報 文

色彩を用いたチーズブレッドの香りの評価

森田亜紀^{1,3*}, 早川文代², 香西みどり³

¹ 三菱商事ライフサイエンス株式会社

² 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門

³ お茶の水女子大学

Evaluation of the Aroma of Cheese Bread Using Color

Aki Morita^{1,3*}, Fumiyo Hayakawa² and Midori Kasai³

¹ Mitsubishi Corporation Life Sciences Limited, 4041 Ami, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki 300-0398

² Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization,
2-1-12 Kannon-dai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

³ Ochanomizu University, 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610

Natural cheese differs depending on the kind of milk and microorganisms used, as well as the conditions under which the cheese is matured. The purpose of this study was to examine a method of evaluating the aroma of bread with added natural cheese based on color, and to clarify the evaluation results and the correlation with volatile compounds. We made loaves of bread that each combined 13 kinds of natural cheese. We performed sensory evaluation of the aroma of the cheese bread using color. The aroma of bread was expressed as orange and yellow and the aroma of cheese bread was expressed as yellow. Principal component analysis identified the first principal component to be “tone” and the second to be “hue”. The first component was interpreted as “the strength and weakness of the baked aroma of the cheese bread”. The second component was interpreted as “the balance of the aroma of the bread”. Aldehydes and heterocycles had a negative correlation with pale and light color, and a positive correlation with deep color. We also visualized the aroma of cheese bread using words and components. We were able to suggest means of clearly conveying the aroma of cheese bread to consumers.

(Received Sep. 25, 2019; Accepted Nov. 25, 2019)

Keywords : bread, natural cheese, sensory evaluation, color, aroma

キーワード : パン, ナチュラルチーズ, 官能評価, 色彩, 香り

パンの品質は主に外観, 香り, 食感, 風味から総合的に判断され, その評価方法として官能評価が広く行われている^{1)~5)}。中でも香りは消費者のパンの嗜好性を左右する重要な品質要因とされており³⁾, 定量的記述法による代表的な評価用語として, 小麦の香り, 穀物の香り, モルトの香り, 発酵した香り, ナッツの香り, バター様の香り, (クラストの) トーストした香り, の7用語が報告されている⁵⁾。訓練されたパネルによる官能評価はパンの品質を評価する優れた方法であるが, その結果を専門家以外の第三者に伝える場合にはあらかじめその用語について理解を得ることが必要であるため, 専門家の間での情報伝達に留まることが多い。一方, 分析機器の普及により, 香気成分の分析値や半導体センサーの測定値を用いて品質を評価するという研究も盛んに行われている^{3)6)~12)}。パンの香気成分としては540以上の成分が報告されており³⁾¹³⁾, そのうちパンの香り

に重要な化合物群はアルデヒド類, アルコール類, ケトン類, エステル類, 酸類, ピラジン類とされている¹⁴⁾¹⁵⁾。しかし機器分析の結果はサンプル間の相違点を明らかにする点では優れているが, パンの香りは複雑であり種々の成分のバランスで決まることから, 機器分析結果からパンの香りを第三者に伝えることは難しい。

近年, 香りのイメージを伝達する手段として色彩で表現し可視化する研究が報告されている^{16)~21)}。妹尾らは12種の単品香料を用いた評価により, 明度は香りが持つ量的なイメージにおける大小を表現していると報告している¹⁹⁾。またシャンプー製品においては嗜好性の高い製品は赤の値が高い傾向があるなど, 色度と嗜好性との間に相関が見られている¹⁶⁾。しかしこれらの報告は香りの質が明確に異なる香料を用いた評価であり, 食品を対象とした色彩による香りの評価に関する研究はない。また香りの強度や質が類

¹ 〒300-0398 茨城県稲敷郡阿見町阿見 4041, ² 〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12, ³ 〒112-6810 東京都文京区大塚 2-1-1

*連絡先 (Corresponding author), aki.morita@mclsltd.com

似している食品を対象とした場合に、色彩による香りの評価が可能であるかどうかは不明である。著者らは先にチーズを原料として使用するチーズブレッドの風味に着目し、ナチュラルチーズの違いによりチーズブレッドの官能特性は異なり、チーズブレッドの香りの官能特性は 9 語でマッピングできることを報告している²²⁾。チーズブレッドの香りのイメージを色彩で表現することが可能になれば、定量的記述法による専門パネルによる評価結果や、機器分析による香気成分分析の結果と組み合わせることで、チーズブレッドの香りのイメージを専門家以外にもわかりやすく伝えることができるのではないかと考えた。

本研究の目的は、チーズブレッドの香りの色彩評価の結果と香気成分との関係について明らかにし、香りを色彩により評価する手法を検討することである。これによりチーズブレッドの香りを一般消費者にわかりやすく伝える手段を提供できると考える。

実 験 方 法

1. 供試試料

さまざまなナチュラルチーズを添加したパンの香りについての評価を行うため、日本で一般的な分類にあたる 7 タイプのナチュラルチーズを網羅するようなチーズ試料を選定した。選定にあたっては、国内で流通し日本人になじみのあるもの、原料に生乳、クリーム、食塩、着色料以外が含まれないもの、安定して製品が入手できることの 3 点に留意し 13 品を選び量販店または百貨店で購入した (表 1)²²⁾。一般的に、ナチュラルチーズの熟成期間は、フレッシュタイプは熟成なし、白カビタイプ、シェーブタイプは 2 週間から 4 週間、ウォッシュタイプ、青カビタイプは 2 から 3 か月と言われている²³⁾²⁴⁾。またセミハード・ハードタイプは 4 か月以上の熟成期間であるが、ハードタイプの方が期間は長くエメンタールで 8 から 9 か月、エダムは 6

か月、パルミジャーノ・レッジャーノは 14 か月以上である²⁴⁾。本研究に使用したナチュラルチーズ試料は、一般的な国内流通品であり、これらの熟成期間はほぼ上記の一般的な熟成期間であると考えられる。

2. 供試試料の成分分析

水分分析には常圧加熱法²⁵⁾を用いた。pH の計測は粉碎した試料 20 g に蒸留水 20 mL を加えて混合し、pH 電極計 (SevenEasy, メトラートレド) で測定した。遊離アミノ酸の分析にはニンヒドリンポストカラム発色法²⁶⁾ (JLC-500/V2, 日本電子)、遊離脂肪酸の分析にはガスクロマトグラフィー法²⁷⁾ (7890A, Agilent Technologies)、有機酸の分析には液体クロマトグラフィー法²⁸⁾ (LC-20AD, 島津製作所) を用いた。測定は各試料とも 3 回行い平均値を求めた。供試試料は製品ごとに 1 包装分全量をフードプロセッサー (MK-K48, パナソニック) で粉碎したのち試験に供した。

