

2020年度 博士学位論文

チーズブレッドの官能評価による  
風味解析とフレーバーの効果

お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科  
ライフサイエンス専攻

森田 亜紀

2021年3月

# 目次

第1章 緒言 .....	1
1-1. チーズとパン .....	1
1-2. ナチュラルチーズの種類と風味成分 .....	2
1-3. パンの製造工程と風味成分 .....	4
1-4. 本研究の目的と意義 .....	6
1-5. 本研究の概要 .....	7
第2章 チーズブレッドの成分特性および官能評価プロファイリング .....	14
2-1. はじめに .....	14
2-2. 方法 .....	15
2-2-1. 供試試料 .....	15
2-2-2. 製パン試験 .....	16
2-2-3. 製パン性および色相 .....	16
2-2-4. チーズおよびチーズブレッドの成分分析 .....	17
(1)有機酸 .....	17
(2)糖 .....	17
(3)遊離アミノ酸 .....	17
(4)遊離脂肪酸 .....	17
(5)統計解析 .....	18
2-2-5. チーズおよびチーズブレッドの GC/MS を用いた多成分一斉分析 .....	18
(1)成分の抽出および誘導体化 .....	18
(2)GC/MS 分析 .....	18
(3)ピーク処理および化合物一覧表の作成 .....	19
(4)統計解析 .....	19
2-2-6. チーズブレッドの官能評価ならびに統計解析 .....	19
(1)パネル .....	19
(2)チーズブレッドの提示方法 .....	19
(3)パンの評価用語の選定と評価 .....	19
2-3. 結果および考察 .....	22
2-3-1. チーズブレッドの製パン性 .....	22
2-3-2. チーズとチーズブレッドの成分比較 .....	24

(1)有機酸.....	24
(2)糖.....	24
(3)アミノ酸.....	25
(4)脂肪酸.....	26
2-3-3. チーズとチーズブレッドの成分全体像の把握.....	26
2-3-4. チーズとチーズブレッドの多成分一斉分析の有用性.....	27
2-3-5. チーズブレッドの官能特性.....	29
2-4. 要約.....	52
第3章 チーズブレッドの風味寄与成分の解析とチーズ風味ブレッドの新規開発....	54
3-1. はじめに.....	54
3-2. 方法.....	55
3-2-1. 供試試料.....	55
3-2-2. チーズの成分分析.....	55
3-2-3. モデルチーズの調製.....	56
3-2-4. 製パン試験.....	56
3-2-5. 比容積.....	56
3-2-6. テクスチャー測定.....	56
3-2-7. パンの官能評価方法ならびに統計解析.....	56
3-2-8. パンの香気成分分析.....	58
3-3. 結果および考察.....	60
3-3-1. モデルチーズの作成とチーズとモデルチーズを添加したパンの風味比較.....	60
3-3-2. モデルチーズブレッドを用いたオミSSIONテスト.....	61
3-3-3. アディSSIONテストによるアミノ酸、脂肪酸のパンの風味への影響... ..	61
3-3-4. 選抜8成分のパンの風味への影響と製パン性の比較.....	63
3-3-5. 選抜8成分とパンの揮発性成分との関係.....	64
3-4. 要約.....	78
第4章 色彩を用いたチーズブレッドの香り評価のアプローチ.....	79
4-1. はじめに.....	79
4-2. 方法.....	80
4-2-1. 供試試料.....	80
4-2-2. パンの調製.....	80

4-2-3. 香りモデルブレッドおよびチーズブレッドの官能評価方法ならびに統計解析 .....	80
(1)パネル .....	80
(2)香りモデルブレッドの提示方法 .....	80
(3)チーズブレッドの提示方法 .....	81
(4)香りモデルブレッドの評価方法 .....	81
(5)色票の作成と評価方法 .....	81
(6)パッケージカラーの作成とパンの提示方法 .....	82
(7)統計解析 .....	82
4-2-4. チーズブレッドの揮発性成分分析 .....	82
4-3. 結果および考察 .....	87
4-3-1. 香りモデルブレッドの風味の全体像の把握 .....	87
4-3-2. 香りモデルブレッドの香りの色相と明度 .....	88
4-3-3. 香りモデルブレッドの色相, 明度と官能特性との相関 .....	89
4-3-4. チーズブレッドの香りの色相と明度 .....	90
4-3-5. チーズブレッドの香りの色相, 明度の全体像の把握 .....	90
4-3-6. チーズブレッドの香りのパッケージカラーの作成と評価 .....	91
4-3-7. チーズブレッドの揮発性成分 .....	92
4-3-8. チーズブレッドの揮発性成分と色相, 明度との関係 .....	94
4-4. 要約 .....	111
第5章 総括 .....	112

引用文献

謝辞

## 第1章 緒言

### 1-1. チーズとパン

チーズの歴史は古く、伝説によるとアラビアの商人によって偶然に作られたと言われている。アラビアの商人が砂漠を横断する長旅に出るときに羊の胃袋で作った水入れに乳を入れておいたところ、その胃袋に含まれていたレンネットが太陽熱で温められた乳に働き、凝乳カードとホエイを作ったという<sup>1</sup>。チーズの発祥はこの民話がひとつの有力な資料となっているが、牧畜文化の伝播とともにトルコ、ギリシャおよびイタリア半島へ及んでいった<sup>1</sup>。乳利用の歴史の中でもっとも古い製品はバターとチーズであると言われ、紀元前 3500 年ごろのメソポタミア地方では乳牛の飼育、搾乳、および乳加工品の存在を示す石版が発見されている<sup>1</sup>。また、紀元前 13 世紀のエジプト第 19 王朝ファラオセティ 1 世と息子ラムセス 2 世の墓の中から発掘された陶器のカメの中の白っぽい塊は、牛乳、山羊乳、羊乳から作られたチーズであったことも判明している<sup>2</sup>。チーズは長い歴史を経て、現在では世界各国で製造される身近な食品となった。

日本に乳製品が伝わったのは西暦 539 年であり、朝廷が百済から酥と牛酪の献上を受けたのが始まりとされる。明治時代になり文明開化とともにチーズを一般庶民が食べることの出来る状況が整ったが、日本の風土、文化、習慣には馴染まず、チーズはなかなか普及しなかった<sup>3</sup>。しかし、1920 年代にプロセスチーズの製造が始まり、1963 年に学校給食に正式に採用されるとチーズは徐々に広まっていった<sup>3</sup>。1970 年代の高度経済成長期、1980 年代のピザ市場の成長を経て、日本のチーズ消費量は増加を続け、日本の年間のチーズ消費量は 1990 年に 15.3 万トン/年であったものが、2018 年には 35 万トン/年となった<sup>4</sup>。現在ではチーズは日本の食文化に定着し、今後も消費は伸びていくと予想される。

一方、パンの歴史も古く紀元前 4000 年にはバビロニア（メソポタミア文明の中心地）で、大麦、小麦の粉を水で捏ねて焼く古代無発酵パンが作られていたとされ、その後、ビール発酵による発酵技術から平焼き発酵パンに発展した<sup>5</sup>。パンはエジプト、ギリシャからローマ、ヨーロッパ各国、アメリカへ、さらにアジア、アフリカへも伝えられ、世界各地で主食として取り入れられるようになった<sup>5</sup>。現在、世界で食されているパンは、社団法人日本パン工業会による分類では食パン（ホワイトブレッド、バラエティブレッド、テーブルロール）、硬焼きパン（ハードブレッドおよびハードロール、バラエティハードブレッドおよびバラエティハードロール）、菓子パン（あんぱん等、揚げパン、蒸しパン）となっており、多種多様なものへと発展している<sup>6</sup>。

チーズは濃厚な味を有しているという理由から、淡白な味の食品、例えばパン、麺類、穀類、白身魚、甲殻類、肉類、白色野菜類、卵、芋類と相性が良く、これらと組み合わせた種々のチーズ料理がある<sup>7</sup>。中でもパンとチーズは一緒に食べると風味の相性が良いとされ、チーズのタイプに適したパンの種類が提案されている<sup>8, 9</sup>。パンとチーズの食べ方には、塗る、ふりかける、熱を加える、などあるが、本研究では食べ方に着目し、チーズを製パン原料として利用するチーズブレッドを研究対象とした。バターロールの一種であるチーズロール<sup>10</sup>、ヨーロッパやアメリカに共通するバラエティブレッドの一つであるチーズバンズ<sup>11</sup>、単純な配合のチーズハースブレッド<sup>12</sup>などがこれにあたる。グルテンフリーパン<sup>13, 14, 15</sup>や小麦粉の一部または全量を米粉<sup>16, 17</sup>やライ麦<sup>18, 19</sup>、大麦<sup>20</sup>、全粒粉<sup>21</sup>、おから<sup>22</sup>などに置き換えたパンを対象とした研究はあるが、チーズブレッドはパンの市場全体から見ると市場規模は小さいためか、チーズブレッドの製パン性や成分、風味との関係について検証した研究はない。しかし、食の多様化によりチーズの消費量が伸びていることからチーズブレッド市場は拡大していくと想定され、チーズブレッドに関する研究は今後のパン市場において活用できる知見となると考える。

## 1-2. ナチュラルチーズの種類と風味成分

チーズは、プロセスチーズとナチュラルチーズの二つに分類されるが、ナチュラルチーズだけでも世界には1000種類以上あると言われる。ナチュラルチーズは原料乳の種類、熟成の有無、微生物の種類、水分量などが異なるため風味や食感が多岐に渡っている<sup>23</sup>。このような多くの種類のチーズを分類する方法として、日本では1988年に設立された「チーズ&ワインアカデミー東京」がフランスの分類法を参考にして作った7つのタイプの分類法が定着している<sup>23</sup>。

7つのタイプの特徴と代表的なチーズを図1-1に示した<sup>23</sup>。フレッシュタイプは熟成させないチーズで、新鮮なミルクの香りや爽やかな酸味があり、あっさりとした風味が特徴である<sup>24</sup>。クリームチーズ、モッツァレラ、カッテージなどがある。白カビタイプは、成型したカードの表面に白カビ (*Penicillium camemberti*) を生育させるチーズである。白カビは蛋白質分解酵素を分泌するため<sup>25, 26, 27</sup>、熟成が進むにつれて蛋白質の分解が進みチーズの内部は軟らかくなる。またチーズの表面は白カビにより乳酸が代謝されるためpHは増加する<sup>28</sup>。カマンベール、ブリーなどがある。青カビタイプはカードに青カビ (*Penicillium roqueforti*) の孢子を混ぜて成型し、穿孔した孔から空気を供給してチーズ内部に青カビを生育させるチーズである。強い塩味と脆い組織、青カビのリパーゼにより生成した脂肪酸と脂肪酸から生成するメチルケトン類の風味が特徴である<sup>29</sup>。ゴルゴンゾーラ、ダナブルー、スティルトン、ロックフォールなどがある。ウォッシュタイプはチーズ表面にリネンス菌 (*Brevibacterium linens*)

を生育させ、薄い塩水などで洗いながら熟成させるチーズである。メタンチオールの強い香りと粘着性のあるオレンジ色の表皮が特徴であり、表面では蛋白質分解と脂質分解が起こっている<sup>30</sup>。リンバーガー、クレミエ・ド・ショーム、リヴァロ、ラングルなどがある。シェーブタイプは山羊乳を原料としたチーズである。フレッシュなものは爽やかな酸味があり、熟成させたものは山羊乳に由来する特有の香りが感じられる<sup>31</sup>。組織が脆く、小型のものが多い。形状は円盤状、棒状、団子状、ピラミッド型があり、表皮に木炭粉がまぶされたもの、表皮が白カビで被われたものなどがあることもこのタイプの特徴である。サント・モール、クロタン、ヴァランセなどがある。セミハードタイプは凝乳切断後のシネレシス制御工程（ホエイ排出工程）でカードを40℃以内で穏やかに加熱してカードを作り、製品水分値を38%から45%にしたチーズである。熟成期間は6か月以内のものが多く、風味が温和である<sup>32, 33</sup>。ゴータ、マリボーなどがある。ハードタイプはシネレシス制御工程でカードを40℃以上に加熱して水分の低いカードを作り、製品の水分値を38%以下にしたチーズである。熟成期間は6か月以上のもので多く、熟成中に水分が蒸発することから熟成期間が長いほど硬くなる。組織が緻密で硬く、芳醇は風味があることが特徴である<sup>33, 34</sup>。エダム、エメンタール、チェダー、ミモレット、コンテ、パルミジャーノ・レッジャーノなどがある。

チーズの製造工程は、グリーンチーズを作る工程とそれを熟成させる工程からなり、殺菌した原料乳に、スターターとして乳酸菌を添加後、レンネットで凝固させ、攪拌、クッキング型詰めする工程に続いて、圧搾、熟成を行う。型詰めされ成形されたグリーンチーズは一定の湿度と温度で熟成され、熟成工程によりチーズらしい風味と組織が生じる。グリーンチーズの主要成分は蛋白質と脂質でこれらはそれぞれ26%および34%存在し、水分35%を含めると、チーズの95%となる。一般に蛋白質や脂質に風味はなく、グリーンチーズは風味に乏しいが、熟成チーズは蛋白質や脂質が分解され、蛋白質は低分子ペプチドやアミノ酸、脂質はグリセロールと脂肪酸になる<sup>35</sup>。熟成中に生成したアミノ酸と脂肪酸は、さらに酵素的分解あるいは非酵素的に反応を受け、様々な風味成分へと変化する。

チーズの熟成中に起こる主な生化学的反応は(1)乳酸とクエン酸の代謝、(2)脂質分解と遊離脂肪酸の代謝、(3)蛋白質分解とアミノ酸の代謝の3つである。乳酸とクエン酸の代謝について図1-2<sup>36</sup>に示した。ホモ型乳酸菌はラクトースから乳酸、ヘテロ型乳酸菌はラクトースから乳酸、酢酸、エタノール、二酸化炭素を生成する。エメンタールチーズに代表されるスイスチーズはスターターとして *Propionibacterium freudenreichii* を用いるため、乳酸からプロピオン酸、酢酸、水、二酸化炭素を生成する。プロピオン酸と酢酸はスイスチーズの特徴的な風味であり、二酸化炭素により出来た穴はスイスチーズの特徴的な外観となる。クエン酸は *Lactococcus lactis* subsp.

*lactis biovar diacetylactis* に代表される乳酸菌により、香りに特徴のあるジアセチルやアセトインを生成する。脂質分解と遊離脂肪酸の代謝について図 1-3 に示した<sup>37, 38</sup>。

<sup>39</sup>。C4 から C6 の脂肪酸は強い香りを有し、青カビタイプに多く含まれることがわかっている。加えて熟成中には脂肪酸から脂肪酸エステル、チオエステル、脂肪族ラクトン、メチルケトンなど多くの香り成分が生成される。蛋白質分解とアミノ酸の代謝について図 1-4 に示した<sup>37</sup>。アミノ酸はアルデヒドを経て、アルコール類や酸類が生成される。また S H 基を有するアミノ酸からはメタンチオールやその他の含硫化合物類が生成する。このように、チーズの風味は種々の生化学的反応により形成され、特徴づけられている。

このような風味特徴を持つチーズを配合したチーズブレッドは、チーズの風味成分とイーストの発酵や焼成といった製パン工程を経て生成する成分が組み合わさって形成されていると考えられる。

### 1-3. パンの製造工程と風味成分

製パンの基本原料は小麦粉、食塩、酵母、水の 4 つであり、基本工程は混捏、発酵、分割、成形、ホイロ、焼成からなる<sup>40</sup>。パンの品質は一般的に、ボリューム、食感、外観（色）、風味により決まるが、これらの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いる<sup>41, 42</sup>。パンの揮発性成分としては 540 以上の成分が同定されており<sup>41, 43</sup>、40 %は発酵中、33 %はメイラード反応、27%は脂質酸化で生成すると言われている<sup>44</sup>。

パンは焼成により焼き色がついた外層のクラスト部分と白い内層のクラム部分が出る。クラムの味や香りに寄与する風味成分は主に、イーストの発酵、リポキシゲナーゼによる脂質酸化、アセチルトランスフェラーゼによる反応、により生成する。発酵ではアルコール類、アルデヒド類、酸類、エステル類、ケトン類が生成する。製パンに用いられるイーストは一般的に *Saccharomices cerevisiae* であり、生地中に存在する資化性の糖の約 95 %からエタノールと二酸化炭素を生成し<sup>45</sup>、残りの 5 %から主にエールリッヒ経路と呼ばれる反応により高級アルコールやアセトアルデヒド、アセトンなどを生成する。エールリッヒ経路では生地中のアミノ酸が  $\alpha$ -ケト酸、フーゼルアルデヒドに変換されフーゼルアルコールを生成する（図 1-6）<sup>46</sup>。その反応過程では (1)ロイシンから、3-メチルブタナール、3-メチル-1-ブタノール、3-メチル酪酸、(2)バリンから 2-メチルプロパナール、2-メチルプロパノール、2-メチルプロピオン酸、(3)イソロイシンから 2-メチルブタナール、2-メチルブタノール、2-メチル酪酸、(4)フェニルアラニンから 2-フェニルエタナール、2-フェニルエタノール、2-フェニルエタノン、(5)メチオニンから 3-メチルチオ-プロパナール、3-(メチルチオ)-1-プロパノール、3-(メチルチオ)-プロピオネートが生成する<sup>47</sup>。リポキシゲナーゼによる脂質酸



化ではアルデヒド類、ケトン類、アルコール類、エステル類が生じる<sup>45</sup>。リポキシゲナーゼによる脂質酸化由来のアルデヒド類としては、一般的にアルカナル、2-アルカナル、2,4-アルカジエナルであると報告されている。クラム中のエステル類はイースト中のアセチルトランスフェラーゼにより C6 から C10 の遊離脂肪酸とアルコール（主にエタノール）に由来するアセチルコエンザイム A の間で生成される<sup>46, 48</sup>。これらのエステルは好ましい甘いフルーティーな香りを有しており、クラムの香りに重要である。その他の風味成分として、有機酸として主に乳酸と酢酸が生成されるが、風味への貢献は少ない。

クラスト部分の香りに寄与する揮発性成分は主に焼成過程のメイラード反応で生成する。メイラード反応は、アミノ酸、ペプチド、あるいは蛋白質中の遊離アミノ基と還元糖との間で特異的に相互反応が進み、最終生成物としてメラノイジン類が生じる反応である（図 1-5）<sup>49</sup>。フラン類、ピラジン類、ピロール類、ピロリン類、オキサゾール類、含硫化合物類が生成されるが、特にピロリン類、ピラジン類の量が多い。メイラード反応中のストレッカー分解においてはアミノ酸とデヒドロレダクトンによりアルデヒドが生成される。(1)アラニンからアセトアルデヒド、(2)グリシンからホルムアルデヒド、(3)セリンからグリオキサール、(4)バリンから 2-メチルプロパナル、(5)ロイシンから 3-メチルブタナル、(6)イソロイシンから 2-メチルブタナル、(7)フェニルアラニンからフェニルアセトアルデヒド、(8)メチオニンからメチオナルが生成する。

クラムの香りはアルコール類、アルデヒド類、ケトン類、酸類、エステル類、クラストの香りはフラン類、ピラジン類、ピロール類、ピロリン類、ピリジン類、オキサゾール類、チオフェン類、含硫化合物類により特徴づけられている。クラムでは 3-メチルブタノール、クラストでは 2-アセチル-ピロリンが閾値も低く重要な成分と言われている<sup>50, 51</sup>。

良好な香りのパンを製造するには、原料や配合、工程を検討することで、良好な香りの成分を多くし不快な香り成分を少なくする必要があるが、その香りの制御方法については明らかではない。生地中の成分が製パン工程中にどのように変化するかについては、糖に関してはペントースはフルフラール、ヘキソースはヒドロキシメチルフルフラールを生成するという報告がある<sup>52</sup>。アミノ酸に関しては、アラニンからアセトアルデヒド、バリンから 2-メチルプロパナル、ロイシンから 3-メチルブタナル、イソロイシンから 2-メチルブタナル、メチオニンからメチオナル、フェニルアラニンからフェニルアセトアルデヒド、スレオニンから 2-ヒドロキシプロパナルが生成するという報告がある<sup>52</sup>が、いずれもパンの官能特性との関係はわかっていない。プロリンのみ、パン生地に添加することにより 2-アセチル-1-ピロリンがメイラード反応で生成し、クラストにこうばしい香りを付与するとの報告がある<sup>53</sup>。生地中の

成分と製パン工程中で生成する成分，パンの官能特性との関係を明らかにすることが出来れば，パンの香りの制御も可能になるのではないかと考える。

#### 1-4. 本研究の目的と意義

チーズとパンは同時に喫食した時の風味の点からの相性が良く，チーズを謳ったベーカリー製品は季節を問わず市場に多く出回っている。しかしこれらの製品にナチュラルチーズを使用していることは少なく，使用していたとしても配合量は少量であり，その多くはプロセスチーズやアナログチーズ，チーズ風味フィリング，酵素で味や香りを強化した EMC（酵素分解チーズ），香料などでチーズ風味を付与している。その理由としては，ナチュラルチーズは高価であること，ナチュラルチーズは輸入に頼っているため安定した供給が見込めないこと，ナチュラルチーズを多く配合するとパンの膨らみが低下し，パンとしての品質が低下すること，が挙げられる。このように大手製パンメーカーのベーカリー製品ではナチュラルチーズを使用することは少ないが，一方でレシピ本ではナチュラルチーズを使用したチーズブレッドが紹介されている<sup>10, 11, 54</sup>。ナチュラルチーズを使用したチーズブレッドに対する需要はあるが，上記に記載したような理由から大手製パンメーカーでは製造することができないのが現状であり，チーズブレッドに関する製パン性や成分に関する研究報告もない。

また，チーズを謳った製品のパッケージにはその製品の風味特徴を消費者に伝えるために，「三種のチーズ使用」など使用したチーズの種類の数を示したり，「チェダーチーズ風味」，「熟成チーズ風味」など使用したチーズの種類を示したりすることが多いが，消費者に製品のチーズ風味が正確に伝わっているとは言い難い。

本研究ではチーズブレッドがイーストの発酵や焼成といった製パン工程を経て調製されることに着目し，チーズの成分とそれにより作成されるチーズブレッドの成分を比較した。次にチーズ成分とチーズブレッドの官能特性を比較することでチーズブレッドの風味に寄与する成分を特定し，消費者の求める風味のチーズブレッドを安定して製造する手段を得ることを目的とした。またパンの香りの新たな評価法へのアプローチとして色彩を用いた評価について検討した。

