およびブラウン糖に関しても味認識装置の評価を行い、黒糖味指数が指標になるかを確認していく予定である。また、比較として使用したヤシ糖においても、本研究における PC1 得点と黒糖味指数はほぼ一致した。このことから、黒糖味指数はサトウキビ由来の砂糖類だけでなく、別の植物由来の含蜜糖についても利用できる可能性があると考えられる。

前報でも記載したとおり、CT0 センサの先味である塩味は、基準物質が塩化カリウムであるが、塩素イオンがセンサ応答する出力を味推定値への換算に用いており、塩素イオンおよび硫酸イオンなどの陰イオンがセンサ出力に応答している。ANO センサの後味であるミネラル系苦味は、塩基性苦味物質である塩酸キニーネを基準物質として味推定値に変換しているが、カルシウムイオンおよびマグネシウムイオンなどの陽イオンや、植物由来の塩基性苦味成分もこのセンサ出力に応答する¹⁴⁾。AAE センサの後味であるうま味コクは、グルタミン酸ナトリウムを基準物質として味推定値に変換しているが、イノシン酸ナトリウム、コハク酸ナトリウム、グアニル酸のようなアミノ酸および核酸系物質もこのセンサ出力に応答する¹⁰⁾¹¹⁾。そこで、味質と成分について確認を行った。

3. 各種成分が味認識装置の味推定値に及ぼす影響

(1) 糖類含量

スクロース、グルコースおよびフルクトースの分析結果

を表3に示した。スクロース含量が87%以上の高いものは還元糖量（グルコースおよびフルクトース）が低めであり、糖類含量としてはいずれも90%以上の高い値を示した。一方、スクロース含量が83%以下である、鹿児島の奄美瀬戸内産、加計呂麻島産、沖縄の与那国島産は還元糖量が多い傾向があった。奄美瀬戸内産および加計呂麻島産は、糖組成が似通っていた。また、沖縄産のうち与那国島産はスクロース含量が80.8%と非常に低く、還元糖量は比較的多いが糖類合計量が86.6%と低く、他のいずれの黒糖とも糖組成は似ていなかった。図1に示す味認識装置の甘味の味推定値と比較して、前報と同様に糖類含量は甘味と関係がみられなかった。これは、前報で説明した通り、甘味センサ（GL1 センサ）は非イオン性の糖質に応答するが、塩類および渋味成分に影響されやすいことが原因であると考えられる。

(2) ポリフェノール含量

図3に示すとおり、ポリフェノール含量は、鹿児島の喜界島、奄美瀬戸内、種子島の黒糖が25ppm以下と他の黒糖と比較して明らかに低かった。鹿児島の加計呂麻島産および沖縄の与那国島産はそれぞれ67.1ppmおよび67.9ppmと高く、これらはスクロース含量が約81%と低い黒糖であった。田口らによると³⁴⁾、砂糖水（氷砂糖）を加熱するとスクロースがカラメル化し、抗酸化能が現れることが、また氏原らによると³⁵⁾、糖蜜を加熱するとポリフェノール様活性が増加すること、色価も増加することが報告されている。一般的な食品のポリフェノール測定法は、FOLIN-CIOCALTEU 法であるが、これはフェノール類の還元力を測定し、カテキン換算で表す方法であり、カラメル化により生じた抗酸化成分であるポリフェノール以外の物質も測定される³⁴⁾³⁵⁾。

図 3 各島の黒糖のポリフェノール含量 (カテキン換算)

製品重量当たり ppm

表 4 各島の黒糖の色の評価

島	略号	L*	a*	b*	ΔE	色見本
喜界島 (鹿児島)	KI(K)	77.37	-3.06	25.84	34.1	
奄美瀬戸内 (鹿児島)	AM(K)	77.26	0.10	45.99	51.0	
種子島 (鹿児島)	TA(K)	76.19	2.09	48.70	53.9	
加計呂麻島 (鹿児島)	KA(K)	61.67	14.27	70.48	81.2	
徳之島 (鹿児島)	TO(K)	55.60	18.60	68.97	83.8	
伊平屋島 (沖縄)	IH(O)	48.90	11.32	52.97	74.1	
伊江島 (沖縄)	IE(O)	47.92	10.93	49.67	72.4	
粟国島 (沖縄)	AG(O)	53.96	9.29	51.82	69.6	
多良間島 (沖縄)	TA(O)	55.34	10.22	55.95	72.0	
小浜島 (沖縄)	KO(O)	45.70	13.39	53.87	77.3	
西表島 (沖縄)	IR(O)	58.56	14.23	66.07	78.9	
波照間島 (沖縄)	HA(O)	60.14	9.15	57.77	70.4	
与那国島 (沖縄)	YO(O)	35.47	16.29	48.27	81.8	
グラニュー糖	GS	99.67	-0.02	0.19	0.0	