3. パンの調製

小麦粉 1 kg 仕込みのストレート法で行い、ワンローフ型の食パンを調製した²²⁾。加えるナチュラルチーズは 100 g とし、製パン原料として用いる水のうち 100 g を用いあらかじめホモジナイザーで分散させた。また食塩は、ナチュラルチーズに含まれる食塩分を差し引いた量を加えた。コントロールとしてナチュラルチーズを添加しないパンを調製した。

焼成したパンは直ちに型から取り出し室温で 90 分間放置して粗熱をとったあと、ポリエチレン袋の中に入れて 25℃で保存した。翌日、官能評価、香気成分分析に用いた。

4. パンの官能評価ならびに統計解析

官能評価は、倫理審査委員会による承認 (お茶の水女子大学倫理審査委員会番号 2018-159) を得て実施した。

(1) 色票を用いたパンの香りの官能評価

i) パネル

14 名 (男性 8 名 : 20 歳代 2 名, 30 歳代 5 名, 50 歳代 1

表 1 供試サンプルのタイプ、生産国、原材料名²²⁾

試料	タイプ	チーズ名	生産国	原材料名
No.1	フレッシュタイプ	クリーム	デンマーク	クリーム, 生乳, 食塩
No.2		モッツアレラ	ニュージーランド	生乳, 食塩
No.3	白カビタイプ	カマンベール	フランス	生乳, 食塩
No.4	青カビタイプ	ブルー	フランス	生乳, クリーム, 食塩
No.5		ダナブルー	デンマーク	生乳, 食塩
No.6	シェーブタイプ	サント・モール	フランス	山羊乳, 食塩
No.7	ウォッシュタイプ	クリームウォッシュ	フランス	生乳, クリーム, 食塩, アナトー色素
No.8		ショーム	フランス	生乳, 食塩, カロチン色素
No.9	セミハード・ハードタイプ	エメンタール	スイス	生乳, 食塩
No.10		ゴーダ	オランダ	生乳, 食塩
No.11		チェダー	ニュージーランド	生乳, 食塩, カロチノイド色素
No.12		エダム	オランダ	生乳, 食塩, アナトー色素
No.13		パルミジャーノ・レッジャーノ	イタリア	生乳, 食塩

名、女性6名：20歳代2名、40歳代2名、50歳代2名）から成る三菱商事ライフサイエンス研究開発グループの分析型パネルを用い、11名以上の参加により評価を実施した。パネリストは週1回以上の頻度で約1年間以上にわたってパンの官能評価に従事し、かつ既報²²⁾のチーズブレッドの官能評価の経験を有している。

ii) パンの提示方法

18mmの厚さにスライスしたパンを8等分しそのうち4片を250mL容のガラス瓶に入れ蓋を閉めた。試料によりパンの表面上部のクラストの焼き色に違いがあったため、上部のクラスト部分は取り除いた。蓋を開けた時に感じる香りについて評価するようパネリストに指示した。1セッションにつき提示する試料のパンは3種または4種とし、サンプルにはランダムな3桁の数字を添付した。原則として1日1セッションとし、1セッションは5から10分であった。コントロールの評価は8回、その他の試料の評価は2回実施した。本評価の前に2セッションの訓練を行い、同試料において色彩パターンの傾向は類似することを確認した。

iii) 色票の作成と評価方法

選択する色の候補として色票を作成した。PCCS表色系の新配色カード199より有彩色30色（色相6種、赤、橙、黄、緑、青、紫、トーン5色：pale, light, vivid, deep, dark）と無彩色5色（白から黒）の合計35色に番号をつけ、A4用紙に配置した（図1）。パネルはパンの入った容器の蓋をあけた時に感じる香りの質のイメージに合致する色を色票から2色以内で選択した。1色選択の場合は1、2色選択の場合は0.5と換算し、各色の割合（（各色の合計値/総合計値）×100）を求めた。なお、無彩色5色は、Wはpale, Gy-7.5はlight, Gy-4.5はvivid, Gy-3.0はdeep, Bkはdarkとして分類し集計した。

	pale	light	vivid	deep	dark
赤	1	2	3	4	5
橙	6	7	8	9	10
黄	11	12	13	14	15
緑	16	17	18	19	20
青	21	22	23	24	25
紫	26	27	28	29	30
無彩色	31	32	33	34	35

図1 色票

(2) パッケージカラーを用いたパンの香りの官能評価

i) パネル

分析型パネルとして上記と同じパネルを用いた。

嗜好型パネルとしてお茶の水女子大学の学生および女性職員、計16名（20歳代10名、その他6名）を用いた。

ii) パッケージカラーの作成とパンの提示方法

色彩評価の結果よりパッケージカラーを作成した（図2）。コントロール、No.1、No.13のパンを18mmの厚さにスライスし、1枚ずつポリエチレン袋に入れランダムな3桁の数字を添付した。図2よりコントロール、No.1、No.13のパッケージカラーを用紙に配置した。袋を開けたときのパンの香りのイメージがどの程度表現できているのかを評定尺度としてVAS（Visual Analog Scale）を用いて評価させた（図3）¹⁸⁾。

iii) 統計解析

色彩パターンの相関性、色相、トーンと官能評価の相関性、色相、トーンと揮発性成分の相関性を見出すために、Pearsonの相関係数を求めた。データを一元的に把握するために、色相とトーンを変量、各パネリストの各試料の色彩評価の結果を個体として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。VAS指数は試料間の差を確認するために、一元配置の分散分析とTurkeyのHSDによる多重比較を行った。解析はSPSS Statistic23（日本IBM）を用いた。

5. パンの揮発性成分分析

香気成分は、ヘッドスペース固相マイクロ抽出法（HS-SPME法）により捕集しGC/MSを用いて同定した²⁹⁾。

ワンローフ型食パンを18mmの厚さにスライスし、中心部分の3枚分を全量フードプロセッサーで粉砕した。これを分析に供するまで-80℃で凍結保存し、分析時に室温で解凍して用いた。20mL容のGC用スクリーキャップ付バイアル瓶に試料を1g秤取し、内部標準物質として0.01%シクロヘキサノール水溶液20μL充填し、PTFE被覆/シリコンセプタム付きのスクリーキャップで密封した。香気成分の捕集は、固相抽出マイクロファイバー（以下、SPMEファイバー）（DVB/Carboxen/PDMS, SUPELCO）により行った。密封後、50℃10分間予備保温したバイアル瓶のヘッドスペース部分にSPMEファイバーを差し込み30分間吸着部分を露出して香気成分を吸着させた。香気成分を捕集後、250℃に保持したインサート内で3分間脱離させた。GCは7980A（Agilent Technologies）、MSは5975C（Agilent Technologies）を用いた。カラムはTC-WAX（60m×0.25mm i.d., 膜厚0.25μm, ジーエルサイエンス）を用い、スプリットレスで試料を注入し、注入口温度は250℃とした。オープン温度は40℃で5分間保持後、100℃までは2℃/分、100から240℃までは8℃/分で昇温し、240℃で5分間保持した。キャリアガスはヘリウムを使用し、イオン化はEI法で行った。イオン源温度およびインターフェース温度は230℃、イオン化電圧は70eVと