食生活の多様化によりチーズは日本でも消費量が伸びていることから，チーズブレッドにおいてもパン市場の中で拡大していくと想定される。しかし今後の見通しとして，ナチュラルチーズの価格低下や輸入量の安定化が見込めるとは考えにくい。チーズブレッドの風味に寄与する成分が明らかになれば，ナチュラルチーズを使用せずにチーズ風味ブレッドを製造することが可能になり，原料に多くのコストをかけることが出来ず，また安定して製品を供給する義務が生じる大手製パンメーカーもナチュラルチーズを使用した風味に近い高品質なチーズ風味ブレッドを消費者に提供することが可能となる。またさらにはチーズを使用せずにチーズ風味ブレッドが製造できれ

ば、乳アレルギー患者やビーガン（完全菜食主義者）にもチーズ風味ブレッドを提供できるようになり、新たな市場開拓につながると考える。また色彩評価を応用したパンの香りの評価は、訓練を受けた分析型パネルの結果を製品パッケージに反映させることで、開発者が意図した製品の香りの特徴をイメージを基にした視覚的な特徴として消費者に伝えることも可能になると考える。

## 1-5. 本研究の概要

本論文は5章より構成されている。各章の概要を以下に述べる。

第1章では緒言としてチーズとパンの特徴について述べ、ナチュラルチーズを用いたチーズブレッドが大手製パンメーカーで製造されていない理由や研究例がないことについて指摘し、本論文の目的と意義について述べた。

第2章ではチーズブレッドの風味成分を分析するとともに、ナチュラルチーズ7タイプ、計13種類を各々配合したワンローフ食パンを作成し、パンの製パン性や官能特性を把握することを目的とした。まずチーズとチーズブレッドの低分子量化合物の分析を行った。次に分析型パネル10名により、チーズブレッドの風味を表現する用語を収集し、官能特性マッピングを得た。

第3章ではパルミジャーノ・レッジャーノを添加したチーズブレッドの風味に寄与する成分について特定することを試みた。パルミジャーノ・レッジャーノの成分分析の結果からモデルチーズブレッドを調製し、そこから成分を除くオMISSIONテスト、及び風味に寄与する成分を加えるアディションテストにより、成分と風味との関係を官能評価により評価した。また加える成分と製パン工程中で生成する揮発性成分分析の比較から、チーズブレッドの風味生成について考察し、良好なチーズ風味ブレッドの製造法を提案した。

第4章ではパンの香りの新たな評価方法として、チーズブレッドの香りのイメージを色彩に置き換え可視化する方法について提案した。チーズブレッドの揮発性成分分析を行い、色彩評価の結果との相関性について確認した。

第5章は本研究の総括とし、本研究で得られた知見をまとめるとともに新たなチーズ風味ブレッドの市場開拓の可能性やパンの香りの新たな評価法としての有用性について示した。

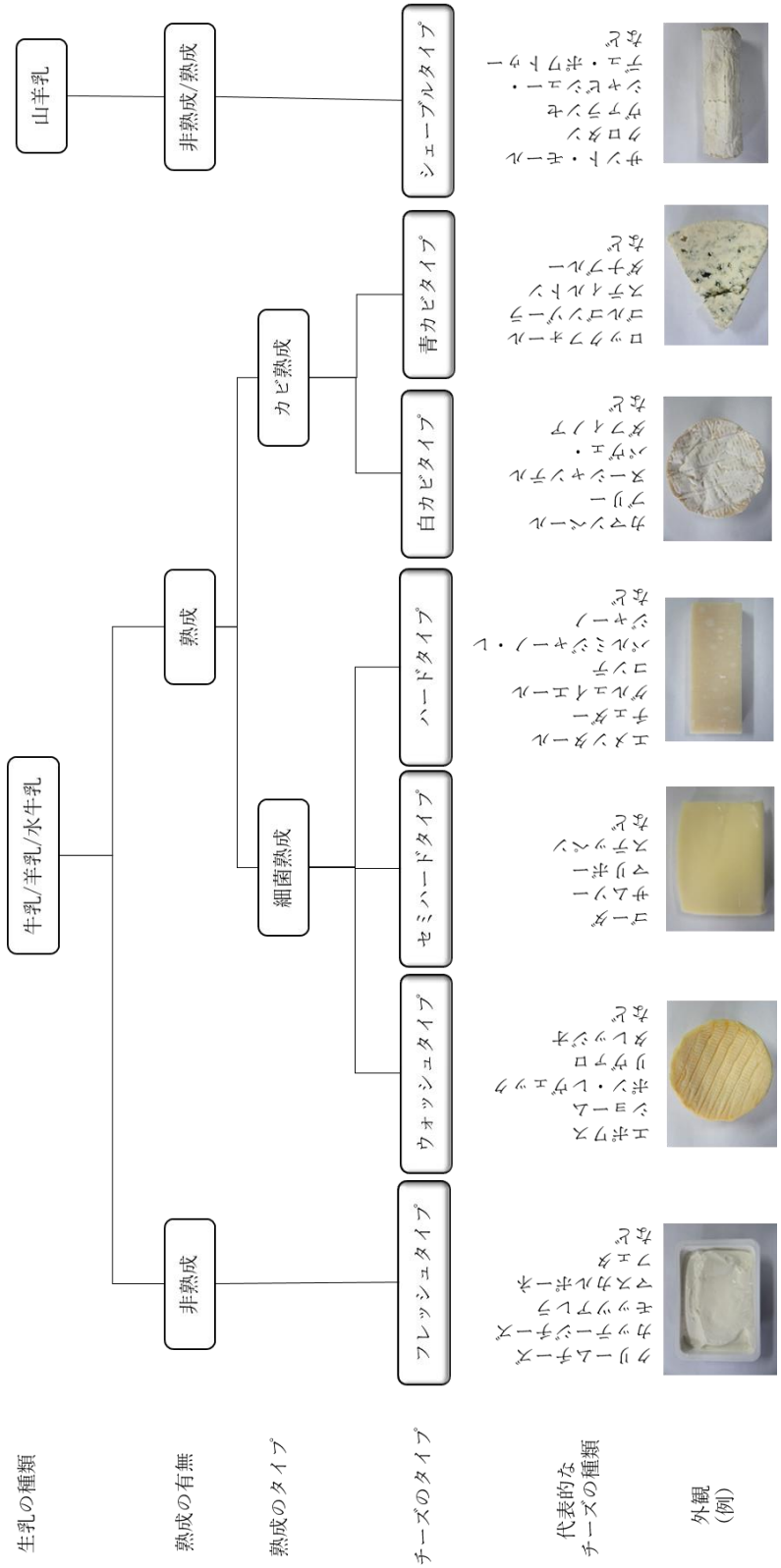


図 1-1 ナチュラルチーズの種類

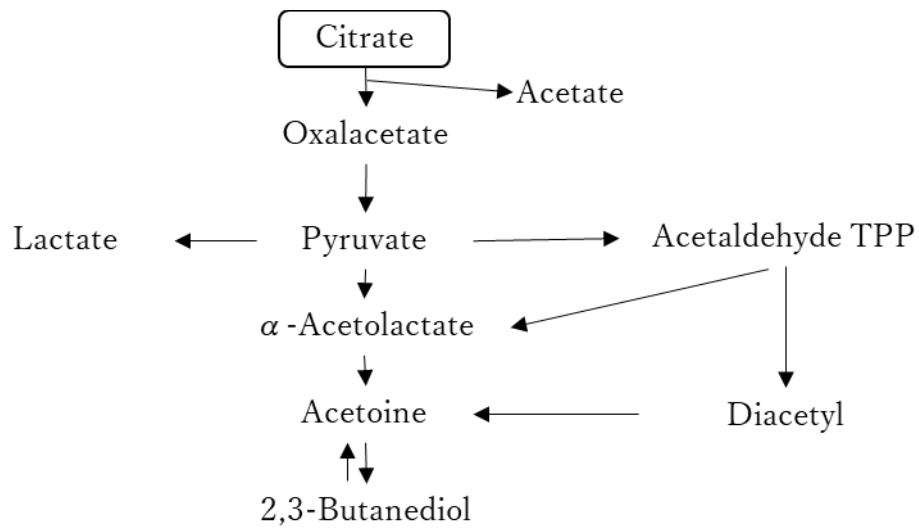
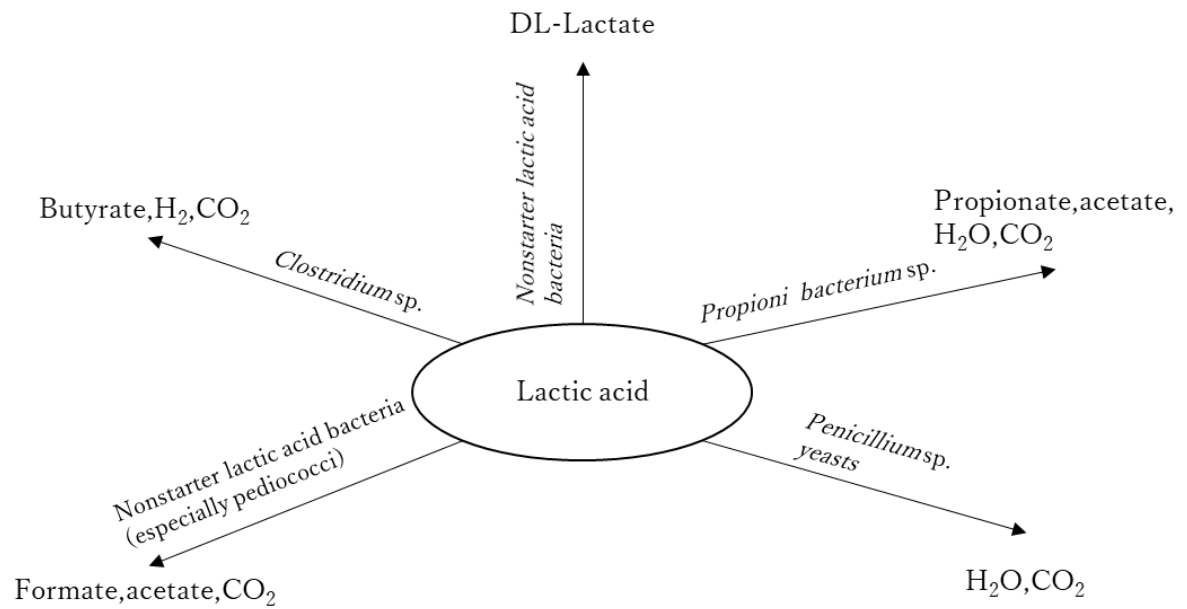


Figure 1-2 Metabolism of lactate and citrate

( 図 1-2 乳酸とクエン酸の代謝<sup>36</sup> )

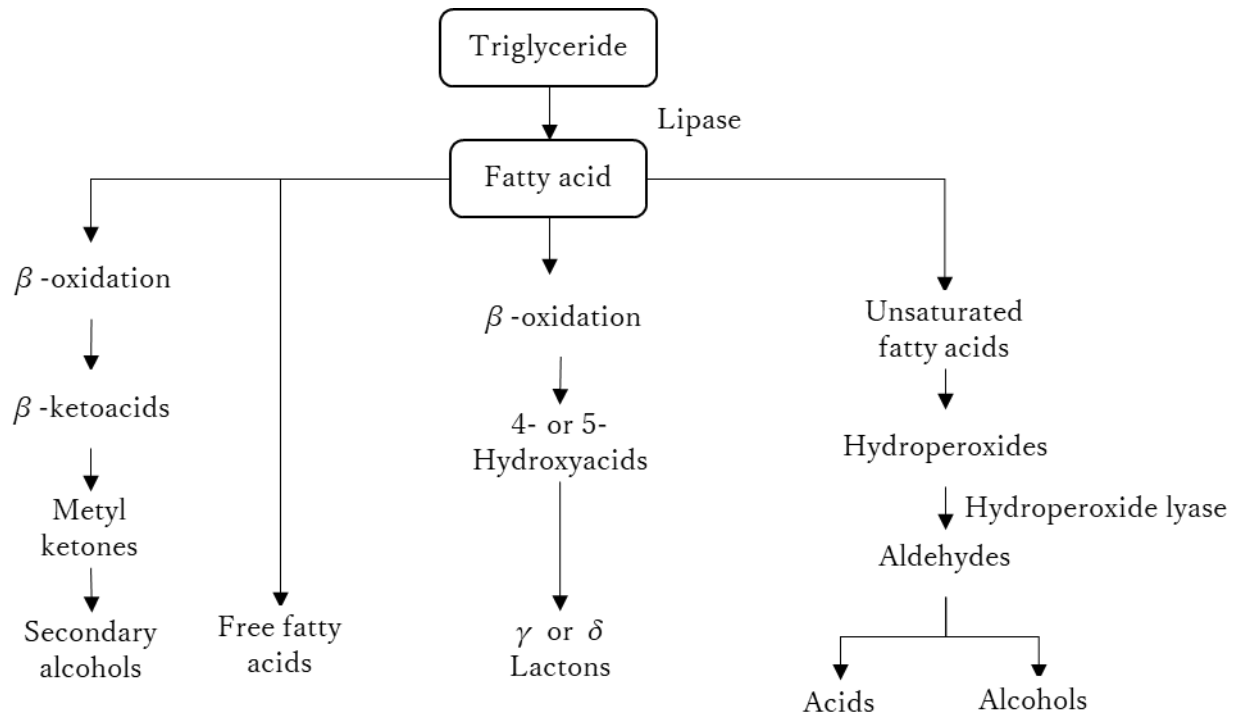


Figure 1-3 Lipolysis and metabolism of fatty acids

( 図 1-3 脂質分解と脂肪酸の代謝<sup>37</sup> )

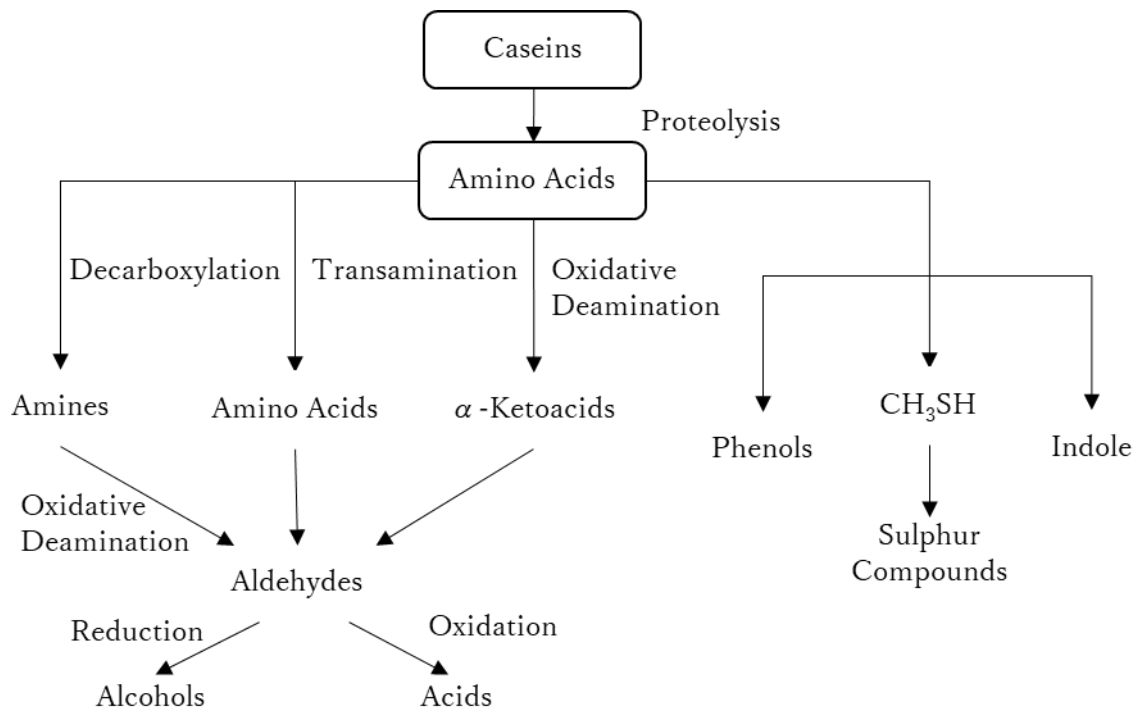


Figure 1-4 Proteolysis and catabolism of amino acids  
 ( 図 1-4 蛋白質分解とアミノ酸の代謝<sup>37</sup> )

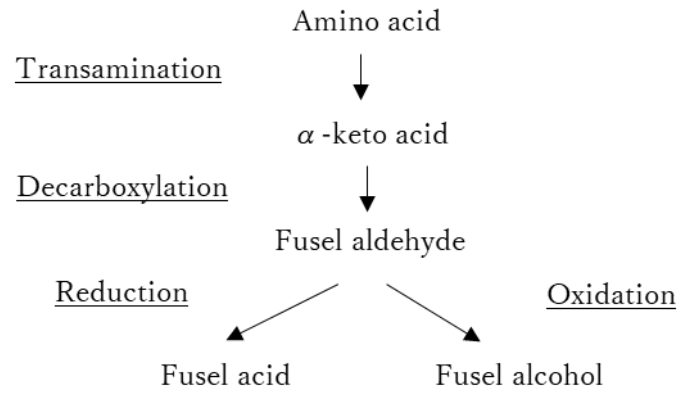


Figure 1-5 The ehrich pathway for flavor compounds  
( 図 1-5 エールリッヒ経路で生成する風味成分の生成経路<sup>47</sup> )



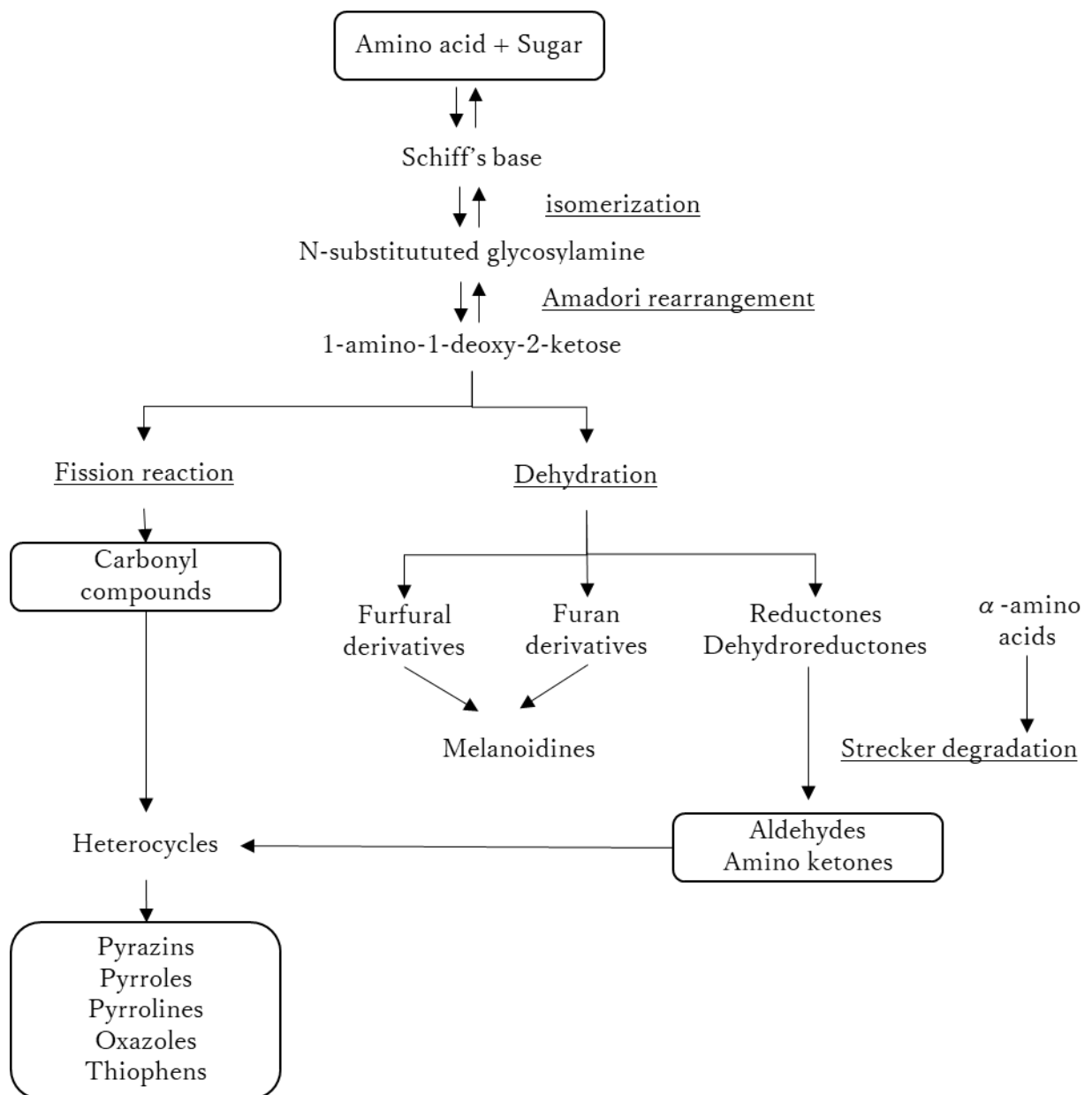


Figure 1-6 Ways for the formation of flavor compounds during Maillard reaction

(図 1-6 メイラード反応で生成する風味成分の生成経路<sup>55)</sup>)

## 第2章 チーズブレッドの成分特性および官能評価プロファイリング<sup>56, 57</sup>

### 2-1. はじめに

パンとチーズを組み合わせて食べる際の食べ方には、塗る、ふりかける、熱を加える、などがあるが、本研究では食べ方に着目し、チーズを製パン原料として利用するチーズブレッドを研究対象とした。バターロールの一種であるチーズロール<sup>10</sup>、ヨーロッパやアメリカに共通するバラエティブレッドの一つであるチーズバンズ<sup>11</sup>、単純な配合のチーズハースブレッド<sup>12</sup>などがこれにあたる。チーズブレッドは加えるチーズの種類により製パン性は異なると考えられるが、チーズブレッドの各種レシピがレシピ本に掲載されているのみで、チーズの種類を変更した場合の製パン性について検討した研究はない。著者はベーカリーシェフや製パンメーカーの開発者へのヒアリングを行ったが、経験的にチーズの添加によりパンの膨らみ方が悪くなるとの認識はあったが、チーズの種類と製パン性との関係性についての明確な回答は得られなかった。また原材料にチーズを配合したチーズブレッドの風味には、チーズの成分と、イーストによる発酵で生成するアルコール類やアルデヒド類、チーズに含まれるアミノ酸とパンに含まれる糖が焼成により生じるメイラード反応物も関与している。しかし、チーズとチーズブレッドの機器測定による成分値との関係についての研究はない。チーズの成分と製パン工程で生成する成分との関係が明らかになれば、消費者の求めるチーズブレッドを製造するにはどのような成分のチーズを選択すべきかがわかる。さらには、チーズ以外の原料を使用してのチーズ風味ブレッド製造や、例えば香ばしさやうま味を強化したパンの製造も可能となる。