表 1 に示す加計呂麻島産および与那国島産の黒糖の官能検査結果をみると、これらはえぐみが強いという評価であり、ポリフェノールまたは加熱により糖から生成したポリフェノール様物質がえぐみの原因の一つであると考えられる。また、味認識装置の味推定値との関係を確認した。ポリフェノール含量とうま味コクの相関係数は 0.88、塩味とは 0.76、ミネラル系苦味とは 0.62 であり、ポリフェノールはうま味コクとの相関が高かった。このことから、ポリフェノールとして測定される成分のうち、アミノ酸系あるいは核酸系に近い構造の物質が存在するものと考えられる。

(3) 色の評価

黒糖の色の評価結果を表 4 に示した。これによると、鹿児島の喜界島、奄美瀬戸内、種子島の黒糖は色が薄く、グラニュー糖との色差 (ΔE) はそれぞれ 34.1、51.0 および 53.9

であり、他の黒糖の最小値 69.9 と比較して明らかに低かった。また、鹿児島の加計呂麻島産および徳之島産、沖縄の与那国島産の黒糖は色差が高く、80 以上であった。色差とポリフェノールの相関係数は 0.84 と高く正の相関があった。したがって、ポリフェノール含量が高いと色が濃いという結果であった。

色差と味の関係をみると、色差が低い鹿児島の喜界島、奄美瀬戸内、種子島の黒糖は、表 1 の官能検査によるえぐみが低く、図 1 のミネラル系苦味およびうま味コクの味推定値が低く、これらはポリフェノール含量の評価と一致した。色差と各味推定値との相関係数は、塩味とは 0.90、うま味コクとは 0.79、ミネラル系苦味とは 0.68 であった。

(4) ミネラル含量およびその他イオン類

各種ミネラル (陽イオンおよび陰イオン) 含量を測定し

表5 各島の黒糖のミネラル含量

糖種	略号	陽イオン (ppm)						陰イオン (ppm)			
		Na	K	Mg	Ca	NH4	合計	Cl	PO4	SO4	合計
喜界島 (鹿児島)	KI(K)	155	2772	738	851	79	4595	711	505	3388	4605
奄美瀬戸内 (鹿児島)	AM(K)	102	3701	399	633	70	4906	1575	795	1942	4311
種子島 (鹿児島)	TA(K)	321	4310	230	652	90	5604	1715	344	2015	4073
加計呂麻島 (鹿児島)	KA(K)	53	3932	525	1192	119	5822	1271	1812	2693	5776
徳之島 (鹿児島)	TO(K)	37	7012	921	2390	243	10603	5181	1522	3937	10640
伊平屋島 (沖縄)	IH(O)	214	10953	994	2556	42	14758	5575	590	5673	11838
伊江島 (沖縄)	IE(O)	255	12274	669	1561	41	14800	5710	874	6372	12955
栗国島 (沖縄)	AG(O)	335	8431	975	2491	31	12263	4290	523	6465	11278
多良間島 (沖縄)	TA(O)	230	12401	1025	2330	87	16073	7162	582	6366	14111
小浜島 (沖縄)	KO(O)	278	13307	1056	3211	37	17889	7292	805	8440	16537
西表島 (沖縄)	IR(O)	229	11100	1149	2716	68	15262	6456	463	8192	15111
波照間島 (沖縄)	HA(O)	307	12157	892	2160	37	15552	8137	944	7377	16458
与那国島 (沖縄)	YO(O)	821	11954	1200	2783	61	16818	7470	766	8611	16848
粉末黒砂糖	CON	456	10975	1306	3807	91	16636	8386	796	8181	17362
ヤシ糖	PS	1682	5453	298	54	20	7507	191	3993	456	4639

製品重量当たり ppm

た結果を表5に示した。陽イオンは全体的にカリウム含量が高く、次いでカルシウムおよびマグネシウム含量が高かった。また、陰イオンは、硫酸イオンおよび塩素イオン濃度が高かった。また、沖縄産の黒糖は陽イオン含量の合計が高く、10000ppm (1.0%) 以上であった。また、鹿児島産は喜界島産、奄美瀬戸内産、および種子島産が陽イオンの組成が似通っていた。