図 2 パッケージカラーイメージ

お名前

下記のパッケージカラーについて、サンプルの香りのイメージをどの程度表現できているのかを評価し、線分上に↓で示してください。

図 3 VAS 法による官能評価用紙

した。検出成分は各 GC/MS スペクトルを NIST データベースと照合し、標準物質とのマススペクトルおよび保持時間の一致により決定した。各成分の相対定量値は内部標準であるシクロヘキサノールの面積比から算出した。測定は3回行い平均値を求めた。

実験結果および考察

1. チーズの成分

表 2²²⁾ にチーズ試料の栄養成分の含有量、遊離アミノ酸、遊離脂肪酸、有機酸の総含有量および pH を示した。脂質、たんぱく質、食塩相当量は製品の裏面表示より抜粋した。脂質含量は少ないもので 21.1%，多いもので 34.5% であった。たんぱく含量は少ないもので 5.1%，多いもので 33.6% であった。セミハード・ハードタイプは水分が少ない傾向にあった。遊離アミノ酸、有機酸はフレッシュタイプや

白カビタイプよりも、青カビタイプ、ウォッシュタイプ、セミハード・ハードタイプで多かった。遊離脂肪酸は青カビタイプ、シェーブタイプで多かった。供試試料は成分組成として多様なものが選択できていることを確認した。

2. 香りの色彩パターン

官能評価により得られた香りの色彩データから色相別、トーン別に集計した（表 3）。色相別に見ると、コントロールは橙、黄の割合が多く、パンの香りは橙や黄として表現されることがわかった。チーズブレッドにおいても橙、黄の占める割合が多いが、試料 7, 8, 13 以外の 10 試料は橙よりも黄の占める割合が多かった。チーズブレッドはコントロールよりも黄のイメージが強いと読み取れた。また、試料 6 のみ緑の占める割合が 14.6% と高くシェーブタイプの香りの特徴が色相に表れていた。香水の色彩パターンでは赤や黄、緑、青と香水によって中心となる色相が異

表 2 供試試料の化学成分組成²²⁾

試料	含有量 (g/100g)				含有量 (mg/100g)			pH
	脂質	たんぱく質	水分	食塩相当量	遊離アミノ酸	遊離脂肪酸	有機酸	
No.1	25.0	5.1	66.1	1.0	17	101	741	4.7
No.2	21.1	25.3	44.2	1.4	57	78	252	6.2
No.3	24.0	19.0	52.7	1.3	178	282	146	6.6
No.4	27.6	17.0	48.1	1.6	163	231	48	6.5
No.5	29.0	20.0	40.2	3.4	6653	7910	848	5.0
No.6	23.0	20.0	45.0	1.5	2391	7011	53	7.2
No.7	28.4	16.2	48.6	1.3	157	157	85	6.4
No.8	24.0	18.0	50.9	1.9	1463	141	116	7.0
No.9	31.0	29.0	33.9	0.4	4127	490	1580	5.7
No.10	31.1	22.9	39.3	2.1	871	119	1362	5.3
No.11	34.5	22.8	36.5	1.7	690	139	1441	5.3
No.12	28.5	29.7	36.3	3.1	2333	165	1783	5.3
No.13	29.0	33.6	28.5	1.6	9158	1169	2262	5.4

試料のタイプ、1,2:フレッシュタイプ、3:白カビタイプ、4,5:青カビタイプ、6:シェーブタイプ、7,8:ウォッシュタイプ、9-13:セミハード・ハードタイプ

表 3 チーズブレッドの色彩による官能評価結果

	control	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13 (%)
赤	6.0	6.3	8.3	8.3	4.3	4.2	4.2	11.1	11.1	2.8	13.0	6.3	8.3	3.8
橙	44.3	22.9	35.4	33.3	31.9	31.3	20.8	44.4	41.7	22.2	32.6	31.3	30.6	42.3
黄	39.3	60.4	39.6	43.8	57.4	54.2	52.1	30.6	41.7	61.1	50.0	47.9	52.8	42.3
緑	6.6	6.3	8.3	6.3	6.4	2.1	14.6	5.6	0.0	2.8	2.2	8.3	8.3	5.8
青	2.2	0.0	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	5.6	2.2	0.0	0.0	1.9
紫	1.1	0.0	4.2	4.2	0.0	8.3	8.3	5.6	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	3.8
無彩色	0.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6	0.0	4.2	0.0	0.0
pale	18.6	37.5	22.9	16.7	14.9	2.1	2.1	30.6	0.0	11.1	2.2	10.4	13.9	3.8
light	17.5	18.8	31.3	25.0	12.8	4.2	22.9	36.1	11.1	8.3	23.9	16.7	19.4	7.7
vivid	13.1	14.6	6.3	8.3	19.1	25.0	18.8	8.3	36.1	19.4	21.7	20.8	30.6	11.5
deep	24.0	25.0	22.9	31.3	19.1	41.7	31.3	22.2	41.7	44.4	39.1	33.3	22.2	42.3
dark	26.8	4.2	16.7	18.8	34.0	27.1	25.0	2.8	11.1	16.7	13.0	18.8	13.9	34.6

No.1-13 は表 1 に対応したチーズを添加したパン

表 4 官能評価による色彩パターンの相関係数

	control	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
control	1	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
No. 1		1	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+
No. 2			1	++	++	+	++	++	+	+	++	++	+	++
No. 3				1	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
No. 4					1	++	++		++	++	++	++	++	++
No. 5						1	++		++	++	++	++	++	++
No. 6							1		++	++	++	++	++	++
No. 7								1	+	+	+	+	++	
No. 8									1	++	++	++	++	++
No. 9										1	++	++	++	++
No. 10											1	++	++	++
No. 11												1	++	++
No. 12													1	++
No. 13														1

No. 1-13 は表 1 に対応したチーズを添加したパン

+ 正の相関 ($P < 0.05$), ++ は正の相関 ($P < 0.01$) があることを示す

なっている¹⁷⁾のに対し、チーズブレッドの香りはどの試料においても橙、黄が中心であった。このことは香料と比較してパンの香りの差が小さいことを表している。

トーン別に見ると、コントロールは vivid の 13.1% が最も低く、dark の 26.8% が最も高く、その差は 13.7% と他の試料と比較して差が小さかった。コントロールはトーン別の違いが小さいことが特徴であった。40% を上回るトーンは、試料 5, 8, 9, 13 の deep であった。試料 5, 8, 9, 13 は表 2 に示したように比較的遊離アミノ酸含量が多い。先行研究²⁷⁾の結果よりグルタミン酸ナトリウム、バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、フェニルアラニン、プロリン、酪酸をパン生地添加到することによりチーズブレッドの風味が形成されることがわかっており、試料 5, 8, 9, 13 はチーズブレッドの特徴的な香りが強いと考えられた。またパン上部表面のクラスト部分の色はコントロールに比べて試料 5, 9, 13 で有意に L^* 値が低く、焼き色が濃いことがわかっている²²⁾。色彩の官能評価において上部表面は取り除いて評価したため試料の外観の影響はないが、焼成で生じたメイラード反応による香りが deep として表れたと考えられる。