また、近年、生命科学の分野において、網羅的な代謝物解析によって生体内の代謝物挙動を捉え、生命活動を解明しようとするメタボローム解析が導入されるようになった<sup>58</sup>。一般に食品の品質評価法として、糖、アミノ酸、有機酸などを個別に分析し客観的に評価する試みがなされているが、これらの成分分析にメタボローム解析を活用した報告が増えている。メタボローム解析では、分析対象となる化合物を事前に特定せず多くの代謝産物を分析することで、試料間に差異のある化合物を抽出することができる。メタボローム解析の食品への応用例としては、これまでに緑茶<sup>59</sup>、チーズ<sup>60, 34</sup>、ワイン<sup>61</sup>、日本酒<sup>62</sup>、トマト<sup>63</sup>、醤油<sup>64</sup>、レモン果汁<sup>65</sup>、サワー種<sup>66</sup>などがあるが、パンに関する報告はない。

チーズの品質は分析型パネルによる官能評価により評価されており<sup>67</sup>、国内の例では風味 32 語、組織とボディ 24 語、外観と色調 15 語が評価項目として公開されている<sup>68</sup>。しかし、これらの用語は製品の良し悪しや出荷判定をするための用語であり、チーズの風味特徴を具体的に描写するには適していない。ナチュラルチーズの風味特性を官能評価用語で分類する試みは数多く行われてきた<sup>69, 70, 71</sup>。Koppel らは生産国や熟成期間の異なる 152 種類のナチュラルチーズが風味 14 語、味 4 語で 4 つのグ

ループに分類できることを報告している<sup>72</sup>。セミハードチーズ<sup>32</sup>やチェダーチーズ<sup>73, 74, 75, 76</sup>、カマンベールチーズ<sup>26</sup>など、タイプを限定したナチュラルチーズの官能評価用語についての研究も多い。官能評価の用語はその用語を日常的に使用している消費者が属する文化、社会および食生活や嗜好を反映している。このことを考慮すると、海外での報告とは別に、日本人の官能評価パネルを対象とする官能評価用語を新たに選定する必要があると考える。

そこで本章では、まず各種ナチュラルチーズを添加したパンの製パン性を把握することでチーズブレッドを製造する際に起こり得る課題点を把握することとした。次にチーズとチーズブレッドの成分比較をすることにより、製パン工程中に変化するチーズ成分に着目し、チーズブレッドの風味成分の特徴について明らかにすることとした。成分分析においてはメタボローム解析の有用性について、得られる情報量や簡便性について従来の成分分析と比較した。さらに、各種ナチュラルチーズを添加したパンの官能評価用語の選定と定義付けを行い、添加するチーズの種類によって異なるチーズブレッドの風味の官能特性マップを得ることを目的とした。

## 2-2. 方法

### 2-2-1. 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品を選び量販店あるいは百貨店で購入した(表2-1)。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、シェーブブルタイプは2週間から4週間、ウォッシュタイプ、青カビタイプは2か月から3か月とされている<sup>77, 78</sup>。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か月から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<sup>78</sup>。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。

表2-2にこれらチーズ試料の栄養成分の含有量、pHを示した。水分分析には常圧加熱法<sup>79</sup>を用い、脂質、蛋白質、食塩相当量は製品の裏面表示より抜粋した。pHの計測は粉碎した試料20gに蒸留水20mLを加えて混合し、pH電極計(SevenEasy, メトラートレド)で測定した。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。

### 2-2-2. 製パン試験

日本イースト工業会のパン用酵母試験法<sup>80</sup>に準じて、小麦粉 1 kg 仕込みのストレート法で行い、ワンローフ食パンを調製した。

原料と配合は、強力粉（カメリヤ，日清製粉）1000 g，水道水 700 g，グラニュー糖 50 g，ショートニング 50 g，生イースト（レギュラーイースト，三菱商事ライフサイエンス）30 g，精製塩 20 g，脱脂粉乳 20 g，イーストフード（パンダイヤ C-500，三菱商事ライフサイエンス）1 g とした。加えるナチュラルチーズは，チーズブレッド<sup>81</sup>やチーズバンズ<sup>82</sup>の配合を参考に，予備実験によりチーズブレッドとして風味の差が評価できることを確認し，100 g と設定した。ナチュラルチーズ 100 g は，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，食塩量は，ナチュラルチーズに含まれる食塩分を差し引いて加えた。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。

油脂を除く上記配合の原料を縦型ミキサー（SS 型 71E，関東混合機工業）に投入し 1 速 3 分，2 速 3 分，3 速 1 分でミキシングした。その後油脂を添加し，1 速 2 分，2 速 3 分，さらに生地を伸ばすと薄く滑らかに伸びる状態になるまで 3 速でミキシングした（6 分から 8 分）。捏ね上げ温度が  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  となるように調整したパン生地を作成した。パン生地は  $28^\circ\text{C}$  で 60 分間 1 次発酵をし，450 g に分割して丸め，室温で 20 分間のベンチタイムを取った。その後モルダー（型式 WF，オシキリ）を用いて圧延してカール状に巻き，合わせ目を下方にしてワンローフ食パン型（型容積  $1520\text{ cm}^3$ ）に入れた。 $38^\circ\text{C}$ ，湿度 85 % の恒温器（KM-62PID-C 型，協同電熱製作所）で生地の中央部分が型から 1.5 cm 出るまで最終発酵を行い，リールオーブン（型式 SER608MS，三幸機械）にて  $200^\circ\text{C}$  で 25 分間焼成した。

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  $25^\circ\text{C}$  で保存した。翌日，比容積の測定，クラストの色差測定，官能評価に供した。

### 2-2-3. 製パン性および色相

製パン性は，発酵過程でイーストが発生させたガスの量としての生地ガス発生量，およびパンの膨らみを示す比容積により評価した。生地のガス発生量はガス発生量自動計測装置（ファーマグラフ II，アトー）を用いて，専用の密閉ガラス瓶中に生地 20 g を入れ  $30^\circ\text{C}$  の恒温水槽中で生地中のイーストが発生させるガス量を測定して求めた。比容積は，重量計付レーザー体積計測機（volscan profiler 600，Stable Micro systems）で求めた。パンのクラスト部分は色彩色差計（CR-410，コニカミノルタジャパン）を用いて，1 試料につき 3 本の食パンの上部中央を各々 3 か所測定し， $L^*$  値， $a^*$  値， $b^*$  値から，明度，色相，彩度を評価した。

## 2-2-4. チーズおよびチーズブレッドの成分分析

### (1)有機酸

チーズまたはチーズブレッド 5 g に対して 3 %スルホサリチル酸溶液を 20 mL 加え、10 分間超音波処理した後、遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) した。上清をシリンジフィルター (ポアサイズ 0.45 μm, アドバンテック) でろ過し、3 %スルホサリチル酸溶液で適宜希釈して測定試料とした。測定には液体クロマトグラフ有機酸分析システム(LC-20AD, 島津製作所)を用いた。分析条件は、カラム Shim pack SCR102H (300 mm×8 mm i.d., 2 本直列, 島津製作所), 移動相 5 mM *p*-トルエンスルホン酸溶液, 緩衝液 5 mM *p*-トルエンスルホン酸と 100 μM EDTA を含む 20 mM Bis-tris 溶液, 試料の注入量は 10 μL, 流速 0.8 mL/分, オープン温度 45°C, 電気伝導度検出器 (CDD-10A, 島津製作所) とした<sup>83</sup>。試料中の各物質の濃度は、クエン酸, リンゴ酸, コハク酸, 乳酸, フマル酸, 酢酸, プロピオン酸の各標準試薬 (関東化学) のピーク面積と比較し算出した。測定は, 3 回行い平均値を求めた。

### (2)糖

チーズまたはチーズブレッド 5 g に対して 70 %アセトニトリル水溶液を 20 mL 加え、10 分間超音波処理した後、遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) した。上清をシリンジフィルター (ポアサイズ 0.45 μm, アドバンテック) でろ過し、測定試料とした。測定には高速液体クロマトグラフィー (LC-20AD, 島津製作所) を用いた。分析条件は、カラム CAPCELLPACK NH2 UG80 (250 mm×4.6 mm i.d., 資生堂), 移動相 77 %アセトニトリル, 流量 1.0 mL/分とし、オープン温度 40°C, 示差屈折率検出器 (RI-2031, 島津製作所) とした<sup>84</sup>。試料中の各物質の濃度は、フルクトース, グルコース, シュクロース, ラクトース, マルトースの各標準試薬 (関東化学) のピーク面積と比較し算出した。測定は, 3 回行い平均値を求めた。

### (3)遊離アミノ酸

チーズまたはチーズブレッド 5 g に対して 3 %スルホサリチル酸溶液を 20 mL 加え、10 分間超音波処理した後、遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) した。上清をシリンジフィルター (ポアサイズ 0.45 μm, アドバンテック) でろ過し、3 %スルホサリチル酸溶液で適宜希釈して測定試料とした。測定はアミノ酸分析計 (JLC-500/V2, 日本電子) を用いた<sup>85</sup>。測定は 3 回行い平均値を求めた。

### (4)遊離脂肪酸

チーズまたはチーズブレッド 10 g に対してアセトンで 50 mL に定容した。10 分間超音波処理した後、シリンジフィルター (ポアサイズ 0.45 μm, アドバンテック) で

ろ過し測定試料とした。測定は FID 検出器を装備した GC (7890A, Agilent Technologies) を用いた。カラムはキャピラリーカラム Nucol (30 m×0.25 mm i.d., 膜厚 0.25 μm, SUPELCO) を用い、スプリットレスの注入モードで試料液 1.0 μL を注入し、注入口温度は 220°C とした。オープン温度は 50°C から 10°C/分 で 230°C まで昇温して 20 分間保持した。キャリアガスはヘリウムを使用し流速は 1.5 mL/分 とした<sup>86</sup>。試料中の各物質の濃度は、C4:0 から C16:0 の脂肪酸の各標準試薬 (ジーエルサイエンス) のピーク面積と比較し算出した。測定は 3 回行い平均値を求めた。

## (5)統計解析

成分分析の定量データを一元的に把握するために、各成分を変数として相関行列を用いた主成分分析を行った。解析は統計解析ソフトウェア SPSS Statistic ver.23.0 (日本 IBM) を用いた。

### 2-2-5. チーズおよびチーズブレッドの GC/MS を用いた多成分一斉分析

#### (1)成分の抽出および誘導体化

Pongsuwan ら<sup>59</sup>の方法を参考に次のように行った。粉碎したチーズまたはチーズブレッド 50 mg にメタノール/超純水/クロロホルム=5/2/2 (v/v/v) の混合液 1 mL と、内部標準物質として 0.2 mg/mL のリビトール 60 μL を添加した。5 分間の攪拌後、遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) した。上清 800 μL に超純水 400 μL を加え、1 分間攪拌した後に遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) し、上清 800 μL を 1.5 mL 容エッペンチューブに回収した。-80°C で凍結させた後に一晩真空凍結乾燥した。凍結乾燥した試料にピリジンで可溶化したメトキシアミン塩酸塩 (20 mg/mL) を 100 μL 加え、30°C で 90 分間反応させてオキシム化を行った。さらに N-Methyl-N-TMS-Trifluoroacetamide (ジーエルサイエンス) 50 μL を加え、37°C で 30 分間反応させトリメチルシリル化を行った。反応終了後、遠心分離 (16000×g, 5°C, 5 分間) し、上清 100 μL を 200 μL 容ガラスインサートを挿入したオートサンプラー用バイアルに移し、キャップをして GC/MS 分析に供した。分析は 1 試料につき 3 回分析した。

#### (2)GC/MS 分析

誘導体化した低分子量化合物は、GC は 6890 (アジレントテクノロジー)、MS は 700B (アジレントテクノロジー)、カラムはフューズドシリカキャピラリーカラム InertCap 5MS/NP (30 m×0.25 mm i.d. 膜厚 0.25 μm, ジーエルサイエンス) を用いて測定した。分析サンプルの注入量は 1 μL とし、キャリアーガスはヘリウム (カラム圧力一定: 75 kPa)、注入モードはスプリット法 (25:1) とし、注入口温度は 230°C、トランスファーライン温度は 280°C とした。オープン温度は 80°C で 2 分間保

持後、15°C/分にて昇温し、330°Cを13分間保持した。イオン源温度は230°C、イオン化電圧は70 eVとした。測定モードはスキャンモードとし、測定範囲はm/z 85~500とした。

### (3) ピーク処理および化合物一覧表の作成

GC/MS分析で得られたクロマトグラムは、米国分析機器工業会が定めたクロマトグラムデータの標準フォーマットであるAIAフォーマットで出力した。分析データファイルはクロマトグラムデータ前処理ソフトウェア「MetAlign」<sup>87</sup>でピークアライメントした。前処理および統合化された分析データをメタボローム解析ソフトウェア「Alouput 1.29」<sup>88</sup>で化合物の検出および相対定量した。相対定量は内部標準物質リボールのピーク面積に対する検出化合物のピーク面積の比率を算出して標準化した。

### (4) 統計解析

2-2-4(5)と同じ。

## 2-2-6. チーズブレッド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2018-80）を得て実施した。

### (1) パネル

10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た経験を持つ。また3年以上に渡ってパンの研究開発に従事した経験を持つパネルを専門パネルとした。

### (2) チーズブレッドの提示方法

18 mmの厚さにスライスしたパンをポリエチレン袋に入れ、香りは袋を開けた時に感じる香り、味はクラムを咀嚼した際に感じられる味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1種の試料を提示し、試料にはランダムな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、パネリストの空腹、満腹時を避け、午前10時あるいは午後2時に開始した。1セッションは10分から15分であった。

### (3) パンの評価用語の選定と評価

焼成した14種類のパンについて、風味を構成する質の評価を行った。あらかじめ、文献調査と14種類のパンに対する自由記述による予備評価によって、チーズブレッドの風味の質を評価する用語のリストを作成した。このリストの用語を香りに関するも

のと味に関するものに分類し、各々50音順に列挙し、提示したパンに感じられた風味にチェックを入れるようパネルに指示した。14種類のパンのうち少なくとも1種類のパンに対して、10名中8名以上がチェックした用語に関して再度リストを作成した。各用語についてパネリスト全員の合意が得られるまで討議し、専門パネル4名により定義付けを行った。

前項で定義づけを行った用語を項目として評価を行った。評価には、両端から1cmのところにマーカーのついた10cmのアンストラクチャードの線尺度<sup>89</sup>を用いた。線の始点（左端）からパネリストが選択した位置までの長さ（cm）を評価スコアとした。また、嗜好性は嗜好意欲評価尺度を用いて評価した<sup>90</sup>。

試料間の差を確認するために、一元配置の分散分析とTukeyのHSDによる多重比較を行った。官能評価用語と試料との関係を一元的に把握するために、各評価項目を変数として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。解析はSPSS Statistic ver.23.0（日本IBM）を用いた。



表 2-1 供試試料のタイプ、生産国、原材料名














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		 モッツァレラ	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	シェーブルタイプ	 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	 クリーミーウォッシュ	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

表 2-2 供試試料の栄養成分

試料	含有量 (g/100 g)				pH
	脂質	たんぱく質	水分	食塩相当量	
No.1	25.0	5.1	66.1	1.0	4.7
No.2	21.1	25.3	44.2	1.4	6.2
No.3	24.0	19.0	52.7	1.3	6.6
No.4	27.6	17.0	48.1	1.6	6.5
No.5	29.0	20.0	40.2	3.4	5.0
No.6	23.0	20.0	45.0	1.5	7.2
No.7	28.4	16.2	48.6	1.3	6.4
No.8	24.0	18.0	50.9	1.9	7.0
No.9	31.0	29.0	33.9	0.4	5.7
No.10	31.1	22.9	39.3	2.1	5.3
No.11	34.5	22.8	36.5	1.7	5.3
No.12	28.5	29.7	36.3	3.1	5.3
No.13	29.0	33.6	28.5	1.6	5.4

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー,  
 No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ,  
 No.8:ショーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴータ, No.11:チェダー,  
 No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

## 2-3. 結果および考察

### 2-3-1. チーズブレッドの製パン性

供試試料の成分組成を比較するために栄養成分を表 2-2 に示した。供試試料の脂質含量は少ない製品で 21.1%，多い製品で 34.5%であった。たんぱく質は少ない製品で 5.1%，多い製品で 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。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。

チーズブレッドの焼き色と膨らみ具合の全体像を把握するため、焼成したパンの外観写真を図 2-1 に示した。チーズを添加することによりパンの膨らみ具合は小さくなりクラストの色は濃くなる傾向が見られた。パンの膨らみ具合が小さいものほどクラストの色は濃くなっていた。チーズの種類により膨らみ具合やクラストの色は異なることが見てとれた。

イーストの発酵力に及ぼすチーズの影響は生地的气体発生量に反映され、パンの品質を左右するパンの膨らみ具合に関係する。パンの膨らみ具合は生地 1g 当たりの体積である比容積が指標とされている。そこで生地的气体発生量と比容積を測定し結果を表 2-3 に示した。ガス発生量は発酵 60 分で比較すると、チーズを添加することに

より試料9（エメンタール）以外は有意（ $p < 0.05$ ）に低下した。発酵120分では試料3（カマンベール）、4（ブルー）、9（エメンタール）以外で有意（ $p < 0.05$ ）に低下した。しかし発酵180分では有意に低下が認められたのは試料2（モッツアレラ）のみとなり、試料5（ダナブルー）、6（サント・モール）、9（エメンタール）、13（パルミジャーノ）は有意に高くなった。これらのことから、チーズの添加により発酵初期のガス発生量は抑制されるが、発酵時間が長くなるにつれてその差は小さくなりむしろコントロールよりもガス発生量が多くなるものもあることが明らかとなった。チーズの遊離アミノ酸が生地中に添加されることにより、イーストの栄養源が豊富になり、発酵時間が長くなっても発酵が継続されていると考えられる<sup>91</sup>。またチーズのpHは試料1（クリーム）のpH 4.7を始め酸性の製品が多い。イーストの至適pHは4付近である<sup>92</sup>ことから、チーズの添加によりパン生地中のpHが低下したことによりイーストの発酵、すなわちアルコール発酵が促進されたことにより炭酸ガスが多く発生したと推察される。その一方で、チーズを添加することによりパン生地中に有機酸が増えることにより、イーストの発酵は阻害を受ける。チーズの添加はイースト発酵の促進と阻害の両方に影響を及ぼすが、チーズブレッドにおいては、発酵時間を長くすることでガス発生量は増加させることができる。

パンの膨らみ具合を表す比容積は試料1（クリーム）を除いてチーズを添加することによりコントロールよりも低下した。ここで注目すべき点は発酵120分までのガス発生量がコントロールと有意差が認められなかった試料3（カマンベール）、4（ブルー）、9（エメンタール）も比容積が低下していることであり、このことから、比容積の低下の主な要因は、チーズの添加によるイーストの発酵阻害ではないと言える。チーズは熟成中にたんぱく質がプロテアーゼにより分解され多くのペプチドやアミノ酸を生成する。この時に生成するシステイン残基は還元型であるために生地中のグルテン形成が阻害されイーストの生成する炭酸ガスの保持力が弱まったため比容積は低下したと考えられる。チーズブレッドの比容積向上のためには、グルテンのS-S結合の形成を促進し骨格を強化することが必要であるため、シスチンやビタミンC、グルコースオキシダーゼなどの酸化剤や酵素の利用が必要と考えられた。チーズの添加によりパンの比容積が低下することは経験的に知られているが、本研究において初めてチーズの添加による比容積の低下が数量的に把握できた。また、その低下の程度はチーズの種類によって異なることが明らかとなった。

各種パンの色度測定の結果を表2-4に示した。チーズブレッドのクラストでは共通してL\*値、a\*値、b\*値は低下した。L\*値は数値が高いほど光を反射し白く見えることを示している。a\*値、b\*値はそれぞれ数値が高いほど、赤色、黄色であることを示し、低いと緑色、青色であることを示している。ワンローフ食パンにおけるクラストの上部は最も焼き色がつく箇所である。この着色反応の主要因はメイラード反応であり<sup>93</sup>、有意にL\*値の低下が見られた試料5（ダナブルー）、9（エメンタール）、13

(パルミジャーノ) はアミノ酸含量も多いと想定される。またメイラード反応は重合した褐色物質 (メラノイジン) を生成し、着色に関係するだけでなく多数の揮発性成分も生成することが知られている<sup>94</sup>。糖とアミノ酸の組み合わせによる加熱反応で生成する香気は、アミノ酸の種類の違いにより大きく異なる<sup>95</sup>。チーズには、グルタミン酸、バリン、ロイシン、イソロイシン、リジン、フェニルアラニンが多く含まれていることから<sup>85</sup>、これらの一部はストレッカー分解を経てチーズブレッドの香気成分の生成に関与していると考えられる。

## 2-3-2. チーズとチーズブレッドの成分比較

### (1)有機酸

はじめに、チーズの乳酸菌発酵で生成する成分である有機酸を測定した。チーズの有機酸組成を表 2-5、チーズブレッドの有機酸組成を表 2-6 に示した。チーズにはクエン酸、コハク酸、乳酸、酢酸、プロピオン酸が含まれていた。チーズ製造には乳酸菌発酵過程がありその過程でラクトースから主に乳酸、酢酸、プロピオン酸が生成される<sup>96</sup>。乳酸菌はホモ型、ヘテロ型、または通性ヘテロ型に分けられ、ホモ型乳酸菌は乳酸、ヘテロ型乳酸菌は乳酸と酢酸を生成する。またチーズの種類によってはスターター中にプロピオン酸菌が含まれるため、プロピオン酸の生成が認められる。クエン酸は牛乳中に含まれ大半は製造過程でホエイとして排出されるが、一部はチーズ中に存在する<sup>36</sup>。