次に、各ミネラル含量について統計的に標準化を行わずに主成分分析を行った結果を図4に示した。PC1およびPC2ともに平均値を0とした主成分得点を示している。PC1の寄与率が92.2%、PC2が4.6%であり、累積寄与率が96.8%でほぼすべてのデータがこの2変数で説明できることが明らかになった。グラフ上で鹿児島産グループ、沖縄産グループ、ヤシ糖およびグラニュー糖が分かれていることが確認できた。PC1の主成分負荷量はカリウムおよび塩素イオンが0.98、硫酸イオンが0.96、カルシウムおよびマグネシウムも0.88以上でありPC1とこれらの含量との相関が非常に高かった。PC2については、リン酸イオンの主成分負荷量が-0.79、ナトリウムが-0.69と負の相関が高かった。PC1はサトウキビ由来の砂糖のミネラル組成の違いを示す指標であり、PC2はサトウキビと他の植物由来の砂糖のミネラル組成の違いを示す指標であると示唆された。

PC1と相関の高いカリウムイオン、カルシウムイオンおよびマグネシウムイオン、物質としては硫酸カルシウム、

硫酸マグネシウム等は、ミネラル系苦味のANOセンサ出力に影響すること、塩素イオンは塩味のCT0センサ出力に影響することが知られており、これらの含量は黒糖の苦味および塩味に影響を与えることが示唆された。鹿児島産の喜界島産、奄美瀬戸内産、および種子島産はPC1得点が低く、官能検査の結果のえぐみの低さ、黒糖味指数の値の低さとも一致した。

また、イオンクロマトグラフィーにおいて陰イオンを測定した際のチャートを図5に示した。標準液のフッ化物イオンの直後に複数の小さいピーク (Peak X) が出現するが、全体的に沖縄産の方がピークが大きく、鹿児島産の方が小さかった。陰イオンであるため有機酸の一種であると考えられ、沖縄産の黒糖の味の濃さに影響する物質である可能性があり、今後同定を予定している。

表6に黒糖味指数と各成分との相関係数を示した。黒糖の成分のうち、褐色を呈する色素成分 (色差)、ポリフェノールも相関があるが、黒糖味指数に強く影響する成分は全体の3%程含まれるミネラルであり、ミネラルの量および組成が黒糖 (または含蜜糖) の味の強さおよび味質を特徴づけていると考えられる。

要 約

沖縄産および鹿児島産の黒糖について、官能検査および味認識装置による評価を行い、これらの結果と成分との関係を確認した。

固有ベクトル

項目(変数)	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
K (ppm)	0.702	-0.573	0.081	-0.359	0.207	0.025	0.019	0.009
Cl (ppm)	0.498	0.241	-0.732	0.241	-0.316	-0.026	0.010	-0.020
SO4 (ppm)	0.475	0.463	0.654	0.164	-0.281	-0.141	-0.077	0.021
Ca (ppm)	0.171	0.242	-0.024	0.406	0.788	0.277	-0.221	0.009
Mg (ppm)	0.056	0.067	0.062	0.151	0.150	0.031	0.958	-0.157
Na (ppm)	0.001	-0.209	0.125	0.226	-0.352	0.870	0.013	0.095
NH4 (ppm)	0.000	0.009	-0.028	0.033	0.045	-0.093	0.153	0.982
PO4 (ppm)	-0.032	-0.542	0.096	0.739	-0.092	-0.368	-0.063	-0.038

主成分負荷量

項目(変数)	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
K (ppm)	0.982	-0.179	0.014	-0.059	0.017	0.001	0.000	0.000
Cl (ppm)	0.975	0.106	-0.182	0.055	-0.036	-0.002	0.000	0.000
SO4 (ppm)	0.962	0.210	0.168	0.039	-0.033	-0.011	-0.002	0.000
Ca (ppm)	0.893	0.283	-0.016	0.248	0.241	0.054	-0.019	0.000
Mg (ppm)	0.878	0.238	0.124	0.279	0.138	0.018	0.243	-0.013
Na (ppm)	0.014	-0.688	0.232	0.388	-0.303	0.479	0.003	0.007
NH4 (ppm)	-0.044	0.209	-0.387	0.417	0.286	-0.383	0.269	0.574
PO4 (ppm)	-0.210	-0.789	0.079	0.563	-0.035	-0.090	-0.007	-0.001