表 4 に各試料の色彩パターンの相関係数を示した。相関係数はすべて正方向であり負の方向となる試料はなかった。また有意差が見られなかったのは試料 7 に対する試料 4, 5, 6, 13 のみであり、その他の試料間には有意に正の相関が見られた。「パンの香り」としては香りの質や強度が類似しているため、色彩パターンも類似していると考えられた。試料 7 はその他の試料と比較して pale と light の割合が多かった。試料 7 はウォッシュタイプであることからウォッシュタイプの香りの特徴が表れていると考えられた。

3. 色彩パターンの全体像の把握

色彩データを一元的に把握するために、色相とトーンを

変量、各パネリストの各試料の評価を個体として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。その結果、第 3 主成分までが意味のある主成分として抽出された。寄与率は第 1 主成分 28.2%, 第 2 主成分 19.1%, 第 3 主成分 16.8% であった。第 1 主成分と第 2 主成分から構成される散布図を図 4 に、色相とトーンに対する因子負荷量を表 5 に示した。各主成分に対する軸の解釈のため、既報²²⁾の香り 9 用語による線尺度法の官能評価点数と色相、トーンとの相関係数を表 6 に示した。各主成分に対する因子負荷量に着目したところ、第 1 主成分については、正の方向に pale (0.87), light (0.86) の因子負荷量が大きかった。pale は小麦の香りと正の相関があり、カビのような香り、グリーンな香り、酵母エキスの香り、スモークの香り、チーズを焼いたような香りと負の相関が見られている。light はスモークの香り、チーズを焼いたような香りと負の相関がある。また pale と light の占める割合が 40% を上回った試料は試料 1, 2, 3, 7 であり、これらは遊離アミノ酸量が少ないチーズ (表 2) を使用したチーズブレッドである。これらのことから、試料 1, 2, 3, 7 の香りはアミノ酸由来のイーストによる発酵成分や焼成によるメイラード反応が少ないと想定されるため、第 1 主成分は「チーズブレッドのこうばしい香りの強弱」を表していると解釈した。第 2 主成分はトーンよりも色相の因子負荷量の方が大きく、中でも橙 (0.86) の因子負荷量が大きかった。しかし、紫以外はいずれの色相も官能評価用語と相関がない。また紫は一部の官能評価用語と相関が見られたものの、因子負荷量は小さい。これらのことから第 2 主成分には色相の違いが寄与しているものの特徴的な香りを表してはおらず、「パンの香りのバランス」を示していると解釈した。

以上からチーズブレッドの香りは色彩評価により、トーンと色相の 2 成分により平面上で表現できることがわか

図 4 主成分分析の結果 (第 1 主成分×第 2 主成分)

表 5 各主成分の因子負荷量

	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
赤	0.41	0.32	0.71
橙	0.24	0.86	0.08
黄	-0.48	-0.85	-0.14
緑	0.29	-0.15	-0.52
青	-0.15	0.24	0.30
紫	0.00	0.29	-0.26
無彩色	0.18	-0.53	0.19
pale	0.87	-0.34	-0.12
light	0.86	0.13	0.14
vivid	-0.64	-0.17	0.52
deep	-0.75	0.16	0.34
dark	-0.56	0.28	-0.77

色彩項目を変量，各パネリストの各試料の評価を個体とした主成分分析の結果

り，トーンは「チーズブレッドのこうばしい香りの強弱」，色相は「パンの香りのバランス」と，2成分で香りの強弱と質を示していることが読み取れた．香料を用いた香りの色彩評価においては，香りを嗅いで色をイメージするという作業自体は容易であったことが報告されている¹⁹⁾．本研究においてもパンの香りから色をイメージすることが困難であったパネルは1名も出なかった．しかし，香料と比較して香りの違いが小さいパンの香りの色彩評価においては，パンの香りの違いを感知し，その違いを定量的に評価できる分析型パネルでなければ，色彩評価においても試料間の差は表現できないと考えられる．

本研究により，分析型パネルによる色彩を利用した香りの官能評価方法はチーズブレッドの香りの評価法として利用できることが明らかとなった．

4. パッケージカラーの作成と評価

官能評価の色彩データからパッケージカラーのイメージを作成した (図 2)．コントロールは，15% 以上を占める色はなかった．これは香りに際立った特徴がないことを示しているのではないかと考えられる．試料 1 は黄 pale が 25% を占めており，この色はクリームチーズの特徴を表していると考えられた．試料 5, 8, 9, 10, 11, 13 は黄 deep の占める割合が 20% 以上と多い．これらの試料は比較的熟成期間の長いチーズであり，黄 deep は熟成チーズの特徴を表していると考えられた．香りの色彩評価において，試料の香りに特徴があれば1色の占める割合が多くなり，またその特徴が類似していれば同じ色が選択される傾向が見てとれた．

次に分析型パネルによる色彩評価の結果から得られたパッケージカラーが実際に分析型パネルおよび嗜好型パネルによって受け入れられるか検証を行った．試料として，嗜好型パネルにおいても香りの差が認識できると考えられたコントロール，試料 1，試料 13 を選択した．これらの試料の香りに対して，分析型パネルが作成したパッケージカラーが分析型パネルおよび嗜好型パネルの香りイメージをどの程度表現できているのかを VAS 法により検証した．VAS 指数が高いほど色彩イメージが一致していることを示している．分析型パネルの結果を図 5 に示した．コントロール，試料 1，試料 13 とともに，分析型パネルが作成した各々のパッケージカラーのイメージの VAS 指数が最も高くなっていた．分析型パネルにおいては，3 種類のパンの香りのイメージは分析型パネルが作成した色彩イメージで表現できていることが確認できた．

次に嗜好型パネルにおいて，同様の評価を実施した．結果を図 6 に示した．コントロールのパッケージカラーに対

表 6 官能評価用語と色彩の相関係数

	アルコール の香り	カビのよう な香り	小麦の香り	グリーンな 香り	酵母エキスの 香り	乳の甘い 香り	スモーク の香り	こうばしい 香り	チーズを焼い たような香り
赤	0.46	-0.27	0.27	-0.25	-0.30	-0.23	-0.22	0.23	-0.25
橙	0.28	-0.28	0.32	-0.26	-0.32	-0.23	-0.14	0.42	-0.27
黄	-0.11	0.25	-0.31	0.28	0.35	-0.03	0.22	-0.32	0.37
緑	-0.38	0.10	0.01	0.01	-0.02	0.36	-0.26	-0.22	-0.22
青	0.33	-0.12	0.10	-0.07	-0.11	-0.29	0.15	0.11	-0.04
紫	-0.87**	0.51	-0.45	0.30	0.30	0.54*	0.19	-0.19	0.17
無彩色	0.33	-0.40	0.26	-0.25	-0.14	0.26	-0.07	-0.01	-0.02
pale	0.15	-0.73**	0.79**	-0.81**	-0.66*	0.41	-0.71**	0.61*	-0.69**
light	0.09	-0.39	0.49	-0.51	-0.50	0.35	-0.59*	0.34	-0.61*
vivid	0.19	0.41	-0.53	0.52	0.47	-0.57*	0.46	-0.55*	0.57*
deep	-0.04	0.46	-0.62*	0.64*	0.58*	-0.16	0.80**	-0.42	0.73**
dark	-0.39	0.44	0.37	0.37	0.28	-0.15	0.23	-0.16	0.19