チーズブレッドにおいては、コントロールと比較しクエン酸、乳酸、酢酸、プロピオン酸が多い試料が見られたが、これらの成分は主にチーズ由来であると考えられた。これら成分はすべて酸味を有していることから、チーズブレッドの酸味にはこれらの有機酸が寄与している可能性がある。また、チーズブレッドの試料 5 (ダナブルー)、6 (サント・モール) はコハク酸がコントロールよりも有意に少なかった。清酒醪の中後期の嫌気的な環境では、リンゴ酸およびコハク酸は細胞質において主に TCA 回路の還元的方向で生成されることが示唆されている<sup>97</sup>。試料 5 (ダナブルー)、6 (サント・モール) はイーストの TCA 回路における還元的方向の反応が何らかの要因により阻害されたため、リンゴ酸、コハク酸の量がコントロールと比較して少なくなったと考えられる。

### (2)糖

チーズには牛乳由来のラクトースが含まれるため、糖を測定した。チーズからは試料 1 (クリーム) のみラクトースが 3.8 g (チーズ 100 g 中) 検出され、フルクトース、グルコース、シュクロース、マルトースはすべてのチーズにおいて検出されなかった (検出限界 0.5 g/チーズ 100 g 中)。この結果はチーズ中のラクトースは乳酸

菌の発酵により消費されるが、フレッシュチーズには数%残存しているとの報告と一致している<sup>36</sup>。

チーズブレッドの糖組成を表 2-7 に示した。コントロールにはフルクトースとマルトースが含まれ、チーズの添加により試料 1 (クリーム) を除きコントロールと糖組成に差はなかった。グルコースはすべてのパンから検出されなかった。グルコースは小麦粉中のアミラーゼの働きにより小麦でんぷんが分解して生成、また、シュークロースがパン酵母中に含まれる酵素であるインベルターゼにより分解されて生成<sup>98</sup>するが、すべてイースト発酵により代謝されたと考えられた。フラクトースはシュークロースがパン酵母中に含まれる酵素であるインベルターゼにより分解されて生成する成分であり<sup>98</sup>、マルトースは小麦でんぷんの分解により生成する成分である。これら成分はチーズブレッドに限らずパンの主要な低分子量化合物と考えられる。また試料 1 (クリーム) に含まれていたラクトースは、製パン工程中で消失することはなく、ほぼ全量がチーズブレッドに移行していることがわかった。フレッシュチーズにのみラクトースが含まれ、ラクトースはチーズブレッドにも移行することから、フレッシュチーズを添加したチーズブレッドの風味にはラクトースの関与も考えられる。

### (3)アミノ酸

チーズは熟成中にたんぱく質が分解されペプチドや遊離アミノ酸が生成する<sup>99, 100, 101</sup>。ことから、遊離アミノ酸を測定した。チーズの遊離アミノ酸組成を表 2-8、チーズブレッドの遊離アミノ酸を表 2-9 に示した。遊離アミノ酸量はチェダーチーズの熟成の指標となると報告されており<sup>102, 103</sup>、熟成が進むと遊離アミノ酸量が多くなる。種々のナチュラルチーズの遊離アミノ酸量を比較した報告においても、熟成期間の長いチーズの方が遊離アミノ酸量は多い結果となっている<sup>85</sup>。青カビチーズである試料 5 (ダナブルー)、セミハード・ハードチーズである試料 13 (パルミジャーノ) の遊離アミノ酸量が多いことはこれらのチーズは熟成が進んでいることを示している。

チーズブレッドの遊離アミノ酸総量はコントロールと比較して、試料 1 (クリーム) を除き有意に多くなっていた。チーズの遊離アミノ酸総量とチーズブレッドの遊離アミノ酸総量の相関係数は 0.99 となり、チーズブレッドの遊離アミノ酸はチーズの遊離アミノ酸に由来するところが大きいことがわかった。一方、チーズブレッド試料 1 (クリーム) はコントロールよりも有意にアミノ酸量が少なかった。イースト発酵において、アミノ酸はエールリッヒ経路により、 $\alpha$ -ケト酸、フーゼルアルデヒドに変換されフーゼルアルコールとなる<sup>47</sup>ため、イースト発酵が促進されるとアミノ酸は減少する。チーズの添加によりパン生地中の pH が変化すること、またパン生地中に有機酸が増えることにより、イーストに含まれる酵素の働きが影響を受け、結果としてアミノ酸量に差が出たと推察できた。他のチーズブレッドにおいてもチーズの添加によりアミノ酸の代謝が促進された可能性があるが、イーストが消費するアミノ酸量よ

りもチーズ中に含まれるアミノ酸量が多かったために、見かけ上アミノ酸量の低下は認められなかったのではないかと考える。アミノ酸のうち、グルタミン酸特に強いうま味を有する。チーズブレッドにおいてグルタミン酸の量に大きな差があることから、チーズブレッドのうま味の強さにはグルタミン酸が関与している可能性が高い。

#### (4)脂肪酸

チーズは熟成中に乳脂肪が分解され脂肪酸が生成する<sup>37</sup>ことから遊離脂肪酸を測定した。チーズの遊離脂肪酸組成を表 2-10、チーズブレッドの遊離脂肪酸組成を表 2-11 に示した。チーズの熟成中に乳脂肪から生成する遊離脂肪酸はチーズの官能特性に大きな影響を与える<sup>104</sup>。7 か月から 10 か月熟成させたチェダーチーズやゴダチーズの脂肪分解率は低く<sup>105</sup>、青カビタイプは発酵で使用する *Penicillium roqueforti* 由来のリパーゼ活性が高いため、脂肪分解率は高いと報告されている<sup>106, 107</sup>。本研究の結果においても、青カビタイプである試料 5 (ダナブルー) の遊離脂肪酸量が最も多かった。試料 4 (ブルー) は青カビタイプではあるが、熟成中の温度や期間を調整することにより遊離脂肪酸の生成を抑え、風味を調整していると考えられる。またシェーブルタイプである試料 6 (サント・モール) は試料 5 (ダナブルー) に次いで遊離脂肪酸が多かった。シェーブルタイプは山羊乳を原料としており、山羊乳は牛乳と比較して脂肪酸組成においてラウリル酸の割合が多いことが特徴である<sup>108</sup>。

チーズブレッドの脂肪酸組成において、試料 5 (ダナブルー)、試料 6 (サント・モール) を配合したチーズブレッドにおいて顕著に脂肪酸が多く検出された。しかし、試料 6 (サント・モール) のチーズブレッドの脂肪酸量はチーズに由来すると想定される量以上であった。ナチュラルチーズは流過程での品質安定性を高めるため、量販店で販売されている製品の多くは殺菌タイプであるが、一部未殺菌のものもある。試料 6 (サント・モール) は未殺菌タイプであるため購入日から消費期限までの期間は短く設定されていた。試料 6 (サント・モール) はリパーゼ活性が残存しており、冷蔵保存中ではリパーゼの働きは抑えられているが、温度が至適となる製パン工程中ではリパーゼが活発に働き遊離脂肪酸が増加したと考えられた。

#### 2-3-3. チーズとチーズブレッドの成分全体像の把握

低分子量化合物をチーズ及びチーズブレッドの分類の観点から一元的に把握するために、有機酸、糖、アミノ酸、脂肪酸のそれぞれの機器測定による成分分析データを主成分分析により解析した。各成分を変数として、相関行列を用いた主成分分析を行った。チーズの主成分分析の結果、寄与率は第 1 主成分が 63.0 %、第 2 主成分が 20.2 % と 2 つの主成分で 83.2 % を説明できた。チーズブレッドの主成分分析の結果、寄与率は第 1 主成分が 49.6 %、第 2 主成分が 22.9 % と 2 つの主成分で 72.5 % を説明できた。図 2-2 に第 1 主成分と第 2 主成分から構成される散布図を図 2-2、各成分に対する因子負荷

量を表 2-12 に示した。

各主成分に対する因子負荷量に着目して、軸の解釈を行った。チーズの第 1 主成分については、メチオニン (0.99)、ヒスチジン (0.98)、スレオニン (0.97)、ロイシン (0.96)、を始めアミノ酸の因子負荷量が多いこと、脂肪酸の因子負荷量がすべて 0.7 以上であることから、チーズの熟成期間の長さやカビ発酵熟成の程度を表していると解釈した。第 2 主成分についてはコハク酸 (0.71)、プロピオン酸 (0.70)、酢酸 (0.65)、と有機酸の因子負荷量が多いこと、脂肪酸の因子負荷量がすべて負の方向となっていることから、使用しているスターターに含まれる乳酸菌の種類やプロピオン酸菌の有無、カビ発酵熟成の程度を表していると解釈した。チーズの成分は、「熟成期間の長さやカビ発酵熟成の程度」と「スターターに含まれる乳酸菌の種類やプロピオン酸菌の有無、カビ発酵熟成の程度」の 2 成分により平面上で表現できることが示された。

チーズブレッドの第 1 主成分については、アスパラギン酸 (0.98)、ロイシン (0.96)、フェニルアラニン (0.95)、アラニン (0.94)、とアミノ酸の因子負荷量が多いことから、チーズに含まれるアミノ酸がチーズブレッドの成分にも影響を与えていると考えられた。第 2 主成分については、ミリスチン酸 (0.86)、カプリン酸 (0.84)、ラウリル酸 (0.84)、カプリル酸 (0.83)、ステアリン酸 (0.83)、と脂肪酸の因子負荷量が多いことから、カビによる発酵を行ったチーズのリパーゼの働きによる熟成の程度を表していると考えられた。その一方で、試料 13 (パルミジャーノ)、試料 9 (エメンタール) は第 2 主成分において低いスコアとなっており、これらの試料にプロピオン酸が含まれていることも反映されていると読み取れた。第 2 主成分にはカビ発酵による熟成程度に加えて、スターター中の乳酸菌の種類やプロピオン酸菌の有無の情報も含まれていると解釈できた。

チーズブレッドの風味成分について以下のように考察した。チーズとチーズブレッドの低分子量化合物の分析により、チーズの分類にはアミノ酸と有機酸、脂肪酸が、チーズブレッドの分類にはアミノ酸と脂肪酸の寄与が多いことがわかった。有機酸はチーズの乳酸菌発酵で生成するためチーズの分類に寄与しているが、チーズブレッドはそれに加えて製パン工程で生成する有機酸が加わるために、有機酸はチーズブレッドの分類への寄与は少なくなったと考えられる。主成分分析の結果、チーズ分類において第 1 主成分は「チーズの熟成期間の長さやカビ発酵熟成の程度」、第 2 主成分は「発酵に用いた乳酸菌の種類とプロピオン酸菌の有無及びカビ発酵熟成の程度」、と解釈した。またチーズブレッド分類において第 1 主成分は、主にアミノ酸量で説明される配合した「チーズの熟成期間の長さ由来する熟成の程度」であり、第 2 主成分は主に脂肪酸で説明される配合した「チーズのカビ発酵熟成の程度」、と解釈できた。

#### 2-3-4. チーズとチーズブレッドの多成分一斉分析の有用性

機器測定による成分分析で定量できなかった他の成分の影響の有無を確認するため、

チーズ 13 種類とこれらのチーズを添加して調製したチーズブレッド 14 種類（コントロールを含む）の水溶性低分子量化合物を GC/MS で一斉分析しメタボローム解析に供した。水溶性低分子量化合物はチーズで 127 成分，チーズブレッドで 126 成分が検出できた。そのうちチーズとチーズブレッドの両方から検出された成分は 85 成分，チーズのみから検出された成分は 42 成分，チーズブレッドのみから検出された成分は 41 成分であった。チーズのみから検出された成分があった理由としては，チーズブレッドにはチーズは対小麦粉 10 %の配合のためチーズに含まれていても検出限界以下となる成分があること，イーストの発酵やメイラード反応など製パン工程中に消費される成分があることが考えられる。また，チーズブレッドからのみ検出された成分は，チーズ以外の製パン原料，例えば小麦粉，砂糖，ショートニング，イースト由来，もしくは製パン工程中に生成した成分と考えられる。

チーズブレッドからのみ検出される 41 成分のうち酸類 15 成分，糖類 13 成分，その他 13 成分であった。このうち内部標準として用いたリビトールのピーク面積に対する相対定量値が 1 以上であったのは，コハク酸，フルクトース，マルトースであった。コハク酸は酵母がアルコールを生成する過程で生成する成分であり，製パン工程中にイーストの発酵により生成したと考えられる<sup>109, 110</sup>。マルトースは小麦でんぷんの分解により生成，フラクトースはシュクロースがパン酵母中に含まれる酵素であるインベルターゼにより分解されて生成した成分である<sup>98</sup>。これらの成分はパンの主要な水溶性低分子量化合物と考えられる。

水溶性低分子量化合物をチーズ及びチーズブレッドの分類の観点から一元的に把握するために，GC/MS の分析データを主成分分析により解析した。各成分を変数として，相関行列を用いた主成分分析を行った。チーズの主成分分析の結果，寄与率は，第 1 主成分 28.9 %，第 2 主成分 22.0 %で分散の約 51 %を説明できた。チーズブレッドの主成分分析の結果，寄与率は第 1 主成分 29.0 %，第 2 主成分 20.6 %で分散の約 50 %を説明できた。2-3-3 での機器分析による成分分析ではチーズで 33 成分，チーズブレッドで 35 成分の定量値を用いている。それと比較して，一斉分析ではチーズ 127 成分，チーズブレッド 126 成分と多く，試料の分類に寄与しない成分も多く含まれているために主成分に対する寄与率は 2-3-3 の主成分分析の結果よりも低くなっていると考えられる。第 1 主成分と第 2 主成分から構成される散布図を図 2-3 に示した。チーズの主成分得点を確認すると，主成分 1 上で正の領域に試料 8（ショーム），9（エメンタール），12（エダム），13（パルミジャーノ）が，主成分 2 上で正の領域に試料 1（クリーム），2（モッツァレラ），7（クリーミーウォッシュ），8（ショーム）が分布していた。チーズブレッドの主成分得点においては主成分 1 上で正の領域に試料 5（ダナブルー），6（サント・モール），8（ショーム），9（エメンタール），13（パルミジャーノ）が，主成分 2 上で正の領域にコントロール，試料 1（クリーム），3（カマン



ベール), 9 (エメンタール), 11 (チェダー), 13 (パルミジャーノ) が分布していた。

各成分に対する因子負荷量は正の領域にある上位 20 成分を抜粋し, 表 2-13 に示した。チーズおよびチーズブレッドのいずれにおいても, 第 1 主成分の因子負荷量はアミノ酸が正の方向に大きく寄与しており, どちらの分類においても低分子量化合物のうちアミノ酸が試料の分類に関わっていると読み取れた。

多成分一斉分析においてもチーズやチーズブレッドの分類においてアミノ酸が重要であることが読み取れ, それぞれの機器測定による定量分析の結果と一致していた。また主成分 2 の因子負荷量の上位 20 成分の中には, 成分分析で定量していない成分が含まれこれらの成分が風味に影響を与えている可能性もあり, 今後これらの情報を基にさらなるチーズやチーズブレッドの成分特徴の把握につなげられると考える。しかしその一方で, 多成分一斉分析では機器測定による定量分析でチーズの分類に寄与しているとされた有機酸, 脂肪酸, チーズブレッドの分類に寄与しているとされた脂肪酸の情報量は少なくなっている。多成分一斉分析は一度に多くの情報を得るのに優れた手法であるが, その情報から目的とする情報を選択し, その他機器分析による定量結果と合わせて考察する必要があると考えられる。

### 2-3-5. チーズブレッドの官能特性

チーズブレッドの官能特性を表す官能評価用語の選定をするために, 分析型パネルにより風味評価用語を収集した。その結果, 香り 44 語, 味 8 語から成る計 52 語が得られた (表 2-14)。

この 52 語を評価項目として分析型パネル 10 名による予備評価を行った。少なくとも 1 種類のチーズブレッドに対して 10 名中 8 名以上が風味評価用語として適正であると判断した用語は香り 9 語, 味 5 語であった。これら評価用語に対してパネルで討議したところ, パネリスト全員の合意が得られたため, 専門パネル 4 名により定義付けを行った (表 2-15)。

定義づけを行った官能評価用語を項目として, アンストラクチャード線尺度を用いてチーズブレッドの官能評価を実施した。各評価項目に対する平均値と分散分析の多重比較の結果を表 2-16 に示した。分散分析の結果, 14 語中 13 語の風味評価用語に試料間の有意差 ( $p < 0.01$ ) が見られ, 各用語に対応する項目の評価の結果から, 試料の個々の特徴を確認することができた。製パンにおける食塩配合は添加したチーズに含まれる塩分を加味して調製しているため, パンの食塩量は一定にも関わらず, 塩味の強さに有意差が出ているのはチーズの有機酸やアミノ酸が塩味を増強したためと想定される<sup>111, 112, 113</sup>。試料 5 (ダナブルー), 6 (サント・モール), 8 (ショーム), 9 (エメンタール), 12 (エダム) および 13 (パルミジャーノ) はチーズを焼いたような香りやうま味, 後味が強かった。試料 3 (カマンベール), 4 (ブルー), 5 (ダナ

ブルー), 6 (サント・モール) はカビによる熟成を行ったタイプであるので, カビのような香りが強いとされた. 試料8 (ショーム), 13 (パルミジャーノ) はカビによる熟成は行っていないが, カビのような香りが強いと評価された. 試料8 (ショーム) はウォッシュタイプであることからリネンス菌による発酵成分のため, また試料13 (パルミジャーノ) は遊離脂肪酸が多いことから, カビによる熟成を行った試料5 (ダナブルー), 6 (サント・モール) と共通する香りを有しており, これがカビのような香りとして感じられたと考えられた. 試料6 (サント・モール) はグリーンな香りやエグ味が強く, 山羊乳の特徴がパンに添加した際にも影響を与えていると考えられる.

チーズブレッドに添加したチーズの種類と官能評価用語との関係を見るために, 各評価項目を変数として, 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2主成分までが, 意味のある主成分として抽出された. 各評価項目に対する因子負荷量を表2-17に示した. 寄与率は第1主成分が39.9%, 第2主成分が11.4%であった.

図2-4に第1主成分と第2主成分から構成される散布図を示した. 各主成分に対する因子負荷量に着目して, 軸の解釈を行った. 第1主成分については, チーズを焼いたような香り (0.86), 後味 (0.78), 酵母エキスの香り (0.77), スモークの香り (0.75) の因子負荷量が大きいため「チーズの濃厚感」と解釈した. 第2主成分はこうばしい香り (0.50), チーズを焼いたような香り (0.39), スモークの香り (0.32) の因子負荷量が大きいため「チーズブレッドの香ばしさ」と解釈した. チーズブレッドの風味は, 「チーズの濃厚感」と「チーズブレッドの香ばしさ」の2成分により平面上で表現できること示された.

次に, 試料間の類似性を明確にするために, 第2主成分までの主成分得点を用いてクラスター分析を行った. その結果, 試料を6つのクラスターに分けることができた. これらのクラスターを図2-4の主成分分析の第1主成分と第2主成分から構成される散布図の上に丸で囲んで示した. コントロールはチーズを添加したパンとは異なっており, チーズの濃厚感はなかった. 試料1 (クリーム), 2 (モッツアレラ) および7 (クリーミーウォッシュ) はコントロールに近い風味である. 試料3 (カマンベール), 4 (ブルー) はチーズの濃厚感は弱く, グリーンな香り, カビのような香りがあるということが読み取れた. 試料8 (ショーム), 9 (エメンタール), 10 (ゴード), 11 (チェダー), 12 (エダム) はチーズを焼いたような香り, 塩味, うま味, 後味が強かった. 試料5 (ダナブルー), 13 (パルミジャーノ) はさらにチーズの濃厚感が強かった. 試料6 (サント・モール) はチーズの濃厚感に加えて, カビのような香り, グリーンな香り, エグ味が強かった.