図 4 ミネラルの主成分分析
主成分得点の平均値を 0 として示した。

図5 鹿児島産および沖縄産黒糖の陰イオンイオンクロマトグラム

表6 各砂糖製品のPC1得点(黒糖味指数)と各項目の相関係数

項目	黒糖味指数	
黒糖味指数	1.000	
フルクトース % (w/w)	-0.335	
グルコース % (w/w)	-0.566	*
スクロース % (w/w)	0.072	
糖類合計 % (w/w)	-0.388	
ポリフェノール (ppm)	0.634	*
グラニュー糖との色差 ΔE	0.691	**
Na (ppm)	0.362	
K (ppm)	0.861	**
Mg (ppm)	0.812	**
Ca (ppm)	0.910	**
NH4 (ppm)	-0.077	
陽イオン (ppm)	0.900	**
SO4 (ppm)	0.835	**
Cl (ppm)	0.867	**
PO4 (ppm)	0.048	
陰イオン (ppm)	0.889	**

- (1) 官能検査の結果、沖縄産は全体的にえぐみが強く、味質は比較的類似していた。一方、鹿児島産は島によりえぐみの強さが異なり、また島によりえぐみ以外の特徴のある味が認められ、類似していなかった。
- (2) 味認識装置のCT0センサ、AAEセンサ、ANOセンサの選択により、塩味、うま味コクおよびミネラル系苦味の味推定値が測定できることが明らかになった。これらの値は、沖縄産は全体的に高い値を示したが、鹿児島産は値のバランスが島により異なり、この傾向は官能検査の結果と同様であった。また、味推定値で主成分分析を行い得られたPC1得点は、前報で得られたサトウキビ由来の砂糖製品のPC1得点(黒糖味指数)と相関係数 $r=1.000$ で一致したことから、黒糖味指数はサトウキビ由来の黒糖の味の強さを測る指標として利用できることが示唆された。
- (3) 黒糖の成分である、糖類、ポリフェノール、色差およびミネラル含量を測定し、また各ミネラル含量について主成分分析を行った。各成分含量はいずれも黒糖味指数と相関があったが、特に含有量が多い各種ミネラルは味の強さと味質を特徴づける影響が高