*, $P < 0.05$, **, $P < 0.01$

パッケージごとにTukey-HSD検定による比較を行い、同じ文字を持たないものの間には5%水準で有意な差があることを示す

図 5 分析型パネルによるパッケージカラーに対する評価結果

パッケージごとにTukey-HSD検定による比較を行い、同じ文字を持たないものの間には5%水準で有意な差があることを示す

図 6 嗜好型パネルによるパッケージカラーに対する評価結果

しては、3種類のパンにおいてVAS指数に有意差はなかった。コントロールのパンは香りに特徴がなく色彩においても特徴がない。そのため嗜好型パネルにおいては香りと色

彩を結びつけることが困難であったと考えられる。しかし、試料1、試料13のパッケージカラーはそれぞれに対応する試料の香りを表現していると評価され、パンの香りの

イメージは分析型パネルが作成した色彩イメージで表現できていることが示された。この結果により、分析型パネルが作成した色彩イメージは、パンの香りを消費者にわかりやすく伝える手段となりうることが示唆された。

5. パンの揮発性成分

チーズブレッドの揮発性成分について、トータルイオンクロマトグラムの相対定量値を表7に示した。コントロールおよびチーズブレッドからはアルコール類9成分、アルデヒド類5成分、エステル類6成分、ケトン類5成分、酸類10成分、複素環式化合物類9成分の計44成分が検出された。チーズブレッドから検出される成分は、コントロールと比較してピークの面積が大きく、また検出される成分数も多かった。チーズを添加することにより、チーズに含まれていた成分が追加されたこと、チーズを添加することによりイーストの発酵成分が増えたことや焼成によるメイラード反応が促進されたこと、がその理由として考えられた。

アルコール類としては、エタノールのピーク面積が1番大きかったが、その他のアルコール類も検出された。イーストの発酵においては窒素源となるアミノ酸によりそれらに対応するアルコールが生成する。ロイシンからは3-メチル-1-ブタノール、イソロイシンから2-メチル-1-ブタノール、バリンから2-メチル-1-プロパノール、フェニルアラニンからフェネチルアルコール、メチオニンから3-メチルチオ-1-プロパノールが生成することが知られている^{30)~33)}。チーズに含まれるアミノ酸がイーストの発酵によりアルコール類を生成したため、チーズブレッドにおいてこれらのアルコール類が多く検出されたと考えられた。

アルデヒド類はコントロールからは検出されず、試料5, 9, 12, 13から多く検出された。アルデヒド類はチーズに含まれる成分であるが、メイラード反応によっても生成する。バリンからは2-メチルプロパナール、イソロイシンからは2-メチルブタナール、ロイシンからは3-メチルブタナールが生成すると報告されている³⁴⁾³⁵⁾。アルデヒド類が多く検出された試料は遊離アミノ酸量が多い傾向にあったことから、チーズブレッドのアルデヒド類は主にチーズ由来の成分とチーズに含まれるアミノ酸が焼成中にメイラード反応で生成した成分と考えられた。

酸類としては、有機酸や脂肪酸も含めた揮発性の成分が検出され、合計量は特に試料5, 6で多かった。青カビや白カビチーズにはカビの有するリパーゼにより遊離脂肪酸が多く含まれる³⁶⁾³⁷⁾。プロピオン酸菌を含むチーズスターターにより製造されたチーズにはプロピオン酸が含まれるが、本実験ではプロピオン酸は試料9のみから検出された。チーズブレッドの酸類はチーズに含まれる酸類に由来すると考えられた。

エステル類は試料5, 6で多く検出された。試料5, 6は酸類が多かったことから、チーズ由来の酸類がイースト中

のアセチルトランスフェラーゼを介してアルコール類と反応しエステル類を生成したと考えられた³⁸⁾³⁹⁾。

ケトン類はチーズに含まれる成分であり、特に脂肪酸から生成される。青カビチーズや白カビチーズには脂肪酸から生成した2-ヘプタノン、2-ノナノン、2-ウンデカノンなどの2-メチルケトン類が多く含まれるとの報告があり⁴⁰⁾⁴¹⁾、チーズブレッドのケトン類はチーズに含まれるケトン類に由来すると考えられた。

複素環式化合物類はコントロールよりもチーズブレッドに多く含まれ、特に試料5, 6, 13で多かった。パンの表面にあたるクラスト部分では焼成中にアミノ酸と糖に由来するメイラード反応が起こり、フラン類やピラジン類が生成することが知られている^{8)42)~44)}。コントロールにおいても焼成によりメイラード反応が起こるが、チーズを添加することによりアミノ酸が増えるため、よりメイラード反応は促進され、チーズブレッドからは複素環式化合物類が多く検出されていた。

以上のようにチーズブレッドの揮発性成分は、チーズ由来の揮発性成分である酸類やケトン類だけでなく、イーストの発酵により生成したアミノ酸由来のアルコール類、酸類とアルコール類が反応して生成したエステル類、メイラード反応により生成したアルデヒド類や複素環式化合物類により、構成されていると推測できた。

6. 揮発性成分と色彩との関係

成分群に分類した揮発性成分と、色相別、トーン別に集計した色彩データとの相関係数を求めた(表8)。揮発性成分と有意($P<0.05$)な相関が見られたのは、紫, pale, light, deepであった。紫はエステル類、ケトン類、酸類、複素環式化合物類と正の相関が見られているが、色彩の官能評価において紫は最大でも試料5, 6の8.3%と少ない(表4)。また、紫は主成分分析の因子負荷量も小さく試料分類への寄与も小さいことから、相関係数は高いものの揮発性成分との関連性は低いと考えられる。その他の色相も揮発性成分と相関は見られず、色相は特定の成分と関連していなかった。

トーン別に見ると、paleはアルデヒド類、複素環式化合物類と負の相関があった。lightはアルデヒド類と負の相関があった。一方deepはアルデヒド類、複素環式化合物類と正の相関があった。アルデヒド類や複素環式化合物類はメイラード反応で生成する成分である。パンの焼成香が強くなるとアルデヒド類や複素環式化合物類は増加しトーンは強くなると考えられる。しかし、deepよりトーンの強いdarkとは相関が見られず、チーズブレッドの焼成香はdeepとして表れていることがわかった。チーズブレッドの揮発性成分と色彩による官能評点の間には相関があり、揮発性成分の違いを色彩で表現できることが確認できた。