添加したチーズの種類と嗜好性との関係を見るために, 嗜好意欲尺度法によりチーズブレッドを評価した. 嗜好意欲評価尺度の結果を表2-18に示した. 嗜好意欲評価

尺度の「強制されれば食べる」あるいは「おそらく食べる気にならない」に該当する程度は「嗜好性が極めて低い」と判断した。試料6（サント・モール）は「嗜好性が極めて低い」割合が78%を占め、シェーブルタイプのチーズを添加したパンはチーズブレッドとしての嗜好性が低いことが確認された。また試料6（サント・モール）以外で「嗜好性が極めて低い」割合が10%以上であったのは、試料3（カマンベール）、4（ブルー）、5（ダナブルー）であり、どれもカビによる熟成タイプのチーズを添加したパンであった。ナチュラルチーズの嗜好度は食経験にも左右される。チーズは嗜好性の高い食品であり、女性のチーズの食嗜好を調査した報告では、シェーブルタイプやウォッシュタイプは食経験のない人の割合が多い<sup>114</sup>。シェーブルタイプの試料6（サント・モール）の嗜好性が低かったのは、食経験の少なさに由来すると考えられる。白カビタイプの食経験は高く好きなチーズとして挙げる人がいる一方で、嫌いなチーズとして挙げる人も多い。また青カビタイプも嫌いなチーズの代表となっており、チーズの食経験とチーズを添加したパンの嗜好性との関係については消費者の求めるチーズブレッドを製造する上で今後必要になると考えられる。

本章の検討により、チーズブレッドの官能評価用語として表2-15に示した香り9語、味5語が選定でき、これらの評価用語により添加したチーズの種類とチーズブレッドの風味の官能特性がマッピング可能となった。チーズブレッドの風味はチーズの熟成による味の強さやチーズを焼いたときの香ばしさ、小麦粉を焼いた時に生じるパンらしい香ばしさのバランスにより決定されることがわかった。

チーズブレッドは加えるチーズの種類によりイーストの発酵力を示すガス発生量やパンの膨らみ具合である比容積、焼き色が異なり、特に比容積の低下はパンとしての品質を低下させる。チーズブレッドの品質向上のためには、生地ของガス保持力を高めるためにグルテンのS-S結合の形成を促進させる酸化剤の使用が効果的ではないかと考えられた。チーズブレッドの分類にはチーズのアミノ酸量、すなわち主にチーズの熟成期間の長さ、チーズの脂肪酸量、すなわち主にチーズのカビ発酵熟成の程度が寄与しており、チーズブレッドの製造においてチーズの選択にはこれらが指標となると考えられた。また、チーズブレッドの官能評価用語を選定でき、今後のチーズブレッドの開発において評価用語による評価が可能となった。

以上より、本評価法を利用することにより、消費者の求める風味のチーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズの選択と配合決定が容易になると考えられる。















試料	パンの外観	試料	パンの外観
control		No.7 (クリーミー ウォッシュ)	
No.1 (クリーム)		No.8 (シヨーム)	
No.2 (モッツアレラ)		No.9 (エメンタール)	
No.3 (カマンベール)		No.10 (ゴード)	
No.4 (ブルー)		No.11 (チェダー)	
No.5 (ダナブルー)		No.12 (エダム)	
No.6 (サント・モール)		No.13 (パルミジャーノ・ レッジャーノ)	

図 2-1 焼成したパンの外観

表 2-3 生地的气体発生量とパンの比容積

試料	ガス発生量 (ml/20 g)			比容積 (ml/g)
	60分後	120分後	180分後	
control	33.2±0.1	80.8±1.7	120.0±1.9	5.26±0.06
No.1	29.4±0.8**	71.9±5.1*	109.9±6.1	5.23±0.05
No.2	28.6±0.6**	69.8±2.7*	109.8±3.7*	4.70±0.07***
No.3	28.3±1.3*	71.1±4.9	115.4±6.3	4.77±0.04***
No.4	29.2±0.8*	73.2±4.1	116.8±4.6	4.85±0.12**
No.5	27.8±0.5**	77.1±1.3**	124.0±1.9**	4.50±0.04***
No.6	29.3±0.4**	76.8±1.2**	125.7±1.8**	4.70±0.04***
No.7	28.7±0.7**	73.7±2.1*	119.1±3.0	4.96±0.08**
No.8	29.5±0.4**	75.1±0.5*	121.8±0.9	4.17±0.06***
No.9	33.2±0.7	81.5±0.9	127.2±1.5*	4.13±0.16***
No.10	26.2±0.5**	68.9±1.2*	115.0±2.6	3.98±0.09***
No.11	30.6±0.2**	74.7±0.6*	120.2±0.7	4.06±0.06***
No.12	29.4±0.3**	73.7±0.1*	119.6±0.2	4.01±0.06***
No.13	30.5±0.4**	77.3±1.1*	124.1±1.3*	4.45±0.05***

controlとの比較：\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

平均値±標準偏差 (n=3)

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,  
No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:ショーム, No.9:エメンタール,  
No.10:ゴータ, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-4 クラストの色相

試料	L*	a*	b*
control	31.1±0.9	12.3±0.5	10.3±0.6
No.1	32.5±0.5	12.8±0.4	10.9±0.5
No.2	31.6±0.6	12.6±0.4	10.1±0.5
No.3	31.0±0.8	12.3±0.5	9.8±0.5
No.4	29.9±1.1	11.4±0.5	9.0±0.7
No.5	25.5±0.5**	8.2±0.2**	5.1±0.1**
No.6	27.0±1.3	9.6±0.7	6.6±0.8
No.7	30.6±1.0	12.2±0.4	9.7±0.5
No.8	29.8±0.4	11.9±0.2	8.9±0.3
No.9	27.4±0.6*	9.6±0.1*	6.7±0.1*
No.10	29.0±0.3	11.0±0.4	8.1±0.4
No.11	28.5±0.0	10.7±0.2*	7.9±0.2*
No.12	28.6±0.7	10.4±0.5	7.6±0.5
No.13	26.7±0.6**	9.2±0.4**	5.9±0.4**

controlとの比較：\*p<0.05, \*\*p<0.01

平均値±標準偏差 (n=9)

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー,  
 No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ,  
 No.8:ショーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴータ, No.11:チェダー,  
 No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-5 チーズの有機酸組成

試料	含有量 (mg/100 g)							合計
	クエン酸	リンゴ酸	コハク酸	乳酸	フマル酸	酢酸	プロピオン酸	
No.1	3.8	2.9	3.6	669.4	2.3	64.7	n.d	746.6
No.2	141.6	1.2	2.0	84.7	0.8	23.4	n.d	253.8
No.3	19.1	26.4	5.1	101.2	1.5	4.5	16.6	174.4
No.4	18.0	18.0	4.6	3.8	2.4	1.9	20.1	69.0
No.5	6.5	1.1	14.5	723.2	0.6	53.4	50.7	850.0
No.6	10.4	13.4	4.5	23.5	1.5	9.3	5.9	68.4
No.7	22.3	7.2	9.2	37.8	0.5	1.6	13.8	92.5
No.8	5.2	1.3	44.1	44.6	1.7	19.4	2.8	119.1
No.9	4.5	0.4	159.8	331.8	27.3	407.5	676.6	1607.8
No.10	117.9	1.1	5.6	1197.1	5.7	39.5	2.1	1368.9
No.11	145.5	n.d	0.7	1278.2	11.5	14.6	2.5	1452.9
No.12	56.3	0.4	6.4	1624.0	6.1	61.0	35.2	1789.3
No.13	22.9	5.8	78.2	1720.2	13.6	144.1	296.4	2281.3

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,  
 No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴータ,  
 No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-6 チーズブレッドの有機酸組成

試料	含有量 (mg/100 g)							合計
	クエン酸	リンゴ酸	コハク酸	乳酸	フマル酸	酢酸	プロピオン酸	
control	32.9	62.4	54.0	9.7	5.1	20.1	n.d	184.2
No.1	30.9	57.1	50.4	38.7	5.2	18.4	n.d	200.7
No.2	40.1	56.5	51.6	11.1	4.8	22.4	n.d	186.5
No.3	32.9	60.9	50.0	14.0	5.0	26.9	t.	189.7
No.4	33.0	60.8	49.0	11.1	5.1	27.1	t.	186.1
No.5	31.9	57.5	38.8	53.1	4.9	33.9	t.	220.1
No.6	32.1	58.3	33.5	6.6	5.6	41.3	t.	177.4
No.7	32.5	58.2	48.4	11.7	4.8	24.5	t.	180.1
No.8	30.7	56.6	52.3	15.6	5.0	37.7	t.	197.9
No.9	31.5	56.6	60.0	24.9	5.4	33.8	33.3	245.5
No.10	36.7	58.1	57.5	79.8	4.7	26.0	t.	262.8
No.11	39.1	56.9	50.8	80.5	4.3	22.6	t.	254.2
No.12	31.5	54.2	49.9	107.4	4.1	23.0	t.	270.1
No.13	32.4	65.7	55.0	105.2	5.1	29.0	21.9	314.3

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

定量限界以下 t.(trace)と表記

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,

No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:ショーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴータ,

No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ



表 2-7 チーズブレッドの糖組成

試料	含有量 (g/100 g)					合計
	フルクトース	グルコース	シュークロース	ラクトース	マルトース	
control	0.85	t.	n.d	t.	1.59	2.44
No.1	0.95	t.	n.d	0.55	2.13	3.63
No.2	0.89	t.	n.d	t.	2.03	2.92
No.3	0.88	t.	n.d	t.	1.86	2.74
No.4	0.93	t.	n.d	t.	2.01	2.94
No.5	0.91	t.	n.d	t.	1.50	2.41
No.6	0.85	t.	n.d	t.	1.41	2.26
No.7	0.82	t.	n.d	t.	2.14	2.96
No.8	0.88	t.	n.d	t.	1.94	2.82
No.9	0.75	t.	n.d	t.	1.91	2.66
No.10	0.89	t.	n.d	t.	2.23	3.12
No.11	0.82	t.	n.d	t.	1.51	2.33
No.12	0.75	t.	n.d	t.	1.48	2.23
No.13	0.80	t.	n.d	t.	1.59	2.39

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

定量限界以下 t.(trace)と表記

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,  
 No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム, No.9:エメンタール,  
 No.10:ゴード, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表2-8 チーズの遊離アミノ酸組成

成分名	含有量 (mg/100 g)												
	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
アスパラギン酸	1.7	0.4	12.9	12.9	404.0	207.7	3.8	12.7	10.4	11.8	12.9	67.6	354.7
スレオニン	0.2	2.0	5.6	6.4	241.7	81.3	3.0	16.6	136.3	28.4	18.7	70.3	273.0
セリン	0.2	1.3	5.0	5.9	297.0	52.6	3.0	13.5	138.3	29.9	28.3	71.3	627.1
グルタミン酸	8.0	4.9	45.0	41.2	1219.0	478.7	26.4	139.1	903.3	202.7	139.7	560.0	2003.3
グリシン	0.1	0.7	3.7	2.9	110.3	72.4	2.0	50.4	106.7	12.3	10.8	53.1	274.3
アラニン	0.6	2.2	10.3	14.4	200.0	77.1	9.6	70.0	138.0	21.7	21.0	50.4	263.3
バリン	0.3	2.4	6.2	6.0	395.3	174.3	4.3	121.4	365.0	76.4	54.8	179.9	715.3
システイン	n.d	n.d	n.d	0.1	18.1	n.d	0.1	0.7	1.1	0.1	0.5	0.8	3.4
メチオニン	n.d	1.3	4.2	1.9	281.0	88.1	3.1	71.1	106.7	28.6	23.7	80.4	241.7
イソロイシン	0.2	1.3	4.7	3.9	309.7	128.6	2.6	72.9	201.7	20.2	13.9	124.0	614.3
ロイシン	0.5	6.1	14.1	11.6	751.3	266.3	10.9	210.0	513.7	146.7	100.9	370.3	843.7
チロシン	0.3	4.0	8.3	5.4	229.0	121.4	13.6	134.8	116.7	23.3	22.2	96.4	99.0
フェニルアラニン	0.4	4.6	9.5	5.1	404.7	157.6	9.7	147.8	276.3	112.0	95.0	164.6	466.3
ヒスチジン	0.1	2.6	6.8	6.3	226.7	56.3	23.1	52.6	99.0	12.0	8.3	48.9	245.3
リジン	1.0	9.3	25.7	21.6	859.3	233.1	18.2	217.1	533.1	64.8	56.7	278.3	1131.0
トリプトファン	0.1	0.6	1.3	0.9	95.4	35.0	3.6	33.5	21.0	3.0	5.0	4.6	36.5
アルギニン	0.2	7.1	5.9	6.1	202.0	52.5	7.9	14.7	1.7	64.9	63.9	76.8	4.2
ヒドロキシプロリン	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
プロリン	2.8	6.1	8.9	10.1	408.7	108.0	12.1	83.7	458.3	11.7	13.6	35.6	961.7
合計	16.7	56.9	178.1	162.7	6653.2	2391.0	157.0	1462.6	4127.3	870.5	689.9	2333.3	9158.1

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルーム, No.5:ダナブルーム, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム,  
No.9:エメンタール, No.10:ゴード, No.11:チェダール, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッズジャーノ

表2-9 チーズブレッドの遊離アミノ酸組成

成分名	含有量 (mg/100 g)													
	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
アスパラギン酸	2.1	1.3	3.8	8.0	8.3	28.2	27.2	4.9	13.8	14.6	12.3	11.1	16.3	34.9
スレオニン	1.1	1.0	1.2	1.6	1.5	9.6	3.9	1.4	1.9	3.3	2.2	1.7	2.2	10.4
セリン	1.0	0.9	1.0	1.3	1.2	11.8	4.3	1.1	1.4	3.5	1.9	1.3	2.0	28.2
グルタミン酸	13.0	11.0	14.3	15.9	16.6	65.3	33.9	14.4	29.2	56.8	36.7	26.0	42.7	118.0
グリシン	2.9	2.6	2.9	3.2	3.1	7.3	5.3	2.9	5.3	7.6	4.8	3.3	5.7	18.8
アラニン	2.7	2.4	3.6	5.8	5.6	21.5	17.5	4.6	15.0	20.8	13.3	9.5	12.8	26.7
バリン	0.8	0.8	1.2	2.2	1.6	21.9	13.0	1.1	11.4	19.9	11.9	8.0	13.4	40.7
システイン	0.6	0.9	0.8	1.0	0.6	1.3	1.2	0.8	0.6	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9
メチオニン	t.	0.1	0.1	0.1	0.1	10.7	2.4	0.1	2.2	2.8	1.2	0.7	1.9	9.7
イソロイシン	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	14.6	6.3	0.5	4.1	9.2	4.1	1.9	6.9	30.7
ロイシン	0.6	0.6	0.8	1.1	0.9	36.2	13.2	0.8	8.8	19.3	9.9	6.4	15.1	41.9
チロシン	0.6	0.6	1.2	1.8	1.4	19.3	7.6	1.1	7.9	7.2	4.5	3.8	6.8	7.9
フェニルアラニン	0.4	0.4	0.5	1.2	0.7	19.8	8.7	0.5	8.1	13.1	8.7	7.4	9.5	23.5
ヒスチジン	0.3	0.2	0.5	0.6	0.6	9.2	2.7	0.8	4.4	4.1	2.1	1.1	3.6	11.8
リジン	2.2	2.1	4.9	3.7	3.0	41.7	10.8	2.6	16.5	27.2	13.7	8.9	17.6	57.5
トリプトファン	1.9	1.4	2.7	3.3	3.3	5.7	4.6	2.8	4.8	4.5	4.3	3.8	3.8	4.9
アルギニン	4.3	4.4	5.8	5.4	4.7	15.7	5.8	5.0	3.6	3.6	6.7	9.8	8.1	4.7
ヒドロキシプロリン	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
プロリン	1.3	1.5	1.9	3.4	3.5	22.7	14.4	2.7	13.4	25.9	11.5	4.5	7.9	56.1
合計	36.2	32.5	47.6	60.2	57.1	362.5	182.8	48.2	152.5	244.2	150.5	110.0	177.3	527.5

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

定量限界以下 t.(trace)と表記

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム,  
No.9:エメンタル, No.10:ゴード, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-10 チーズの脂肪酸組成

成分名	含有量 (mg/100 g)							合計
	C4:0 (酪酸)	C6:0 (カプロン酸)	C8:0 (カプリル酸)	C10:0 (カプリン酸)	C12:0 (ラウリル酸)	C14:0 (ミリスチン酸)	C16:0 (ステアリン酸)	
No.1	6.6	6.6	8.1	9.1	8.7	20.7	40.9	100.6
No.2	3.1	1.8	3.7	7.3	9.4	19.7	33.0	77.9
No.3	15.0	10.7	8.4	29.9	30.4	68.3	119.6	282.1
No.4	20.8	13.8	7.9	16.9	17.3	56.2	97.8	230.8
No.5	676.2	438.1	264.6	654.1	648.8	1749.8	3478.5	7910.1
No.6	45.5	60.4	65.6	351.7	287.8	616.4	1147.2	2574.5
No.7	3.9	2.5	3.3	10.8	10.5	37.6	88.6	157.2
No.8	12.9	5.7	4.1	12.5	11.6	31.1	62.7	140.6
No.9	34.4	17.5	11.6	31.0	36.9	125.3	233.6	490.3
No.10	8.2	2.5	2.1	7.2	11.4	33.4	53.8	118.5
No.11	10.1	3.2	2.5	8.2	15.7	34.7	64.5	138.9
No.12	20.4	8.8	2.9	9.5	11.9	34.4	76.7	164.6
No.13	116.2	78.1	38.2	74.6	56.5	252.1	552.8	1168.5

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,  
 No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:ショーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴード,  
 No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-11 チーズブレッドの脂肪酸組成

成分名	含有量 (mg/100 g)							合計
	C4:0 (酪酸)	C6:0 (カプロン酸)	C8:0 (カプリル酸)	C10:0 (カプリン酸)	C12:0 (ラウリル酸)	C14:0 (ミリスチン酸)	C16:0 (ステアリン酸)	
control	n.d	1.0	1.3	8.4	4.5	65.4	177.3	257.9
No.1	2.1	1.8	2.1	9.1	7.5	73.8	182.3	278.7
No.2	1.3	1.3	1.8	9.1	6.5	77.1	181.1	278.2
No.3	3.0	1.6	1.6	10.7	8.4	68.0	199.6	293.0
No.4	4.0	2.1	1.7	9.3	7.0	69.6	176.4	270.1
No.5	63.3	26.6	15.0	45.7	23.7	114.9	367.5	656.6
No.6	46.7	40.3	35.3	128.3	59.7	182.4	827.1	1319.7
No.7	2.8	1.8	2.1	11.5	7.4	79.6	199.0	304.2
No.8	5.5	2.8	2.0	12.6	9.9	77.0	254.4	364.2
No.9	6.5	3.0	1.5	9.5	7.5	70.5	207.1	305.4
No.10	1.7	1.2	1.4	7.9	6.4	66.4	192.6	277.6
No.11	2.4	1.0	1.3	9.2	6.2	67.1	167.7	254.8
No.12	3.8	1.3	1.4	9.2	6.5	70.1	188.4	280.7
No.13	14.6	6.6	3.2	13.3	7.6	70.4	199.8	315.6

検出限界以下 n.d(not detected)と表記

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,

No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴータ,

No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

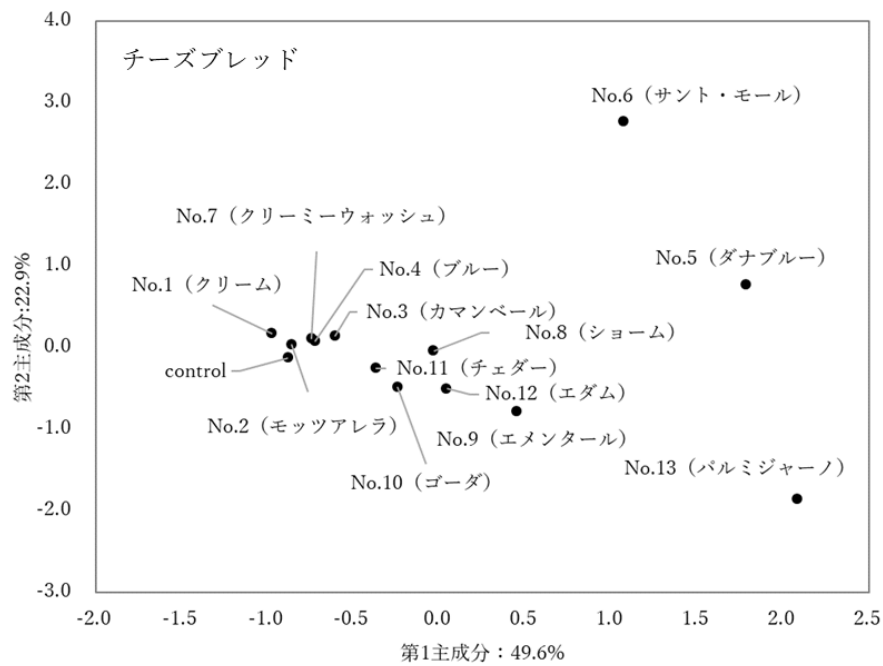
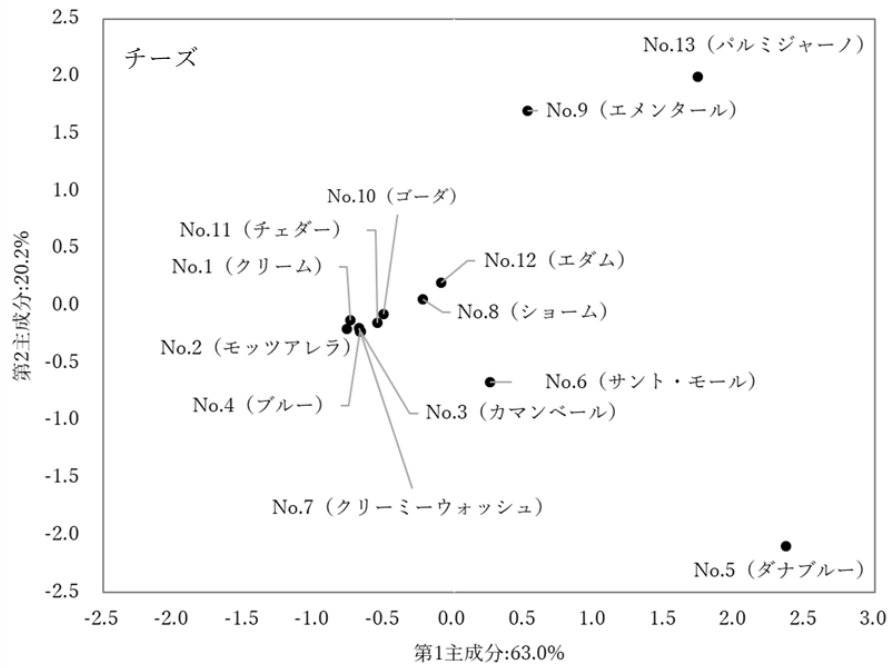


図 2-2 低分子量成分の主成分分析結果 (第 1 主成分×第 2 主成分)

表 2-12 各主成分の因子負荷量

成分名	チーズ		チーズブレッド	
	第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分
クエン酸	-0.36	-0.04	-0.30	-0.09
リンゴ酸	—	—	0.25	-0.28
コハク酸	0.41	0.71	-0.32	-0.86
乳酸	0.35	0.31	0.42	-0.54
フマル酸	—	—	0.22	0.37
酢酸	0.37	0.65	0.64	0.43
プロピオン酸	0.41	0.70	0.45	-0.50
フルクトース	—	—	-0.29	0.35
ラクトース	-0.22	-0.04	-0.28	0.05
マルトース	—	—	-0.58	-0.23
アスパラギン酸	0.93	-0.15	0.98	0.04
スレオニン	0.97	0.20	0.94	-0.15
セリン	0.85	0.39	0.83	-0.37
グルタミン酸	0.91	0.38	0.90	-0.43
グリシン	0.83	0.49	0.83	-0.47
アラニン	0.95	0.29	0.94	-0.15
バリン	0.89	0.44	0.92	-0.36
システイン	0.82	-0.49	0.65	0.49
メチオニン	0.99	0.03	0.93	-0.16
イソロイシン	0.88	0.40	0.90	-0.38
ロイシン	0.96	0.25	0.96	-0.25
チロシン	0.84	-0.18	0.84	0.14
フェニルアラニン	0.95	0.25	0.95	-0.26
ヒスチジン	0.98	0.15	0.93	-0.30
リジン	0.95	0.29	0.91	-0.39
トリプトファン	0.90	-0.35	0.83	0.02
アルギニン	0.59	-0.66	0.41	0.21
プロリン	0.83	0.52	0.87	-0.40
C4:0 (酪酸)	0.81	-0.53	0.74	0.58
C6:0 (カプロン酸)	0.82	-0.55	0.64	0.76
C8:0 (カプリル酸)	0.80	-0.59	0.52	0.83
C10:0 (カプリン酸)	0.74	-0.61	0.48	0.84
C12:0 (ラウリル酸)	0.75	-0.63	0.47	0.84
C14:0 (ミリスチン酸)	0.79	-0.59	0.47	0.86
C16:0 (ステアリン酸)	0.80	-0.58	0.47	0.83