い成分であることが明らかになった。

味認識装置の測定に関し、センサに関する情報を提供していただいた株式会社インテリジェントセンサーテクノロジーに謹んで謝意を表します。

文 献

- Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., and Toko, K. (2010). Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores. *Sensors*, **10**, 3411–3443.
- Toko, K. (2006). Development of taste sensor. *Journal of the Surface Society of Japan*, **27** (1), 34–38 (都甲 潔, 味覚センサの開発, 表面科学).
- 池崎秀和 (2017). 多様なニーズに細かく対応するための味覚センサを用いた食品設計. ジャパンフードサイエンス, 2017-4, 28–33.
- 都甲 潔 (2015). ソルト・サイエンス・シンポジウム 2015, 味覚センサの開発と応用. そるえんす, **10**, 1–5.
- Toyota, K., Gui, H., Abe, K., Habara, M., Toko, K., and Ikezaki, H. (2011). Sweetness sensor with lipid/polymer membranes: sweet-responsive substances. *Sensors and Materials*, **23** (8), 465–474.
- Ezaki, S., Yuki, T., Toko, K., Tsuda, Y., and Nakatani, K. (1997). Analysis of taste qualities and ingredients of beer by taste sensing system. *IEEE Transactions on Sensors and Micromachines*, **117**(9), 449–455 (江崎 秀, 幸 利彦, 都甲 潔, 津田泰弘, 中谷和夫. 味覚センサによるビールの味質と成分の分析, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌)).
- Tamura, A. and Ito, K. (2014). Correlation analyses among quantities of analytical components, measurement data of taste sensor and sensory evaluation on tea. *Ningenseikagakukenkyu*, **5**, 31–42 (田村朝子, 伊藤 梢. 茶の成分値と味覚センサー測定値及びヒト官能評価との相関解析, 人間生活学研究).
- 池崎秀和 (2013). 味覚センサーによる味の物差し創りと味の見える化. 日本バーチャルリアリティ学会誌, **18** (2), 93–97.
- Toida, J. (2012). Evaluation of miso and soy sauce using a taste sensor. *Journal of the Brewing Society of Japan*, **107** (7), 485–490 (戸井田仁一. 味覚センサーを用いたみそ, しょうゆの評価, 日本醸造協会誌).
- Iiyama, S., Ikeda, T., Toko, K., and Yahiro, M. (1997). Measurements of shoyu (soy sauce) with multichannel taste sensor. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **44** (9), 615–622 (飯山 悟, 池田知宏, 都甲 潔, 八尋美希. マルチチャ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).
- 都甲 潔 (2001). 人の舌を超えたセンサー. 日本調理科学会誌, **34**, 224–229.
- Itoyama, R., Ishihara, K., Sugihara, N., Sakuma, R., Hato, K., and Koga, H. (2015). Study of an edible vegetable oil component extraction method suitable for measurements by the taste sensing system. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **62** (9), 454–460 (糸山隆一, 石原克之, 杉原直子, 佐久間豊, 羽藤公一, 古賀秀徳. 味認識装置での測定に適した植物油成分抽出法の検討, 日本食品科学工学会誌).
- 池崎秀和 (2010). 味覚センサによる「油脂の風味」及び「油脂が与える影響」の評価日本油脂化学会油脂産業技術部会セミナー講演要旨集, **2010**, 1–5.
- 安食菜穂子 (2013). 味認識装置による漢方処方並びに生薬の品質評価. 特産種苗, **16**, 77–83.
- Wajima, T., Ueno, H., Fukada, M., Kudo, Y., Mimaki, N., Nakashima, N., Kitano, N., and Matsuzoe, N. (2012). Taste evaluation by taste sensor analysis in tomatoes. *Journal of the Japanese Society of Taste Technology*, **11** (2), 5–14 (和島孝浩, 上野華子, 深田正博, 工藤康文, 三牧奈美, 中嶋名菜, 北野直子, 松添直隆. 味覚センサ分析によるトマト果実, 美味技術学会誌).
- Fujii, S., Shiomi, T., Furuta, T., Nagai, Y., Kawai, T., and Hirata, A. (2019). Evaluation of sugar products derived from sugar cane using taste recognition system. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **66** (7), 238–248 (藤井沙代子, 塩見和世, 古田到真, 永井幸枝, 河合俊和, 平田昭夫. 味認識装置によるサトウキビ由来砂糖製品の評価, 日本食品科学工学会誌).
- Akinaga, T., Okadome, H., and Kohda, Y. (1994). Fundamental studies on the qualities of brown sugar (Part 1)-Physical properties and chemical components of brown sugar. *Nogyo Kikaigakkaishi*, **56** (5), 51–56 (秋永孝義, 岡留博司, 國府田佳弘. 黒糖の品質に関する基礎的研究 (第1報) —黒糖の物理化学的特性—, 農業機械学会誌).
- Okura, H. (2002). Taste evaluation of raw sugars in the Nansei Islands and influence of manufacturing factors its evaluation. *Nippon Syokuseikatugkkaishi*, **12** (4), 342–347 (大倉洋代. 南西諸島産黒糖の官能評価と製造に関する研究, 日本食生活学会誌).
- Okura, H. (2000). Manufacturing process and component of raw sugar in the Nansei Islands. *Nippon Syokuseikatugkkaishi*, **11** (3), 269–275 (大倉洋代. 南西諸島産黒糖の製造と品質, 日本食生活学会誌).
- 岩屋あまね, 瀬戸口眞治, 吉村浩三 (1996). 黒糖の一般成分に関する研究, 鹿児島工業技術研究センター平成8年度研究報告.
- Akinaga, T., Nose, A., Okadome, H., and Kohda, Y. (1996). Fundamental studies on the qualities of brown sugar (Part 2)-Physical properties and inorganic chemical components of brown sugar. *Nogyo Kikaigakkaishi*, **58** (3), 11–17 (秋永孝義, 野瀬昭博, 岡留博司, 國府田佳弘. 黒糖の品質に関する基礎的研究 (第2報) —黒糖の品質と無機成分の関係—, 農業機械学会誌).
- Nakasone, Y., Wada, K., Takara, K., and Uehara, S. (2000). Distinction between non-centrifugal cane sugar (native Kokuto) and commercial Kokuto by chemical composition and color evaluation. *The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus*, **47**, 123–127 (仲宗根洋子, 和田浩二, 高良健作, 上原しのぶ. 含蜜糖および再生加工糖の化学成分と色差分析, 琉球大学農学部学術報告).
- Nakasone, Y., Simo, M., Tamashiro, N., and Hosoyamada, Y. (1989). Relationships between the quality and constituents of non-centrifugal sugar (Kokuto) processed by mills in Okinawa. *The Science Bulletin of the Faculty of Agriculture. University of the Ryukyus*, **36**, 67–72 (仲宗根洋子, 志茂守孝, 玉城典子, 細山田義行. 含蜜糖 (黒糖) の品質及び成分, 琉球大学農学部学術報告).
- Asikin, Y., Takahara, W., Takahashi, M., Hirose, N., Ito, S., and Wada, K. (2017). Compositional and electronic discrimination analyses of taste and aroma profiles of non-centrifugal cane