本研究により、分析型パネルによる色彩を用いた官能評

表 7 チーズブレッド

No.	保持時間 (分)	化合物群	化合物名	control
4	11.9	アルコール類	Ethanol	6.63
6	20.1		2-Methyl-1-propanol	0.20
8	27.4		3-Methyl-1-butanol	2.58
13	34.8		2-Heptanol	0.00
15	36.9		1-Hexanol	0.15
24	45.0		2-Nonanol	0.00
26	45.9		2,3-Butanediol	0.17
36	52.2		3-(Methylthio)-1-propanol	0.00
39	57.9		Phenylethyl alcohol	0.51
			合計 (アルコール類)	10.25
1	8.0	アルデヒド類	2-Methyl-propanal	0.00
2	10.8		2-Methyl-butanal	0.00
3	11.0		3-Methyl-butanal	0.00
5	19.2		Hexanal	0.00
25	45.6		Benzaldehyde	0.00
			合計 (アルデヒド類)	0.00
9	29.0	エステル類	Ethyl hexanoate	0.00
10	31.1		3-Methylbutyl butanoate	0.00
18	41.3		Ethyl octanoate	0.00
20	42.4		Isopentyl hexanoate	0.00
32	50.1		Isoamyl octanoate	0.00
35	51.2		Ethyl decenoate	0.03
			合計 (エステル類)	0.03
7	25.6	ケトン類	2-Heptanone	0.00
12	32.8		Acetoin	0.22
17	39.0		2-Nonanone	0.00
19	41.8		8-Nonen-2-one	0.00
30	48.1		2-Undecanone	0.00
			合計 (ケトン類)	0.22
21	42.8	酸類	Acetic acid	0.38
27	46.2		Propanoic acid	0.00
28	47.4		2-Methylpropanoic acid	0.41
31	49.5		Butanoic acid	0.01
34	50.9		3-Methylbutanoic acid	0.46
37	53.0		Pentanoic acid	0.00
38	56.1		Hexanoic acid	0.07
40	58.9		Heptanoic acid	0.00
43	61.6		Octanoic acid	0.00
44	66.5		Decanoic acid	0.00
			合計 (酸類)	1.33
11	31.3	複素環式化合物類	Methylpyrazine	0.00
14	34.9		2,6-Dimethylpyrazine	0.00
16	38.7		2-Ethyl-6-methylpyrazine	0.00
22	43.0		Furfural	0.53
23	44.8		2-Acetylfuran	0.11
29	47.5		5-Methylfurfural	0.00
33	50.4		2-Furanmethanol	0.79
41	59.4		Maltol	0.09
42	59.6		2-Acetylpyrrole	0.00
			合計 (複素環式化合物類)	1.53
	39.7	I.S.	Cyclohexanol	1.00

各成分のピーク面積/内部標準ピーク面積×100

カラム TC-WAX (60m×0.25mm i.d., 膜厚 0.25 μm)

No. 1-13 は表 1 に対応したチーズを添加したパン

の揮発性成分

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
6.64	7.20	7.53	7.74	7.43	7.39	8.91	8.91	8.47	10.07	8.60	10.29	8.58
0.19	0.29	0.24	0.26	0.10	0.06	0.29	0.24	0.25	0.27	0.22	0.26	0.19
2.59	2.92	3.68	3.23	3.27	2.25	3.50	6.29	4.73	9.00	7.80	8.50	5.90
0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	0.10	0.09	0.15	0.20	0.11	0.13	0.19	0.13	0.18	0.11	0.13	0.07
0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.16	0.16	0.14	0.15	0.15	0.12	0.17	0.20	0.26	0.15	0.17	0.27
0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.09	0.00	0.25	0.11	0.13	0.17	0.18	0.23
0.55	1.42	1.24	0.81	0.48	0.32	1.83	1.28	0.81	2.82	3.77	1.24	0.83
10.23	12.08	12.93	12.34	12.11	10.69	14.79	17.33	14.69	22.74	20.82	20.77	16.07
0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.08	0.12	0.02	0.07	0.11	0.23
0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.15	0.00	0.15	0.36	0.00	0.09	0.31	1.11
0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.36	0.00	0.34	0.76	0.22	0.31	0.71	1.41
0.03	0.00	0.00	0.10	0.03	0.02	0.09	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00
0.05	0.09	0.07	0.07	0.14	0.09	0.14	0.07	0.19	0.22	0.25	0.18	0.22
0.08	0.09	0.07	0.16	1.84	0.62	0.23	0.67	1.45	0.49	0.71	1.31	2.97
0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.05	0.04	1.50	3.00	0.03	0.07	0.09	0.00	0.00	0.02	0.19
0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.05	0.04	3.25	3.30	0.03	0.07	0.09	0.00	0.05	0.02	0.30
0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.14	0.18	0.19	0.24	0.25	0.18	0.18	0.29	0.20	0.18	0.22	0.29
0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.14	0.18	0.19	2.20	2.09	0.18	0.18	0.29	0.20	0.18	0.22	0.29
0.33	0.31	0.36	0.37	0.70	0.66	0.30	0.40	0.48	0.63	0.43	0.46	0.75
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.22	0.21	0.26	0.37	0.29	0.28	0.24	0.26	0.24	0.31	0.34	0.41
0.03	0.01	0.09	0.14	5.32	2.85	0.07	0.18	0.29	0.08	0.08	0.14	1.20
0.42	0.35	0.37	0.43	1.04	0.64	0.51	0.64	0.72	0.60	0.53	0.61	0.74
0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.10	0.20	0.30	6.63	8.08	0.23	0.36	0.53	0.15	0.15	0.21	1.53
0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.01	0.02	1.54	4.06	0.05	0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.17
0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.23	1.00	1.24	1.52	16.05	18.50	1.44	1.87	4.22	1.70	1.49	1.76	4.79
0.00	0.00	0.09	0.05	0.52	0.55	0.00	0.29	0.28	0.03	0.16	0.22	0.47
0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.21	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
0.78	0.69	0.81	1.07	1.18	1.15	1.09	0.93	0.60	1.11	1.36	0.95	0.62
0.06	0.09	0.12	0.14	0.52	0.29	0.14	0.24	0.28	0.18	0.24	0.29	0.51
0.00	0.00	0.02	0.06	0.35	0.22	0.06	0.13	0.07	0.13	0.18	0.17	0.21
0.45	0.58	0.58	0.65	0.60	0.64	0.75	0.74	0.71	0.69	0.79	0.74	0.64
0.06	0.11	0.11	0.12	0.28	0.21	0.08	0.20	0.20	0.19	0.15	0.16	0.27
0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.08	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.13
1.35	1.47	1.74	2.09	3.83	3.46	2.12	2.58	2.19	2.34	2.87	2.54	2.96
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表 8 揮発性成分と色相, トーンとの相関係数