成分を変数とした主成分分析の結果

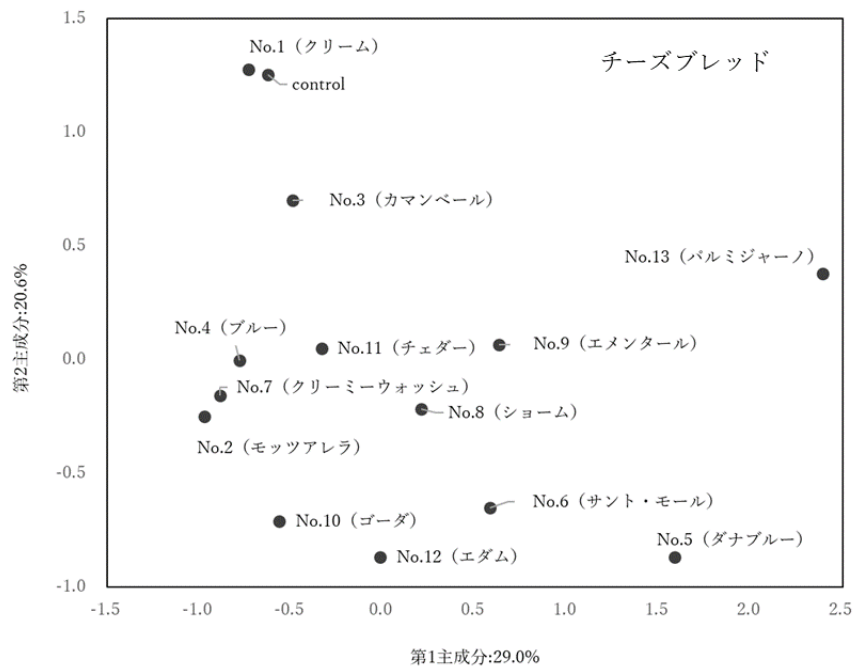
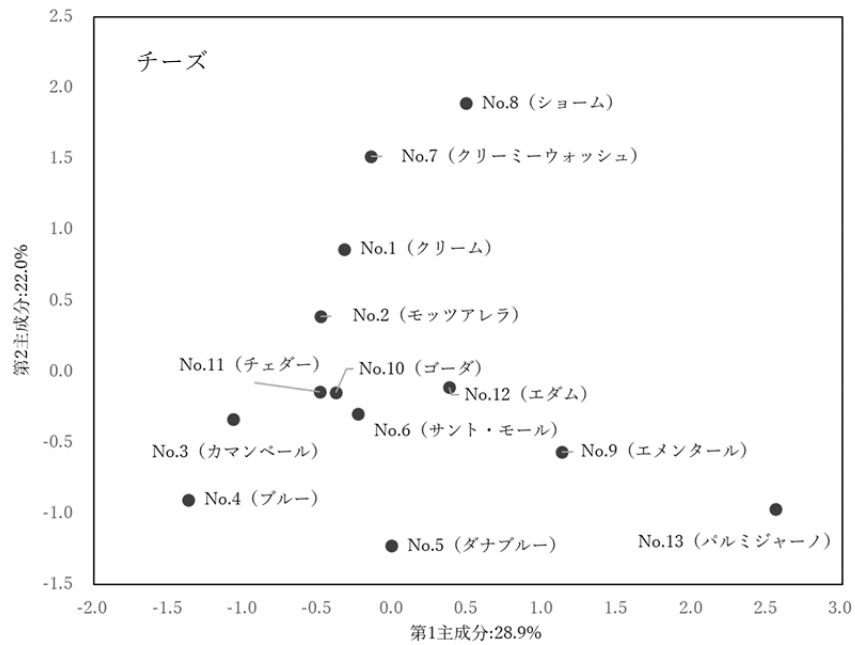


図 2-3 多成分一斉分析の主成分分析結果 (第 1 主成分×第 2 主成分)



表2-13 多成分一斉分析の各主成分の因子負荷量

チーズ		チーズブレッド	
第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分
threo-3-Hydroxy-aspartic	Myristic acid(C14)	Valine	1,3-Benzenedicarboxylic
Tyrosine	1-Hexadecanol	Phenylalanine	Fructose
Methionine sulfoxide	2-Ethylhexanoic acid	Lysine	Citramalic acid
Uric acid	Palmitic acid(C16)	Isoleucine	Myristic acid(C14)
Ornithine	Glycodeoxycholic acid	Leucine	Nonanoic acid(C9)
Isoleucine	3-Aminoisobutyric acid	Glutamic acid	Mandelic acid
Glycine	$\beta$ -n-Methyl amino	Valine	n-Propylamine
Pyroglutamic acid	Melezitose	Aspartic acid	3-Hydroxy kynurenine
Methionine sulfoxide	1-Methyladenosine	Alanine	Palmitic acid(C16)
Lysine	Maltotriose	Methionine	Panose
Phenylalanine	Stearic acid(C18)	Threonine	Maltose
Alanine	Catechol	Isoleucine	5-Methylthioadenosine
Valine	Oxamide	4-Aminobutyric acid	n-Butylamine
Cytosine	Mandelic acid	Pyroglutamic acid	Stearic acid(C18)
Glutamic acid	Sorbitol 6-phosphatic acid	Asparagine	Icosanoic acid(C20)
Threonine	n-Propylamine	Proline	5-Hydroxy tryptophan
Valine	4-Hydroxymandelic acid	Alanine	Glycerol
Propyleneglycol	Heptadecanoic acid(C17)	$\alpha$ -Phenylglycine	Creatinine
Asparagine	5-Hydroxy tryptamine	Glycine	Hydroxylysine
Proline	Galactinol	Serine	Methionine sulfoxide

成分を変量, 各試料の成分相対定量値を個体とした主成分分析の結果

表 2-14 チーズブレッドの評価用語の第一次リスト

香り (44語)	
アーモンドのような	生ごみのような
青臭い	日本酒のような
アンモニアのような	ハーブのような
イーストのような	バターのような
エタノールのような	はちみつのような
お酢のような	花のような
カビのような	フライドポテトのような
キャラメルのような	フルーティーな
牛乳のような	ポップコーンのような
こうばしい	マッシュルームのような
酵母エキスのような	味噌のような
焦げたような	メープルシロップのような
胡椒のような	焼き魚のような
小麦のような	焼き餅のような
ゴムのよう	薬品のような
酢酸のような	ヨーグルトのような
雑穀のような	練乳のような
さびた鉄のような	
脂肪酸のような	
じゃがいものような	
醤油のような	
スモークのような	
チーズ (フレッシュな) のような	
チーズ (焼いた) のような	
チョコレートのような	
漬物のような	
納豆のような	
	味 (8語)
	甘味
	塩味
	苦味
	渋味
	エグ味
	うま味
	酸味
	後味

表 2-15 選定した評価用語と定義

No.	食味要因	評価用語	定義
1		アルコールの香り	エタノールの香り
2		カビのような香り	カビが生えている食品の（好ましくない）香り
3		小麦の香り	小麦粉の生地のような香り
4		グリーンな香り	草のような香り
5	香り	酵母エキスの香り	酵母エキスのような蒸れた香り
6		乳の甘い香り	牛乳のような乳の香り
7		スモークの香り	燻製のような香り
8		こぼしい香り	焼き立てのパンのような小麦の甘い香り
9		チーズを焼いたような香り	ピザのチーズのような香り
10		甘味	砂糖の甘味、でんぶんのような噛んだ時に感じる甘味
11		塩味	食塩の味
12	味	うま味	グルタミン酸ナトリウムの味
13		エグ味	舌に残る不快な味
14		後味	飲み込んだ後に残る味

表2-16 各評価用語についての評価結果

試料	チーズを													
	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	焼いたよ うな香り	甘味	塩味	うま味	エグ味	後味
control	5.01	2.48	5.48	3.12	2.82	4.27	3.60	5.79	2.75	5.22	4.54	4.48	2.94	4.62
No.1	4.79	2.95	5.08	3.39	3.63	4.44	4.17	5.40	4.27	5.38	4.99	5.10	3.13	5.20
No.2	4.68	3.20	4.84	3.27	3.52	4.17	3.93	5.12	3.40	5.25	5.07	4.99	3.08	5.18
No.3	4.64	4.34	4.43	3.75	3.99	4.16	4.85	5.40	4.05	4.91	5.23	5.17	3.71	5.47
No.4	4.76	4.38	4.42	3.75	4.03	4.03	4.23	5.25	4.12	4.80	5.16	5.19	3.85	5.76
No.5	4.15	5.19	3.04	4.18	4.80	4.26	5.66	4.88	6.81	4.60	6.25	6.33	4.63	6.76
No.6	4.19	5.53	3.20	4.42	4.72	4.56	5.22	4.61	5.80	4.10	6.00	6.13	5.89	7.52
No.7	4.83	3.38	4.81	3.43	3.74	4.55	4.37	5.52	4.07	5.45	5.28	5.30	3.26	5.53
No.8	5.05	4.52	3.85	4.12	4.34	3.83	5.53	4.87	5.83	4.71	5.85	6.20	4.12	6.61
No.9	5.02	3.82	4.03	3.88	4.41	4.27	5.62	4.98	6.18	4.82	5.99	6.10	4.40	6.47
No.10	5.13	3.85	4.18	3.91	4.05	4.10	4.96	5.19	5.40	5.04	5.46	5.67	3.61	5.93
No.11	5.03	3.89	4.19	3.88	4.17	3.94	4.84	4.50	5.22	4.76	5.44	5.67	4.03	5.81
No.12	4.99	4.08	3.88	3.97	4.65	3.92	5.26	4.76	6.11	4.78	5.85	5.97	4.36	6.37
No.13	4.68	4.63	3.65	4.37	4.95	4.15	6.25	4.95	6.92	4.23	6.54	6.56	4.65	7.09
F値	2.28**	12.35***	13.44***	3.43***	8.52***	1.14	11.51***	3.10***	22.52***	4.82***	11.97***	12.02***	15.37***	17.73***

\*\* ; P<0.01, \*\*\* ; P<0.001

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ,

No.8:シヨーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴード, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

表 2-17 各主成分の因子負荷量

	第1主成分	第2主成分
アルコールの香り	-0.20	0.29
カビのような香り	0.64	-0.61
小麦の香り	-0.70	0.31
グリーンな香り	0.55	-0.29
酵母エキスの香り	0.77	-0.02
乳の甘い香り	0.08	0.32
スモークの香り	0.75	0.32
こうばしい香り	-0.41	0.50
チーズを焼いたような香り	0.86	0.39
甘味	-0.44	0.25
塩味	0.63	0.20
うま味	0.70	0.23
エグ味	0.71	-0.27
後味	0.78	0.10

評価項目を変数とした主成分分析の結果

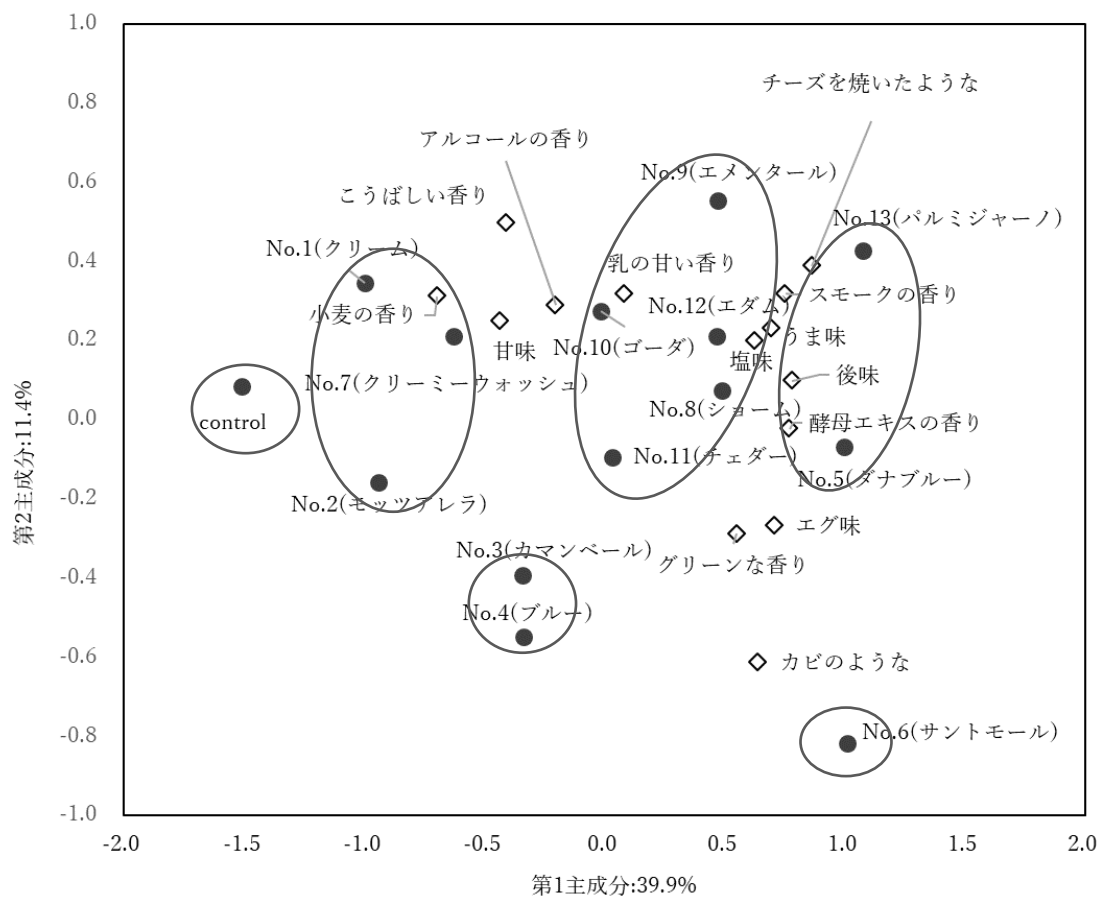


図2-4 主成分分析の結果（第1主成分×第2主成分）とクラスター分析結果

表 2-18 嗜好意欲尺度の結果

試料	嗜好意欲評価尺度 (人数割合 %)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
control	0	0	14	18	9	41	18	0	0
No.1	0	0	14	23	27	27	5	5	0
No.2	0	0	13	21	33	21	13	0	0
No.3	4	12	28	32	12	8	4	0	0
No.4	0	12	32	24	20	8	4	0	0
No.5	0	11	15	26	33	11	4	0	0
No.6	35	43	9	9	0	4	0	0	0
No.7	0	0	29	14	21	21	14	0	0
No.8	0	0	11	44	28	6	11	0	0
No.9	0	0	9	36	27	23	5	0	0
No.10	0	0	8	25	38	25	4	0	0
No.11	0	0	19	19	30	22	11	0	0
No.12	0	4	7	30	22	26	11	0	0
No.13	0	0	14	23	14	32	18	0	0

嗜好意欲評価尺度, 1 ; おそらく食べる気にはならない, 2 ; もし強制されれば食べる,

3 ; 他に何も無いときに食べる, 4 ; たまたま手に入れば食べてみる,

5 ; 時には好きだとも思うこともある, 6 ; 好きだから時々食べたい,

7 ; 機会があればいつも食べたい, 8 ; いつも食べたい, 9 ; もっとも好きな食品に入る

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール,

No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:ショーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴード, No.11:チェダー,

No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

## 2-4. 要約

ナチュラルチーズ 13 種類の成分とこれらチーズを小麦粉に対して 10 % 添加したパン生地およびパンの評価を行い、以下の結果を得た。

ナチュラルチーズを添加したパンはクラストの焼き色が濃くなり、比容積は低下したが、加えるチーズの種類によりその傾向には差があることが確認できた。パン生地のガス発生量と比容積との相関が見られなかったことから、パンの比容積の低下は、イーストに対する発酵阻害ではなくグルテンの形成阻害であると考えられた。チーズを添加したパンの品質向上のためには、(1) クラストの焼き色が濃くなりやすいために焼成温度や焼成時間の調整が必要であること、(2) 生地のガス保持力が低下することにより比容積の低下が見られるため、シスチンやビタミン C、グルコースオキシダーゼのようなグルテンの S-S 結合の形成を促進するような酸化剤や酵素の添加が必要であること、が改善方法として提案できた。

チーズとチーズブレッドの機器測定による各成分の値を分析した結果、チーズの分類にはアミノ酸と有機酸が、チーズブレッドの分類にはアミノ酸と脂肪酸の寄与が大きいことがわかった。主成分分析の結果、チーズの分類において第 1 主成分は「チーズの熟成の程度」、第 2 主成分は「発酵に用いた乳酸菌の種類とプロピオン酸菌の有無」、と解釈できた。またチーズブレッド分類において第 1 主成分はチーズと同様「配合したチーズの熟成の程度」であったが、第 2 主成分は「配合したチーズのカビ発酵の程度」、と解釈できた。熟成期間の長いチーズを配合したチーズブレッドにはアミノ酸が多く含まれ、カビ発酵を行ったチーズを使用したチーズブレッドには脂肪酸が多く含まれることがわかった。従来の機器分析による成分分析は、あらかじめどの成分を分析するべきかがわかっている場合は有用であるが、先行研究がなくどの成分に着目するべきかが不明な場合は多成分一斉分析によるメタボローム解析が有用である。チーズおよびチーズブレッドの多成分一斉分析においても、従来の成分分析では定量していない成分が検出され、これらの成分の情報からさらに研究の発展可能性も示唆された。その一方で、従来の機器分析でチーズやチーズブレッドの分類に寄与しているとされた有機酸や脂肪酸の情報が多成分一斉分析では少ないなど、多成分一斉分析の結果と従来の機器分析による成分分析の結果は必ずしも一致していなかった。このことから多成分一斉分析を利用する場合は、これらの結果から目的とする情報を選択し、その他機器分析の結果と合わせて考察する必要があると考える。

分析型パネルによる官能評価用語収集により、香り 44 語、味 8 語からなる計 52 語が得られた。この用語リストに基づき、分析型パネルによる討議の結果、チーズブレッドの官能評価に適した用語として香り 9 語、味 5 語を選定した。分散分析の結果、14 語中 13 語に試料間の有意差が見られ、これら評価用語がチーズブレッドの官能特



性の違いを表すのに有効であることがわかった。熟成期間の長いチーズを添加したパンはチーズを焼いたような香りやうま味、後味が強く、カビによる熟成を行ったチーズを添加したパンは、カビのような香りが強かった。シェーブルタイプのチーズを添加したパンはカビのような香りやグリーンな香りに加えて、エグ味も強かった。

主成分分析を行った結果、第2主成分までが意味のある主成分として抽出された。第1主成分は「チーズの濃厚感」、第2主成分は「チーズブレッドらしい香ばしさ」、と解釈できた。チーズブレッドの風味はチーズの熟成による味の強さやチーズを焼いたときのこうばしさ、小麦粉を焼いた時に生じるパンらしい香ばしさのバランスにより決定されることがわかった。試料の主成分得点と因子負荷量を用いて散布図を作成することで、チーズブレッドの風味の官能特性マッピングが得られた。

本章の結果によりチーズブレッドの製パン性を明らかにすることができ、チーズを添加することによるパンの品質低下の改善方法として、焼成時間と温度の調整、発酵時間の延長、グルテンのS-S結合形成を促進する酸化剤の利用が提案できた。またチーズとチーズブレッドの低分子量化合物の結果より、チーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズ選択は、チーズの熟成期間の違いやカビ発酵の有無であるとの指標を示すことができた。チーズの熟成期間の違いはアミノ酸量、カビ発酵の有無は脂肪酸量で説明することができた。また、チーズブレッドの官能評価用語として香り9語、味5語が選定でき、これらの評価用語により添加したチーズの種類とチーズブレッドの風味の官能特性がマッピング可能となった。本章の結果から、パンとしての品質が高く、消費者の求める風味のチーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズの選択と配合決定が容易になると考えられる。

### 第3章 チーズブレッドの風味寄与成分の解析とチーズ風味ブレッドの新規開発<sup>86</sup>

#### 3-1. はじめに

第2章において、種々のナチュラルチーズを添加して調製したチーズブレッドの風味成分として有機酸、糖、アミノ酸、脂肪酸を機器分析により定量し、アミノ酸と脂肪酸がチーズブレッドの風味成分として重要であることが明らかとなった。中でも熟成期間の長いチーズを添加したパンはチーズを焼いたような香りやうま味、後味が強く、アミノ酸が大きく寄与していることがわかった。熟成チーズの中でも特にパルミジャーノ・レッジャーノを添加したパンはこれらの特徴が際立っているが、パルミジャーノ・レッジャーノなどの熟成タイプのチーズはプロセスチーズと比較してパン生地と混合してチーズブレッドにすることは少ない。その理由としては主に二つ考えられる。一つ目の理由としては、パルミジャーノ・レッジャーノは長い熟成期間を要するため生産性が低く高価であり、パンの原料として潤沢に使うことが難しいことが挙げられる。二つ目の理由としては、チーズの発酵・熟成によって生成された風味成分、とりわけSH基を持つペプチドはグルテンのS-S結合形成を阻害すると考えられ、第2章の結果でも示されたようにパンの比容積が低下するためパンとしての品質が低下することが挙げられる。このように、熟成チーズを添加したパンの風味、すなわち、チーズを焼いたような香りやうま味、後味を有するパンを製造するには、コスト面や品質で課題がある。

コスト面においては、比較的安価な代替品としてチーズの脂肪やたんぱく質を大豆などの植物由来原料に置き換えて、澱粉や香料を補ったアナログチーズを利用する方法がある。しかし、アナログチーズは大豆の青臭さやエグ味が強く、うま味が弱いなど、熟成チーズの風味の再現には至っていない。またパンの品質改善においては、第2章の結果よりグルテンのS-S結合形成を促進するような酸化剤を主体とした製剤の利用で解決できると考えられるが、チーズ添加パンの品質改善に関する検討は行われていない。

パルミジャーノ・レッジャーノはハードチーズに分類され、製品は直径35 cmから45 cm、高さ18 cmから24 cmの円筒で重量20 kgから40 kgであり、その分析例は水分30%、脂肪28%、たんぱく質31%、食塩2.4%から3%といわれる。しかし熟成期間によってその組成は異なり、2年熟成では水分27%から32%であるが3年熟成では18%から27%に下がり、他の成分は増加する<sup>115</sup>。パンは、穀類の粉を主原料として、イースト、水、塩などを加えてつくった生地を発酵させ焼成したものであり、パンの香りは主にイーストによる発酵で生じる香りと焼成によるメイラード反応で生じる香りで形成される<sup>44</sup>。イーストによる発酵では、アルコール、アルデヒド、酸、エステル、ケトンなどが生成する<sup>45, 46, 116</sup>。メイラード反応は、焼成中にパンの表面にあたるクラストでアミノ酸と糖が特異的に反応する非酵素的反応であり、メラノイ