- brown sugars. *Food Anal. Methods*, **10**, 1844–1856.
- 25) Ujihara, K., Yoshimoto, M., Wada, K., Nagai, R., Hirose, N., and Teruya, R. (2009). Effect of roller material used in mill and liming treatments on color tone and quality of non-centrifugal sugar. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **56** (6), 343–349 (氏原邦博, 吉元 誠, 和田浩二, 永井竜児, 広瀬直人, 照屋 亮. 黒砂糖の色調と品質に及ぼすサトウキビ搾汁機ローラーの材質とライミング処理の影響, 日本食品科学工学会誌).
- 26) 橋本 仁, 高田明和編 (2006). 「砂糖の科学」, 朝倉書店, 東京.
- 27) Schutz, H.G. and Pilgrim, F.J. (1957). Differential sensitivity in gustation. *J. exp. Psychol.*, **54**, 41–48.
- 28) 大地修司, 福村 誠, 西島恵介, 藤田米春 (2007). RGB-L*a*b* 表色系間のシームレスな変換. 平成 19 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 60 回連合大会) 講演論文集, 10–1 P-03.
- 29) 山下怜子 (2016). 色を表現するために～II.半透過色の測定事例と色差～. 大阪府立産業技術総合研究所 *Technical Sheet* No.16004.
- 30) 幅 靖志 (2018). 白醤油の色と測色について. あいち産業科学技術総合センター食品工業技術センターニュース, 2018–9.
- 31) 長谷川香料株式会社 (2012). 苦味・渋味抑制剤. 特許第 5019659 号, 6 月 22 日.
- 32) 木下栄蔵 (2009). 「わかりやすい数学モデルによる多変量解析入門 第 2 版」, 近代科学社, 東京.
- 33) 清水功次 (2015). 「実務に役立つ多変量解析の理論と実践」, 日科技連出版社, 東京.
- 34) Taguchi, H., Kawano, A., Tamura, M., Okumura, K., and Ogata, S. (2007). Determination of antioxidative activity in various foods and investigation of methods for increasing its activity by food processing. *The bulletin of the Graduate School of Bioresources Mie University*, **34**, 37–45 (田口 寛, 川野亜貴子, 田村雅文, 奥村克純, 緒方 進. 各種食品の抗酸化能の測定と加工による抗酸化能上昇の検討, 三重大学大学院生物資源学研究科紀要).
- 35) Ujihara, K., Yoshimoto, M., Wada, K., Takahashi, M., and Suda, I. (2013). Enhancement of DPPH-radical scavenging activity in heat-processed sugarcane molasses. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **60** (4), 159–164 (氏原邦博, 吉元 誠, 和田浩二, 高橋 誠, 須田郁夫. サトウキビ糖蜜の抗酸化活性に及ぼす加熱加工の影響, 日本食品科学工学会誌).

引用 URL

- i) 消費者庁, 食品表示に関する Q&A 平成 23 年 3 月一部改正, http://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/information/qa/processed_foods_05/ (2018. 11. 12)
- ii) 日本食品成分表分析マニュアル 第 7 章, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/afiedfile/2016/03/25/1368932_07_1.pdf (2018. 12. 22)
- iii) 農業・食品産業総合研究機構沖縄農業研究センター 総ポリフェノール分析法 (沖 智之), <http://fmric.or.jp/ffmanual/manual40111.pdf> (2018. 12. 22)
- iv) 統計学入門 第 16 章 主成分分析 (杉本典夫), <http://www.snap-tck.com/room04/c01/stat/stat16/stat1601.html> (2018. 12. 22)
- (平成 30 年 9 月 13 日受付, 平成 31 年 1 月 28 日受理)