	アルコール類	アルデヒド類	エステル類	ケトン類	酸類	複素環式化合物類
赤	0.50	-0.42	-0.41	-0.41	-0.47	-0.28
橙	0.12	0.02	-0.37	-0.38	-0.41	-0.16
黄	-0.05	0.15	0.23	0.25	0.27	0.16
緑	-0.28	-0.19	0.28	0.25	0.29	0.04
青	0.02	-0.02	-0.35	-0.35	-0.30	-0.32
紫	-0.39	0.20	0.78**	0.77**	0.75**	0.55*
無彩色	0.02	-0.05	-0.26	-0.25	-0.22	-0.22
pale	-0.39	-0.54*	-0.44	-0.44	-0.49	-0.75**
light	-0.01	-0.65*	-0.25	-0.26	-0.29	-0.47
vivid	0.48	0.24	0.18	0.20	0.18	0.49
dark	0.30	0.64*	0.27	0.27	0.34	0.54*
deep	-0.23	0.42	0.35	0.34	0.37	0.38

* ; $P < 0.05$, ** ; $P < 0.01$

価によりチーズブレッドの香りが評価可能であることが確認できた。パンの香りの質と強度の違いを色相とトーンのパターンから視覚化することが可能であった。パンの香りは色相としては橙, 黄が中心であったが, チーズブレッドの香りは主に黄で表現された。焼成で生じる香りは pale, light よりもトーンの強い deep で表現された。また分析型パネルの色彩評価結果は嗜好型パネルにおいても受け入れられた。色彩による香りの評価結果は, 揮発性成分とも関連づけることができた。

市場には多くのベーカリー製品が存在し, 多くの新製品が発売されている。中には製品の外観や包材, コンセプトが類似しているものも多く, その製品の特徴を消費者に伝えることが難しい場合がある。しかし本評価法を応用することで, 製品の開発者が意図した香りの特徴をパッケージのデザインを通じて消費者に伝えることができると考えられる。

要 約

ナチュラルチーズ 6 タイプ, 計 13 種類を小麦粉に対して 10% 添加して焼成したパンの香りの評価方法として色彩による評価方法を検討し, チーズブレッドの香りが色彩を用いて評価できることを明らかにした。また色彩による評価結果は揮発性成分とも関連づけることができ, 以下の結果を得た。

チーズブレッドの香りについて色彩を用いて評価し主成分分析を行った。第 1 主成分はトーンの違いが寄与しており「チーズブレッドのこうばしい香りの強弱」, 第 2 主成分は色相の違いが寄与しており「パンの香りのバランス」, と解釈できた。また分析型パネルの色彩評価の結果は, 嗜好型パネルによりパンの香りのイメージが表現されていると評価された。

チーズブレッドの揮発性成分は, チーズ由来の揮発性成分である酸類やケトン類の他, イーストの発酵により生成

したアミノ酸由来のアルコール類, 酸類とアルコール類が反応して生成したエステル類, メイラード反応により生成したアルデヒド類や複素環式化合物類により構成されていた。揮発性成分と色彩評価の結果を相関分析したところ, 主にメイラード反応により生成するアルデヒド類や複素環式化合物類は pale, light と負の相関, deep と正の相関が見られた。

本研究によりチーズブレッドの香りは言葉や成分で表現可能なだけでなく, 色彩により可視化できる可能性が示された。

文 献

- 1) Kihlberg, I., Ostrom, A., Johansson, L., and Risvik, E. (2006). Sensory qualities of plain white pan bread : Influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.*, **43**, 15-30.
- 2) Hayakawa, F., Ukai, N., Nishida, J., Kazami, Y., and Kohyama, K. (2010). Lexicon for the sensory description of french bread in Japan. *J. Sens. Stud.*, **25**, 76-93.
- 3) Quilez, J., Ruiz, J.A., and Romero, M.P. (2006). Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread type baguette. *J. Food Sci.*, **71**, S423-S427.
- 4) Gambaro, A., Varela, P., and Gimenez, A. (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *J. Texture Std.*, **33**, 401-413.
- 5) Callejo, M.J. (2011). Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *J. Sens. Stud.*, **26**, 255-268.
- 6) Heenan, S.P., Dufour, J.P., Hamid, N., Harvey, W., and Delahunty, C.M. (2009). Characterisation of fresh bread flavour : Relationships between sensory characteristics and volatile composition. *Food Chem.*, **116**, 249-257.
- 7) Hansen, Å. and Hansen, B. (1996). Flavour of sourdough wheat bread crumb. *Eur. Food Res. Technol.*, **202**, 244-249.
- 8) Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L.H., Larsen, E., and Thybo, A.K. (2011). Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *J. Cereal Sci.*, **53**, 259-268.
- 9) Torri, L., Migliorini, P., and Masoero, G. (2013). Sensory test