ジンと呼ばれる着色物質と多くの揮発性成分を生成する<sup>55</sup>。原材料にチーズを配合したチーズブレッドの風味には、チーズの成分と、イーストによる発酵で生成するアルコール類やアルデヒド類、チーズに含まれるアミノ酸とパンに含まれる糖が焼成により生じるメイラード反応物も関与している。しかし、原材料にチーズを配合した場合、チーズのどの成分が発酵や焼成によりどのように変化するのか、またチーズのどの成分が製パン工程で変化せずに残存するのか、さらにはこれらの製パン工程中に変化して生成した成分と残存した成分がチーズブレッドの官能特性にどのように影響を及ぼしているのかについては明らかにされていない。

そこで本章では、パルミジャーノ・レッジャーノを原料として配合したチーズブレッドを対象とし、パルミジャーノ・レッジャーノに含まれる成分が製パン工程を経てチーズブレッドの官能特性にどのように影響を与えているのかを検証した。まずオミッショントテストを用いて、パルミジャーノ・レッジャーノの成分から一部の成分を除いた場合のチーズブレッドの風味の変化の有無からチーズブレッドの風味に寄与する成分を抽出した。また一成分ずつ加えるアディッショントテストを用いて、オミッショントテストで抽出された成分がチーズブレッドの官能特性にどのような影響を与えているのかを検証した。これらオミッショントテストとアディッショントテストにより、チーズブレッドの風味に寄与する成分を特定することができ、これら成分の製パン工程中の変化についても明らかにすることができた。本章の知見は、パルミジャーノ・レッジャーノを配合することなく主要な成分を添加してチーズ風味ブレッドを製造する手段を提供できるため、チーズブレッド製造においてコスト面、品質面の問題点を解決できる。

## 3-2. 方法

### 3-2-1. 供試試料

量販店で購入したパルミジャーノ・レッジャーノを用いた。試料は1包装分（50g）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。

### 3-2-2. チーズの成分分析

#### (1)遊離アミノ酸分析

2-2-4 (3) に準じた。

#### (2)遊離脂肪酸分析

2-2-4 (4) に準じた。

### (3)有機酸分析

2-2-4 (1) に準じた。

#### 3-2-3. モデルチーズの調製

パルミジャーノ・レッジャーノの遊離アミノ酸，遊離脂肪酸，有機酸の定量結果に基づき，これらの成分を混合したモデルチーズを作成した。これら成分は，すべて食品添加物であり，試験には食品添加物として販売されている製品を用いた。モデルチーズはアミノ酸 18 成分，脂肪酸 7 成分，有機酸 7 成分の計 32 成分から成る。モデルチーズの組成を表 3-1 に示した。パルミジャーノ・レッジャーノ 100 g 相当量の各成分が小麦粉（カメリア，日清製粉）を含めた 30 g に含まれるように調製した。

#### 3-2-4. 製パン試験

2-2-2 に準じた。

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°C で保存した。翌日，比容積測定，テクスチャー測定，官能評価，香気成分分析に用いた。

#### 3-2-5. 比容積

2-2-3 に準じた。

#### 3-2-6. テクスチャー測定

食パンのクラムについて，テクスチャーアナライザー（EZ-SX，島津製作所）を用いて物性を測定した。クラム（n=10）の硬さは厚さ 18 mm にスライスしたパンを用い，直径 20 mm の円筒型プランジャーにより圧縮率 30 %，圧縮速度 1.0 mm/s で実施し，最大圧縮応力を求めた。

#### 3-2-7. パンの官能評価方法ならびに統計解析

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 2018-80）を得て実施した。

##### (1)パネル

2-2-6(1)に準じた。

##### (2)パンの提示方法

18 mm の厚さにスライスしたパンをポリエチレン袋に入れ，香りは袋を開けた時に感じる香り，味はクラムを咀嚼した際に感じられる味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2種もしくは3種とし，サ

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、パネリストの空腹、満腹時を避け、午前10時あるいは午後2時に開始した。1セッションは10分から20分であった。

### (3) チーズとモデルチーズを添加したパンの比較

パルミジャーノ・レッジャーノを100g(対小麦粉10%)添加したパンと、表3-1のモデルチーズ30g(対小麦粉3%)を添加したパンについて、第2章に従いチーズブレッドの官能評価用語として選定した香り9項目(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)、味5項目(甘味、塩味、うま味、エグ味、後味)による10cmのアストラクチャード線尺度法<sup>89</sup>による官能評価を実施した。

### (4) モデルチーズによるオMISSIONテスト

モデルチーズからアミノ酸全18成分を除いたもの、脂肪酸全7成分を除いたもの、有機酸全7成分を除いたもの、の3種類のオMISSIONモデルチーズを作成し、オMISSIONモデルチーズブレッドによるオMISSIONテストを実施した。オMISSIONモデルチーズにおいて除いた分量は小麦粉に置き換え、オMISSIONモデルチーズの添加量もモデルチーズと同じ30gとなるようにした。オMISSIONテストの評価項目は、上記と同じ14項目とした。同一の試験は日を変えて2回行い、1回目には半数のパネルがモデルチーズブレッドを先に、他の半数は評価試料を先にテストし、2回目にはその順序を逆にした。いずれの試験においても先に提示した試料を基準とし、後の試料を各評価項目ごとに、非常に弱い(-4)、とても弱い(-3)、やや弱い(-2)、わずかに弱い(-1)、基準と同じ(0)、わずかに強い(+1)、やや強い(+2)、とても強い(+3)、非常に強い(+4)の9段階で評価するとともに、両方のパンの風味について自由に意見を記述した。結果はモデルチーズブレッドと比較したときの評価点数となるように修正した。

### (5) アミノ酸、脂肪酸のアDITIONテスト

アミノ酸および脂肪酸の各成分を表3-1と同じ量となるよう1成分ずつ添加したアDITIONモデルチーズブレッドを調製し、オMISSIONテストと同様の方法で実施した。成分を添加しないパンをコントロールとし、同一の試験は日を変えて2回行い、1回目には半数のパネルがコントロールを先に、他の半数は評価試料を先にテストし、2回目にはその順序を逆にした。いずれの試験においても先に提示した試料を基準とし後の試料を評価した。結果はコントロールと比較したときの評価点数となるように修正した。

### (6)チーズと選抜モデルチーズを添加したパンの比較

アディクションテストの結果よりチーズブレッドの風味に寄与しているとして選抜した成分からなる選抜モデルチーズを作成した(表3-2)。パルミジャーノ・レッジャーノを100g(対小麦粉10%)添加したパンと、選抜モデルチーズ30g(対小麦粉3%)を添加したパンについて、上記14項目において線尺度法による官能評価を実施した。

### (7)統計解析

試料間の差を確認するために、一元配置の分散分析とTukeyのHSDによる多重比較を行った。添加した各成分とパンの官能特性との関係を一元的に把握するために、各評価項目を変数として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。解析は統計解析ソフトウェアSPSS Statistic ver.23.0(日本IBM)を用いた。

#### 3-2-8. パンの香気成分分析

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。

ワンローフ食パンを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°Cで凍結保存し、分析時に室温で解凍して用いた。20mL容のGC用スクリュウキャップ付バイアル瓶に試料を1g秤取りし、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ュウ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°C10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°C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°Cとした。オープン温度は40°Cで5分間保持後、100°Cまでは2°C/分、100°Cから240°Cまでは8°C/分で昇温し、240°C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°C、イオン化電圧は70eVとした。検出成分の同定は各GC/MSスペクトルをNISTデータベースと照合して決定した。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。

表 3-1 モデルチーズの組成

	成分	配合量 (g)
	アスパラギン酸	0.35
	スレオニン	0.27
	セリン	0.63
	グルタミン酸ナトリウム	2.30
	グリシン	0.27
	アラニン	0.26
	バリン	0.72
	システイン塩酸塩	0.003
アミノ酸 (18成分)	メチオニン	0.24
	イソロイシン	0.61
	ロイシン	0.84
	チロシン	0.10
	フェニルアラニン	0.47
	ヒスチジン	0.25
	リジン塩酸塩	1.41
	トリプトファン	0.04
	アルギニン	0.004
	プロリン	0.96
	C4:0 (酪酸)	0.12
	C6:0 (カプロン酸)	0.08
脂肪酸 (7成分)	C8:0 (カプリル酸)	0.04
	C10:0 (カプリン酸)	0.07
	C12:0 (ラウリル酸)	0.06
	C14:0 (ミリスチン酸)	0.25
	C16:0 (ステアリン酸)	0.55
	クエン酸	0.02
	リンゴ酸	0.01
有機酸 (7成分)	コハク酸	0.08
	乳酸	1.72
	フマル酸	0.01
	酢酸	0.14
	プロピオン酸ナトリウム	0.39
小麦粉		16.72
	合計	30.0

表 3-2 選抜モデルチーズの組成

成分	配合量 (g)
グルタミン酸ナトリウム	2.30
バリン	0.72
メチオニン	0.24
イソロイシン	0.61
ロイシン	0.84
フェニルアラニン	0.47
プロリン	0.96
C4:0 (酪酸)	0.12
小麦粉	23.74
合計	30.0

### 3-3. 結果および考察

#### 3-3-1. モデルチーズの作成とチーズとモデルチーズを添加したパンの風味比較

パルミジャーノ・レッジャーノの成分を把握するため、遊離アミノ酸、遊離脂肪酸、有機酸を機器分析により測定した。定量結果を表 3-3 に示した。定量結果に基づきアミノ酸 18 成分、脂肪酸 7 成分、有機酸 7 成分の計 32 成分から成るモデルチーズを作成した（表 3-1）。作成したモデルチーズがパルミジャーノ・レッジャーノを添加したパンの風味を再現しているかどうかを確認するため、モデルチーズまたはパルミジャーノ・レッジャーノを添加しないパンをコントロールとして比較した。

パルミジャーノ・レッジャーノを 100 g（対小麦粉 10%）添加したパン（以下チーズブレッド）と、モデルチーズを 30 g（対小麦粉 3%）添加したパン（以下モデルチーズブレッド）について、香り 9 項目、味 5 項目の合計 14 項目について、線尺度法で評価を実施した。評価結果は表 3-4 に示した。コントロールと比較してチーズブレッドは有意にカビのような香り、酵母エキスの香り、乳の甘い香り、スモークの香り、チーズを焼いたような香り、塩味、うま味、エグ味、後味が強く、小麦の香りが弱かった。チーズブレッドは、香り、味ともに特徴のある風味であることが確認できた。このようなチーズブレッドの特徴のある風味がモデルチーズで再現されたことが、すべての項目においてチーズブレッドとモデルチーズブレッドの間に有意差が認められないことから明らかとなった。



以上より、モデルチーズを構成しているアミノ酸 18 成分、脂肪酸 7 成分、有機酸 7 成分の計 32 成分をパンに添加することにより、チーズブレッドの風味の官能特性を再現できることが確認できた。

### 3-3-2. モデルチーズブレッドを用いたオミッショントテスト

モデルチーズを構成している成分のうち、アミノ酸、脂肪酸、有機酸のどの成分がチーズブレッドの官能特性に影響を与えているのかを調べるために、オミッショントテストを実施した。モデルチーズブレッドとそこからアミノ酸全 18 成分を除いたもの、脂肪酸全 7 成分を除いたもの、有機酸全 7 成分を除いたもの、の 3 種類のオミッショントモデルチーズブレッドを調製し、官能評価を行った（表 3-5）。モデルチーズブレッドの点数を 0 点として集計した。アミノ酸 18 成分を全て除くことにより、小麦の香りが強くなり、カビのような香り、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、塩味、うま味、エグ味、後味は有意に弱くなった。脂肪酸 7 成分を全て除いた場合も、アミノ酸を除いた結果と同じく小麦の香りが強くなり、カビのような香り、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、塩味、エグ味、後味が有意に弱くなった。アミノ酸を除いた場合はうま味が弱くなったが、脂肪酸ではうま味の強さに差は見られず、うま味に対してはアミノ酸が寄与していることが確認できた。一方、有機酸 7 成分を全て除いてもモデルチーズブレッドと有機酸オミッショントモデルチーズブレッドの風味に有意な差は見られなかった。

以上のことから、モデルチーズの成分のうち、アミノ酸と脂肪酸は風味への寄与が大きく、有機酸は風味への寄与は少ないことが明らかとなった。

### 3-3-3. アディッショントテストによるアミノ酸、脂肪酸のパンの風味への影響

オミッショントテストにより、アミノ酸と脂肪酸がチーズブレッドの風味の官能特性への寄与が大きいと確認されたため、次にアミノ酸および脂肪酸の各成分を 1 成分ずつ添加したアディッショントモデルチーズブレッドを調製し、官能評価を実施した。

アミノ酸のアディッショントテストの結果を表 3-6、脂肪酸のアディッショントテストの結果を表 3-7 に示した。無添加のパンを 0 点としており、点数が正の場合は特性が強くなっていること、点数が負の場合は特性が弱くなっていることを示している。表 3-6 と表 3-7 の結果を見やすくするため、有意に特性が強くなった評価項目のあった 8 成分と、有意に特性が弱くなった評価項目のあった 10 成分を抜粋し表 3-8 にまとめた。その結果アディッショントテストにより特性が強くなるだけでなく、弱くなる成分もあることが確認された。モデルチーズブレッドの官能評価を示した表 3-4 の結果において、コントロールとチーズブレッドの間に香り 4 項目（アルコールの香り、グリーンな香り、乳の甘い香り、こうばしい香り）に有意な差は認められていない。それにも関わらずアディッショントテストではこれら 4 項目の特性を強める成分が確認され

たことから、特性を強める成分がある一方、特性を弱める成分もあることがわかった。例としてグリーンな香りは乳の香りやこうばしい香りなどのその他の成分で弱められた可能性があり、このように成分の組み合わせによりパンの風味が決定されることは新たな知見である。

アディクションテストの結果、風味特性を弱める効果を有する成分と強める効果を有する成分が認められたが、特性を強める効果を持つ成分の方がチーズブレッドの風味形成に大きく寄与していると考え、以下に有意に風味特性を強めた8成分について考察した。

グルタミン酸ナトリウムは、こうばしい香り、塩味、うま味、後味への寄与が大きかった。グルタミン酸とグルコースを加熱し、褐変させた時にはカラメル匂い、焦げた砂糖の匂いが生じるとの報告があるが<sup>117</sup>、パンに添加した場合にも同傾向のこうばしい香りが強くなることがわかった。また、グルタミン酸ナトリウムは強いうま味を有していることが知られているが、アディクションテストによりパンにおいてもうま味を付与することが確認できた。

バリンはアルコールの香り、スモークの香り、チーズを焼いたような香りへの寄与が大きかった。

メチオニンはアルコールのような香り、カビのような香り、グリーンな香り、スモークの香り、うま味、エグ味と多くの風味への寄与が大きかった。これらの風味を強める効果がある一方で乳の甘い香りは弱くなった。このようなアミノ酸はメチオニンのみであり、カビのような香りとグリーンな香りが乳の甘い香りを弱める効果があったと考えられる。メチオニンは苦味と甘味を有する<sup>118</sup>が、パンに添加した際にはうま味を強める効果があった。

イソロイシンはアルコールの香り、うま味への寄与が大きかった。イソロイシンは苦味を有する<sup>118</sup>が、パンに添加した際にはうま味を強める効果が認められた。

ロイシンは、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、塩味、うま味、後味への寄与が大きく、点数もその他のアミノ酸と比較して大きかった。ロイシンも苦味を有するアミノ酸である<sup>118</sup>が、パンに添加した際にはうま味を強める効果があった。ロイシンは、香り、味ともに強める効果があり、チーズブレッドの風味の再現に大きく寄与していると考えられた。パンはイーストの発酵で生じるエタノールによるアルコールの香りが感じられるが、バリン、メチオニン、イソロイシンの添加でさらにアルコールの香りは強く感じられた。

フェニルアラニンはアルコールの香りへの寄与が大きかった。評価項目以外に、香りとして「花のような、はちみつのような華やかな香り」がするとコメントされた。華やかな、と評された香りにより、小麦の香りは弱められたと考えられた。

プロリンは酵母エキスの香り，スモークの香り，こうばしい香り，うま味への寄与が大きかった．評価項目以外に，「ポップコーンのような，ピーナッツのような香り」がするとコメントされた．プロリンは甘味，苦味を有する<sup>118</sup>が，パンに添加した際にはうま味を強める効果があった．酪酸は乳の甘い香り，チーズを焼いたような香りへの寄与が大きかった．酪酸は乳脂肪に含まれる脂肪酸であり，乳由来の特徴的な香りに寄与していると考えられた．

以上のアディクションテストの結果を主成分分析により解析した．各評価項目を変数として，分散共分散行列を用いた主成分分析を行った．各評価項目に対する因子負荷量を表 3-9 に示した．寄与率は第 1 主成分から第 3 主成分まででそれぞれ 28.1 %，12.1 %，8.9 %であった．図 3-1 に第 1 主成分と第 2 主成分から構成される散布図を示した．各主成分に対する因子負荷量に着目して，成分の解釈を行った．第 1 主成分については，うま味 (0.78)，塩味 (0.78)，チーズを焼いたような香り (0.73) の因子負荷量が多いことから「チーズの濃厚感」と解釈した．第 2 主成分はこうばしい香り (0.55)，小麦の香り (0.48)，乳の甘い香り (0.42) の因子負荷量が多いことから「パンらしい香ばしさ」と解釈した．第 3 主成分は，アルコールの香り

(0.44)，甘味 (0.44) の因子負荷量が多いことから「発酵香」と解釈した．「チーズの濃厚感」にはロイシン，グルタミン酸ナトリウム，バリンが，「パンらしい香ばしさ」にはグルタミン酸ナトリウム，プロリン，酪酸が，「発酵香」にはイソロイシン，グルタミン酸ナトリウム，フェニルアラニンが大きく寄与しており，どの風味においてもグルタミン酸ナトリウムの役割が大きいことがわかった．チーズブレッドの風味は，「チーズの濃厚感」，「パンらしい香ばしさ」，「発酵香」のバランスにより決定されることがわかる．

#### 3-3-4. 選抜 8 成分のパンの風味への影響と製パン性の比較

アディクションテストにおいて，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，酪酸の 8 成分は官能特性を有意に強める効果が認められた．これらの 8 成分でチーズブレッドの風味が再現できるかどうかを確認するために，8 成分のみから構成される選抜モデルチーズブレッドを作成し，チーズブレッドとの風味を比較した (表 3-10)．その結果チーズブレッドと 8 成分から構成される選抜モデルチーズブレッドの風味は，香り 9 項目，味 5 項目において有意差は認められず，これら 8 成分でチーズブレッドの風味を再現できることが確認できた．

次にコントロール，チーズブレッド，選抜モデルチーズブレッドのパンの品質を評価するために，比容積とクラムの圧縮応力を測定し表 3-11 に示した．チーズブレッドはコントロールと比較して比容積は約 85 %と有意に低下した．チーズの添加によりパンの比容積が低下することは経験的に知られているが，本実験により数値として捉

えることができた。一方選抜モデルチーズブレッドにおいて比容積の低下は見られず、チーズブレッドの比容積の低下の要因は選抜モデルチーズの8成分以外の成分であることがわかった。チーズは熟成に伴いたんぱく質が分解し遊離アミノ酸やペプチドが増加する<sup>99, 100, 101</sup>。チーズに含まれる還元性のペプチドがS-S結合に由来するグルテンの形成を阻害しイーストが生成するガスの保持力が低下することにより、比容積は低下するのではないかと考えられた。

クラムの圧縮応力はコントロールと比較してチーズブレッドで有意に大きかった。圧縮応力が大きいということは、チーズブレッドのクラムはコントロールよりも硬いと推察される。一方、選抜モデルチーズブレッドの圧縮応力はコントロールと有意差はなかったことから、クラムの硬さは同等であると考えられた。チーズブレッドはパンの比容積の低下やクラムの硬さの上昇が認められるが、選抜チーズブレッドはこれらの製パン性を損なうことなくチーズブレッドの風味を再現できることが示された。

### 3-3-5. 選抜8成分とパンの揮発性成分との関係

各成分を添加することによりパンの揮発性成分がどのように変化するかを確認するために、一成分ずつ加えたアディクションモデルチーズブレッドとコントロールの揮発性成分を測定した。アディクションモデルチーズブレッドとコントロールの揮発性成分を比較し、各成分を添加することにより増加した成分を抜粋して表3-12に示した。バリンの添加により2-メチルプロパナールと2-メチルプロパノール、メチオニンの添加により3-メチルチオ-1-プロパノール、ロイシンの添加により3-メチルブタナールと3-メチルブタノール、フェニルアラニンの添加により2-フェニルアセテート、 $\beta$ -フェネチルアルコールの増加が認められた。これらの成分は、*Saccharomyces cerevisiae*がエールリッヒ経路を経て生成するアルデヒド類やアルコール類であった<sup>47, 119, 120, 121, 122, 123</sup>。エールリッヒ経路ではイソロイシンから2-メチルブタナールと2-メチル-1-ブタノールが生成すると報告されている。本研究で用いたGC/MS分析法では3-メチル-1-ブタノールと2-メチル-1-ブタノールを分離することができない。イソロイシンの添加により3-メチル-1-ブタノールが増加しているが、実際は2-メチル-1-ブタノールの可能性が考えられる。またバリン、イソロイシン、ロイシンの添加により増加したアルデヒド類はメイラード反応でも生成すると報告されている成分であった<sup>124, 125</sup>ことから、これらのアルデヒドはイーストの発酵とメイラード反応の両方で生じたと考えられた。

バリン、イソロイシンを添加したパンはアルコールの香りが強いと評価されたが、その理由としてこれらのアルコール類が増加したためと考えられた。ロイシンを添加したパンがカビのような香り、グリーンな香りが強くなった理由には、加熱したキュウリのような香りを有する3-メチルブタナール<sup>44</sup>の関与が考えられた。メチオニンを添加したパンからはじゃがいものような香りを有する3-メチルチオ-プロパノール<sup>44</sup>が

検出され、この成分がグリーンな香りとして感じられたと確認できた。フェニルアラニンを添加したパンは「花のような、はちみつのような華やかな香り」が感じられると官能評価においてコメントされたが、本実験においてははちみつのような香りを有する $\beta$ -フェネチルアルコール<sup>44</sup>が増加していたことから、 $\beta$ -フェネチルアルコールが生成した結果、パンの香りに対するこのようなコメントにつながったと考えられた。

グルタミン酸ナトリウムは、添加することによりパンのこうばしい香りが強くなったにも関わらず、コントロールと比較して大きく増加する揮発性成分はなかった。グルタミン酸ナトリウムを添加したパンに寄与する揮発性成分についてこれまで報告がなく、今後は成分の捕集方法の変更などさらなる検討が必要と考える。