- vs. electronic nose and/or image analysis of whole bread produced with old and modern wheat varieties adjuvanted by means of the mycorrhizal factor. *Food Res. Int.*, **54**, 1400–1408.
- 10) Rusinek, R., Gancarz, M., and Nawrocka, A. (2020). Application of an electronic nose with novel method for generation of smellprints for testing the suitability for consumption of wheat bread during 4-day storage. *Lwt*, **117**, 108665.
 - 11) Vijaykrishnaraj, M., Roopa, B.S., and Prabhasankar, P. (2016). Preparation of gluten free bread enriched with green mussel (*Perna canaliculus*) protein hydrolysates and characterization of peptides responsible for mussel flavour. *Food Chem.*, **211**, 715–725.
 - 12) Torri, L. and Piochi, M. (2016). Sensory methods and electronic nose as innovative tools for the evaluation of the aroma transfer properties of food plastic bags. *Food Res. Int.*, **85**, 235–243.
 - 13) Czerny, M. and Schieberle, P. (2002). Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white wheat flour - Identification and quantitative changes during sourdough fermentation. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 6835–6840.
 - 14) Grosch, W. and Schieberle, P. (1997). Flavor of cereal products - a review. *Cereal Chem.*, **74**, 91–97.
 - 15) Pozo-Bayon, M.A., Guichard, E., and Cayot, N. (2006). Flavor control on baked cereal products. *Food Rev. Int.*, **22**, 335–379.
 - 16) Sunohara, Y. (2010). The synaesthetic relationship between olfaction and color from a chromaticity point of view. *Japanese Journal of Sensory Evaluation*, **14**, 109–113 (春原吉美. 香りと色の共感覚性—色度の観点から—, 日本官能評価学会誌).
 - 17) Nojiri, K., Mengning, Q., Nakamura, A., Nakamura, A., Nakamura, T., and Saito, T. (2018). Representation of aroma impression using color -Development and application of Aroma Rainbow-. *Journal of the Color Science Association of Japan*, **42**, 209–212 (野尻健介, 銭 夢寧, 中村充志, 中村明朗, 中村哲也, 斉藤 司. 色彩を用いた香り表現の検討～Aroma Rainbow[®]の開発と応用～, 日本色彩学会誌).
 - 18) Tada, M., Ichiba, T., and Takahashi, S. (2017). Color representation imaged from aroma (Ⅲ) Evaluation of package design with color combination imaged from aroma. *Journal of the Color Science Association of Japan*, **41**, 179–182 (多田真奈美, 市場丈規, 高橋晋也. 香りからイメージする配色表現 (Ⅲ) 香りから想起された配色によるパッケージデザインの評価, 日本色彩学会誌).
 - 19) Senoo, M. and Motonaga, C. (2008). Color image of fragrances as a means of communication. *Journal of Japan Society of Kansei Engineering*, **7**, 497–503 (妹尾正巳, 元永千穂. 香りイメージの色表現による伝達, 感性工学学会研究論文集).
 - 20) Saito, M. (2016). Color connects Kansei : Color as a node for the cross modal perception. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, **35**, 29–34 (齋藤美穂. 感性をつなぐ色彩—色彩を結び目とした多感覚研究への展開—, 基礎心理学研究).
 - 21) Inoue, K. and Miyashita, T. (2017). Influence of color on odor perception. *Journal of the Color Science Association of Japan*, **41**, 183–184 (井上 薫, 宮下哲郎. 香りの認知における色の影響, 日本色彩学会誌).
 - 22) Morita, A., Fujimoto, A., Hayakawa, F., and Kasai, M. (2019). Sensory profiling of bread flavor with added natural cheese. *Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **66**, 432–439 (森田亜紀, 藤本章人, 早川文代, 香西みどり. ナチュラルチーズ添加パンの官能評価プロファイリング, 日本食品科学工学会誌).
 - 23) 伊藤肇躬 (2004). チーズ, 「乳製品製造学」, 光琳, 東京, pp. 437–446.
 - 24) 中江利孝 (1982). チーズ製造の基本工程と製造中の変化, 「世界のチーズ要覧」, 三洋出版貿易, 東京, pp. 57–75.
 - 25) 安井明美 (2000). 食品成分の測定, 「新食品分析ハンドブック」, 菅原龍幸, 前川昭男編, 建帛社, 東京, pp. 15–18.
 - 26) Shirata, S. and Ishikawa, K. (2013). Evaluation of taste and odor of cheese using amino acid analyser and GC/MS. *Journal of Japan Association on Odor Environment*, **44**, 38–45 (白田志保, 石川清宏. おいしさへのアプローチ～チーズにおけるアミノ酸とにおいの評価～, におい・かおり環境学会誌).
 - 27) Morita, A., Hayakawa, F., and Kasai, M. (2020). Study of the flavor of bread adding Parmigiano-Reggiano. *Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **67**, 13–23 (森田亜紀, 早川文代, 香西みどり. パルミジャーノ・レッジャーノを添加したパンの風味寄与成分の解析, 日本食品科学工学会).
 - 28) Hamaoka, N., Yasokawa, D., Okumura, Y., Nakagawa, R., and Tanaka, T. (2017). Manufacturing process of a novel mozzarella cheese using originally isolated lactic acid bacteria. *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* from hokkaido. *Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **64**, 132–138 (濱岡直裕, 八十川大輔, 奥村幸広, 中川良二, 田中達大. 北海道内で分離した乳酸菌 *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* を利用したモッツァレラチーズ製造技術, 日本食品科学工学会誌).
 - 29) Fujimoto, A., Ito, K., Itou, M., Narushima, N., Ito, T., Yamamoto, A., Hirayama, S., Furukawa, S., Morinaga, Y., and Miyamoto, T. (2018). Microbial behavior and changes in food constituents during fermentation of Japanese sourdoughs with different rye and wheat starting materials. *J. Biosci. Bioeng.*, **125**, 97–104.
 - 30) Hazelwood, L.A., Daran, J.M., Maris, A.J.A., Pronk, J.T., and Dickinson, J.R. (2008). The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.*, **74**, 2259–2266.
 - 31) Perpete, P., Duthoit, O., Maeyer, S., Imray, L., Lawton, A.I., Stavropoulos, K.E., Gitonga, V.W., Hewlins, M.J.E., and Dickinson, J.R. (2006). Methionine catabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Res.*, **6**, 48–56.
 - 32) Park, S.H., Kim, S., and Hahn, J.S. (2014). Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for the production of isobutanol and 3-methyl-1-butanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **98**, 9139–9147.
 - 33) Branduardi, P., Longo, V., Berterame, N.M., Rossi, G., and Porro, D. (2013). A novel pathway to produce butanol and isobutanol in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol. Biofuels*, **6**, 1–12.
 - 34) Martinez-Anaya, M.A. (1996). Enzymes and bread flavor. *J. Agric. Food Chem.*, **44**, 2469–2480.
 - 35) Salem, A., Rooney, L.W., and Johnson, J.A. (1967). Studies of the carbonyl compounds produced by sugar-amino acid reactions in bread systems. *Cereal Chem.*, **44**, 576–683.
 - 36) Svensson, I., Hernandez, I., Virto, M., and Renobales, M. (2006). Determination of lipase activity in cheese using trivalerin as substrate. *Int. Dairy J.*, **16**, 423–430.
 - 37) Gripton, J. (1987). Mould-ripened cheeses. In “Cheese: Chemistry, physics and microbiology”, vol. 2, First edition, ed. by Fox, P.F., Elsevier, New York, London, pp. 121–149.

-
- 38) Birch, A.N., Petersen, M.A., Arneborg, N., and Hansen, A.S. (2013). Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. *Food Res. Int.*, **52**, 160-166.
- 39) Frasse, P., Lambert, S., Richard-Molard, D., and Chiron, H. (1993). The influence of fermentation on volatile compounds in french bread dough. *LWT - Food Science and Technology*, **26**, 126-132.
- 40) Kawabata, S. (2010). Characteristic aroma compounds of surface mold-ripened cheese and their generating pathway. *Milk Science*, **59**, 303-307 (川端史郎. 白カビチーズに特徴的な香り成分とその生成経路, ミルクサイエンス).
- 41) Molimard, P. and Spinnler, H.E. (1996). Review: Compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses : Origins and properties. *J. Dairy Sci.*, **79**, 169-184.
- 42) Jouquand, C., Niquet-Léridon, C., Jacolot, P., Petit, N., Marier, D., and Gadonna-Widehem, P. (2018). Effects of Maillard reaction products on sensory and nutritional qualities of the traditional french baguette. *J. Food Sci.*, **83**, 2424-2431.
- 43) Mortins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., and Boekel, M.A.J.S. (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling. *Trends Food Sci. Technol.*, **11**, 364-373.
- 44) Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. *J. Food Eng.*, **99**, 239-249.
- (令和元年 9 月 25 日受付, 令和元年 11 月 25 日受理)
-