プロリンについては、パンに添加することで2-アセチル-1-ピロリンがメイラード反応で生成し、クラストにこうばしい香りを付与するとの報告がある<sup>53</sup>が、本研究では検出されなかった。しかし、プロリンを添加したパンは官能評価においてポップコーンのような、ピーナッツのような、と表現される2-アセチル-ピロリンの香りに相当する香りが感じられたことから、プロリンの添加により2-アセチル-ピロリンが生成されたと推測される。パンからの2-アセチル-1-ピロリンの検出報告は多くある<sup>116, 126, 127</sup>が、これらの揮発性成分の捕集方法は本研究の捕集方法よりも揮発性成分の濃縮の程度が大きいため検出できたと考えられる。酪酸は乳脂肪由来の酸化臭を有する成分であるが<sup>44</sup>、添加によりパンからも検出された。

チーズブレッドの風味形成について以下のように考察した。グルタミン酸ナトリウムは、チーズブレッドのこうばしい香りとうま味に寄与した。酪酸は乳の甘い香りの付与に寄与した。バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、フェニルアラニンはイーストの発酵によりアルデヒド類やアルコール類を生成し、またメイラード反応でアルデヒド類を生成することでチーズブレッドの風味に寄与した。プロリンは本研究で成分を特定することはできなかったが、メイラード反応によるこうばしい香りの生成に寄与した。これら8成分を組み合わせてパン生地に添加することにより、「チーズの濃厚感」、「パンらしい香ばしさ」、「発酵香」に寄与する風味が生成することが明らかとなった。またこの8成分を添加してもパンの比容積の低下や硬さの上昇が見られなかった。これらの結果は、8種類の成分の添加によりパンの品質を変えずにチーズ添加ブレッドと同等の風味を持つチーズ風味ブレッドの調製が可能であることを示している。

8成分によるチーズ風味ブレッドはチーズを使用するチーズブレッドと比較して、コスト面で負担がなく、チーズの供給量に左右されず安定的に製造でき、チーズを使用することによる比容積の低下がない、というメリットがある。ナチュラルチーズを使用したチーズブレッドの製造は大手製パンメーカーでは製造することが難しかったが、本知見を利用することで大手製パンメーカーでも良好なチーズ風味ブレッドが製造できるようになると考えられる。チーズ風味ブレッドの製造には、これら8成分を

配合するという方法だけでなく、アミノ酸を多く含む酵母エキス、たん白加水分解物、熟成食品（味噌、醤油、酒粕など）や脂肪酸を多く含む発酵バター、酵素分解チーズ、香料を組み合わせて配合するという方法も考えられる。また、チーズを使用せずにチーズ風味ブレッドの製造が可能になるため、乳アレルギー患者やビーガン（完全菜食主義者）にもチーズ風味ブレッドを提供出来る。以上のように、8成分でチーズ風味ブレッドが製造できるという本知見は、新たな市場を開拓できると考える。

表 3-3 パルミジャーノ・レッジャーノの成分

	成分	含有量 (mg/100 g)
アミノ酸 (18成分)	アスパラギン酸	354.7
	スレオニン	273.0
	セリン	627.1
	グルタミン酸	2003.3
	グリシン	274.3
	アラニン	263.3
	バリン	715.3
	システイン	3.4
	メチオニン	241.7
	イソロイシン	614.3
	ロイシン	843.7
	チロシン	99.0
	フェニルアラニン	466.3
	ヒスチジン	245.3
	リジン	1131.0
	トリプトファン	36.5
	アルギニン	4.2
	プロリン	961.7
脂肪酸 (7成分)	C4:0 (酪酸)	116.2
	C6:0 (カプロン酸)	78.1
	C8:0 (カプリル酸)	38.2
	C10:0 (カプリン酸)	74.6
	C12:0 (ラウリル酸)	56.5
	C14:0 (ミリスチン酸)	252.1
	C16:0 (ステアリン酸)	552.8
有機酸 (7成分)	クエン酸	22.9
	リンゴ酸	5.8
	コハク酸	78.2
	乳酸	1720.2
	フマル酸	13.6
	酢酸	144.1
	プロピオン酸	296.4

表 3-4 モデルチーズブレッドの官能評価結果

	コントロール	チーズブレッド	モデルチーズブレッド
アルコールの香り	4.6 ± 1.0 <sup>a</sup>	4.6 ± 1.2 <sup>a</sup>	4.4 ± 1.3 <sup>a</sup>
カビのような香り	3.4 ± 1.4 <sup>a</sup>	4.9 ± 1.2 <sup>b</sup>	4.9 ± 1.2 <sup>b</sup>
小麦の香り	6.0 ± 1.3 <sup>a</sup>	3.8 ± 1.1 <sup>b</sup>	3.8 ± 1.0 <sup>b</sup>
グリーンな香り	4.0 ± 1.4 <sup>a</sup>	4.5 ± 1.3 <sup>a</sup>	4.6 ± 1.1 <sup>a</sup>
酵母エキスの香り	3.6 ± 1.0 <sup>a</sup>	5.4 ± 0.9 <sup>b</sup>	5.4 ± 0.9 <sup>b</sup>
乳の甘い香り	4.1 ± 1.3 <sup>a</sup>	4.5 ± 1.3 <sup>a</sup>	4.8 ± 1.4 <sup>a</sup>
スモークの香り	3.7 ± 1.3 <sup>a</sup>	5.8 ± 1.2 <sup>b</sup>	5.8 ± 1.2 <sup>b</sup>
こうばしい香り	5.0 ± 1.4 <sup>a</sup>	5.3 ± 1.3 <sup>a</sup>	5.5 ± 1.2 <sup>a</sup>
チーズを焼いたような香り	3.0 ± 1.1 <sup>a</sup>	6.6 ± 1.3 <sup>b</sup>	6.6 ± 1.0 <sup>b</sup>
甘味	5.4 ± 0.8 <sup>a</sup>	4.6 ± 1.5 <sup>b</sup>	5.0 ± 1.2 <sup>ab</sup>
塩味	4.7 ± 0.8 <sup>a</sup>	6.2 ± 1.0 <sup>b</sup>	6.2 ± 0.6 <sup>b</sup>
うま味	4.5 ± 1.1 <sup>a</sup>	6.6 ± 1.1 <sup>b</sup>	7.0 ± 0.9 <sup>b</sup>
エグ味	3.4 ± 1.2 <sup>a</sup>	4.5 ± 1.5 <sup>b</sup>	4.7 ± 1.6 <sup>b</sup>
後味	4.4 ± 1.1 <sup>a</sup>	6.5 ± 1.0 <sup>b</sup>	6.6 ± 0.9 <sup>b</sup>

有意水準5%のTukeyのHSDによる多重比較

異なるアルファベット間に有意差あり

平均値±標準偏差



表 3-5 オミSSIONモデルチーズを用いたオミSSIONテストの結果

評価項目	除いた成分		
	アミノ酸 (18成分)	脂肪酸 (7成分)	有機酸 (7成分)
アルコールの香り	-0.47±1.21	-0.11±0.58	0.42±0.79
カビのような香り	-0.74±1.32 **	-1.05±1.04 ***	-0.39±0.85
小麦の香り	1.24±1.08 ***	0.68±1.08 **	0.18±1.13
乳の甘い香り	-0.53±0.97	-0.32±1.02	0.22±0.42
酵母エキスの香り	-1.05±1.07 ***	-0.65±1.10 **	-0.46±0.90
スモークの香り	-1.40±1.24 ***	-0.72±0.91 ***	0.00±1.00
こうばしい香り	-0.42±0.64	-0.33±0.58	0.10±0.45
チーズを焼いたような香り	-2.28±0.91 ***	-1.17±1.34 ***	-0.54±1.37
甘味	0.23±0.54	0.35±0.61	0.21±0.49
塩味	-1.03±0.61 ***	-0.47±0.68 ***	-0.11±0.81
うま味	-1.22±1.52 ***	-0.37±1.22	0.21±1.26
エグ味	-0.57±1.03 **	-0.40±0.71 **	-0.04±0.67
後味	-1.57±1.19 ***	-0.62±1.08 **	0.21±1.01

モデルチーズブレッドとの比較：\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

平均値±標準偏差

表3-6 アミノ酸のアディクションテストの結果

評価項目	Asp	Thr	Ser	Glu·Na	Gly	Ala	Val	Cys·HCl	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Lys·HCl	Trp	Arg	Pro
アルコールの香り	0.21	0.08	-0.27	0.17	0.43	0.08	0.69*	0.33	0.50*	1.40**	0.50	-0.17	0.60*	-0.57	0.17	0.25	-0.67*	-0.15
カビのような香り	0.14	0.08	-0.18	-0.08	0.21	0.33	0.31	0.30	1.21**	0.50	1.58***	-0.08	0.36	0.29	0.17	0.33	0.00	0.08
小麦の香り	-0.36	0.13	-0.18	0.04	0.21	-0.50*	-0.62	0.00	-0.67	-0.60	-1.25**	-0.50*	-0.64*	-0.14*	-0.25	-0.08	0.33	0.08
グリーンな香り	0.21	0.08	0.36	0.04	0.25	0.29	0.31	-0.08	0.92**	0.40	1.08**	0.25	0.29	0.07	0.17	0.00	0.42	0.00
酵母エキスの香り	-0.07	0.17	0.00	0.08	-0.14	0.00	0.38	0.33	0.58	-0.40	1.25**	-0.17	0.29	0.07	0.00	0.33	-0.08	0.38*
乳の甘い香り	0.07	-0.25	-0.09	0.29	0.18	0.00	-0.08	-0.17	-0.75*	-0.10	-0.17	-0.33	-0.43	-0.21	0.17	0.08	0.08	-0.15
スモークの香り	-0.21	0.00	0.36	0.08	0.11	-0.33	0.77*	0.17	0.42*	-0.10	1.50**	0.17	-0.14	-0.36	0.33	0.33	0.25	0.31*
こうばしい香り	-0.21	-0.33	0.18	1.08*	0.50	-0.25	0.54	0.08	-0.42	-0.50	0.75	0.25	-0.21	-0.86	0.55	0.50	0.50	1.23*
チーズを焼いたような香り	-0.07	0.00	0.00	0.17	0.07	0.00	0.92*	-0.08	0.08	-0.25	1.50*	0.00	0.29	-0.14	0.25	0.08	0.00	0.23
甘味	0.29	0.00	-0.36	0.00	0.14	0.25	-0.38	-0.08	0.08	0.70	-0.67	0.25	0.07	-0.14	-0.33	0.17	0.17	-0.23
塩味	-0.14	-0.25	0.00	1.04**	0.11	-0.25	0.08	-0.50	-0.08	0.10	0.58**	0.08	0.21	-0.43	0.25	0.17	-0.17	0.08
うま味	0.00	0.13	0.18	1.42**	0.43	-0.46**	0.46	-0.83**	0.54*	0.80*	1.17*	0.17	0.21	0.07	0.17	0.58	0.17	0.54*
エグ味	0.07	-0.08	-0.09	0.08	-0.07	0.08	-0.08	0.08	0.75*	0.00	0.50	-0.08	0.36	-0.07	0.00	0.08	0.33	0.15
後味	0.14	-0.08	0.00	1.00**	0.25	-0.13	0.54	-0.33	0.67	0.40	1.25**	0.00	0.50	-0.14	0.00	0.42	0.00	0.31

コントロールとの比較：\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

表3-7 脂肪酸のアディクションテストの結果

評価項目	C4:0 (酪酸)	C6:0 (カプロン酸)	C8:0 (カプリン酸)	C10:0 (カプリン酸)	C12:0 (ラリジン酸)	C14:0 (パルミチン酸)	C16:0 (ステアリン酸)
アルコールの香り	-0.33*	0.36	0.17	0.15	0.17	0.27	0.00
カビのような香り	-0.08	0.55	0.17	0.08	0.00	0.23	0.00
小麦の香り	-0.17	-0.36	-0.08	-0.38	0.08	0.08	-0.10
グリーンな香り	-0.08	0.18	0.08	0.15	0.08	0.23	0.10
酵母エキスの香り	0.42	0.45	-0.17	0.00	0.08	0.00	0.20
乳の甘い香り	0.92**	0.27	0.08	-0.54*	-0.17	-0.35	-0.20
スモークの香り	0.00	-0.09	0.08	0.08	0.17	0.08	0.10
こうばしい香り	0.17	-0.45	0.33	0.23	0.08	0.46	0.00
チーズを焼いたような香り	0.75**	0.18	0.08	0.15	0.21	0.08	0.20
甘味	0.42	-0.55*	0.33	-0.23	0.08	-0.38	-0.20
塩味	0.17	0.18	0.08	-0.31*	0.08	-0.12	0.10
うま味	0.58	0.27	0.25	-0.38	-0.08	0.15	0.10
エグ味	0.17	0.36	0.00	-0.15	0.08	0.08	-0.20
後味	0.25	0.55	0.25	0.00	-0.17	0.15	0.10

コントロールとの比較：\*p<0.05, \*\*p<0.01

表3-8 アディクションテストにより風味特性に影響を与えた成分

評価項目	Glu・Na	Ala	Val	Cys・HCl	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	His	Arg	Pro	C4:0	C6:0	C10:0
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	+		+		+		++					+			
こげばしい香り												+			
チーズを焼いたような香り			+				+						++		
甘味															
塩味	++						++								-
うま味	++	--	--	--	+		+					+			
エグ味					+										
後味	++						++								

コントロールとの比較：+正の方向に有意差あり，+p<0.05，++p<0.01，+++p<0.001，

-負の方向に有意差あり，-p<0.05，--p<0.01

表 3-9 各主成分の因子負荷量

評価項目	第1主成分	第2主成分	第3主成分
アルコールの香り	0.03	-0.07	0.44
カビのような香り	0.48	-0.59	-0.14
小麦の香り	-0.43	0.48	-0.12
グリーンな香り	0.34	-0.50	-0.11
酵母エキスの香り	0.60	-0.31	-0.20
乳の甘い香り	0.23	0.42	0.08
スモークの香り	0.66	-0.02	-0.42
こうばしい香り	0.60	0.55	-0.41
チーズを焼いたような香り	0.73	-0.02	-0.25
甘味	0.05	0.41	0.44
塩味	0.52	0.17	0.28
うま味	0.78	0.16	0.38
エグ味	0.41	-0.25	0.14
後味	0.78	-0.02	0.34

評価項目を変数とした主成分分析の結果

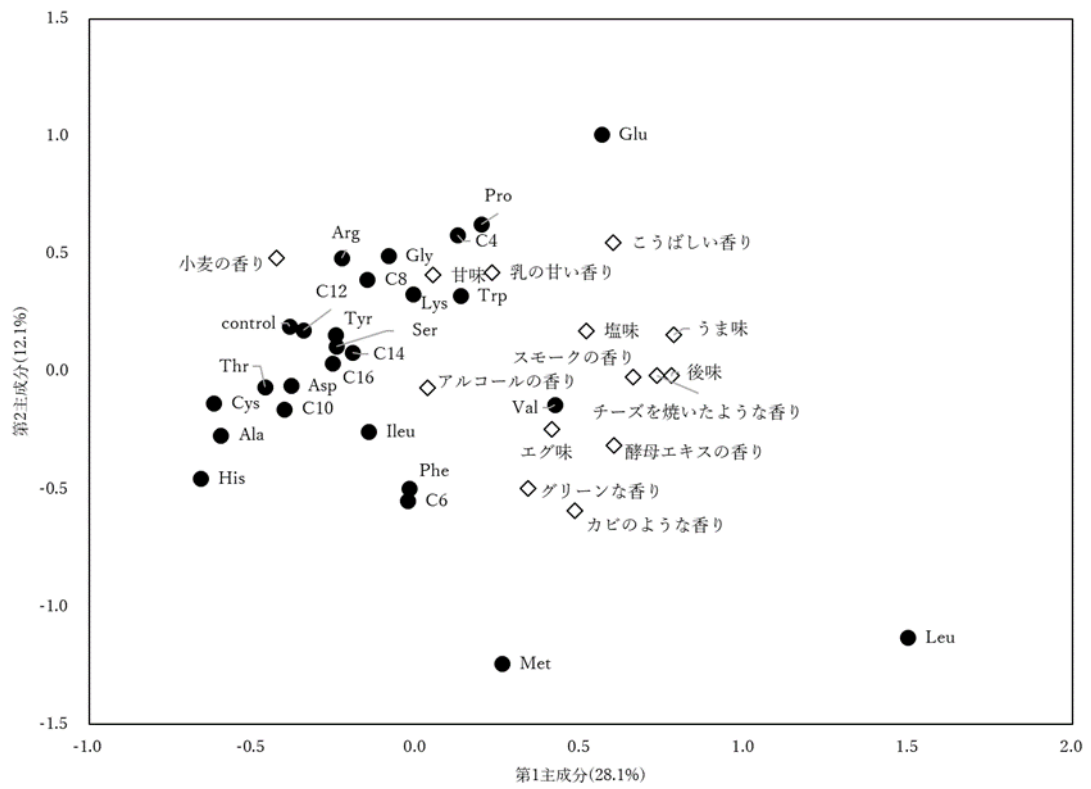


図 3-1 主成分分析の結果 (第 1 主成分×第 2 主成分)

表 3-10 選抜モデルチーズブレッドの官能評価結果

	チーズブレッド	選抜モデルチーズブレッド
アルコールの香り	5.9 ± 1.0	6.0 ± 1.2
カビのような香り	5.7 ± 0.9	5.4 ± 1.1
小麦の香り	3.6 ± 1.0	3.9 ± 0.9
グリーンな香り	5.0 ± 1.6	4.9 ± 1.4
酵母エキスの香り	6.4 ± 1.1	6.1 ± 1.4
乳の甘い香り	4.4 ± 1.3	4.9 ± 1.2
スモークの香り	6.3 ± 0.8	6.2 ± 1.0
こうばしい香り	5.9 ± 1.5	6.0 ± 1.1
チーズを焼いたような香り	7.1 ± 1.0	7.0 ± 0.6
甘味	5.3 ± 1.3	5.4 ± 1.2
塩味	6.8 ± 0.9	6.5 ± 0.7
うま味	7.1 ± 0.9	7.3 ± 0.7
エグ味	5.7 ± 0.9	5.5 ± 1.1
後味	6.9 ± 1.0	6.5 ± 0.9

表 3-11 パンの比容積とクラムの圧縮応力

試験区	比容積 (mL/g)	圧縮応力(g/cm <sup>2</sup> )
チーズブレッド	4.40±0.04 <sup>a</sup>	56.8±6.9 <sup>a</sup>
選抜モデルチーズブレッド	5.14±0.08 <sup>b</sup>	51.2±5.7 <sup>b</sup>
コントロール	5.19±0.07 <sup>b</sup>	50.8±3.7 <sup>b</sup>

有意水準5%のTukeyのHSDによる多重比較

同一列内で異なるアルファベット間に有意差あり

平均値±標準偏差



表3-12 選抜8成分の添加により増加した揮発性成分

化合物名	保持時間 (分)										
	control	Glu·Na	Ile	Leu	Met	Phe	Pro	Val	C4:0		
2-Methyl propanal	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	0.01		
2-Methyl butanal	0.01	0.01	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01		
3-Methyl butanal	0.01	0.02	0.08	0.62	0.01	0.00	0.00	0.03	0.02		
2-Methyl-1-propanol	0.12	0.02	0.04	0.15	0.10	0.17	0.19	0.77	0.15		
3-Methyl-1-butanol	1.18	1.46	10.34	17.72	1.25	1.51	2.20	1.60	1.39		
Cyclohexanol (I.S.)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
Benzaldehyde	0.04	0.05	0.13	0.17	0.00	1.17	0.03	0.06	0.02		
Butanoic acid	0.00	0.00	0.13	0.15	0.06	0.00	0.03	0.02	1.35		
Benzeneacetaldehyde	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00		
3-(Methylthio)-1-propanol	0.00	0.00	0.00	0.00	4.37	0.00	0.00	0.00	0.00		
2-phenylethyl acetate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00		
$\beta$ -phenethyl alcohol	0.27	0.12	0.33	0.29	0.64	19.69	0.63	0.21	0.20		

各成分のピーク面積/内部標準ピーク面積

### 3-4. 要約

パルミジャーノ・レッジャーノを添加したチーズブレッドの風味に寄与する成分について、アミノ酸、脂肪酸、有機酸からなる 32 成分モデルチーズを用いた評価を実施した。チーズブレッドの風味に対して、モデルチーズから成分を取り除いて評価するオミSSIONテストにより、アミノ酸、脂肪酸の寄与が大きいこと、さらに、各成分を添加して評価するアディSSIONテストにより、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、酪酸が風味に影響していることが確認できた。これら 8 成分を添加することによりパルミジャーノ・レッジャーノを添加したパンの風味に関する官能特性を再現できた。

各成分が官能特性にどのような影響を与えているのかを把握するため、アディSSIONテストの結果を主成分分析で解析したところ、第 1 主成分は「チーズの濃厚感」、第 2 主成分は「パンらしい香ばしさ」、第 3 主成分は「発酵香」と解釈でき、これらの風味特性のバランスでチーズブレッドの風味が形成されていることが確認できた。グルタミン酸ナトリウムはうま味だけでなく、チーズブレッドの風味形成に大きな役割を果たしていた。

揮発性成分の分析結果より、バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、フェニルアラニンを添加することにより、イーストの発酵により生成するアルデヒド類やアルコール類、メイラード反応で生成するアルデヒド類が増加しており、これら成分がチーズブレッドの風味を形成していると考えられた。

本章の検討により、チーズブレッドの風味に寄与する 8 成分を特定することができ、これら 8 成分をパン生地に添加することで、チーズブレッドの風味を再現することを確認した。またその製パン性はチーズブレッドよりも良好であったことから、従来のチーズブレッドよりも良好な品質のチーズ風味ブレッドを作成する手段を提案できた。これらの 8 成分でチーズブレッドの風味を再現できるという本章の知見を利用することにより、これら 8 成分から成るチーズ風味ブレッド用の添加物製剤の使用や、これらの 8 成分を含む酵母エキス、たんぱく加水分解物や香料を組み合わせることで、チーズ風味ブレッドの製造が可能となる。これらの方法を活用することにより、チーズの供給量に左右されることなく安定的に、またコスト面にも配慮したチーズ風味ブレッドが作成できるため、大手製パンメーカーにおいてもナチュラルチーズを添加して製造したような風味のチーズ風味ブレッドが製造でき、消費者に提供できるようになると考えられる。また、チーズを使用することなくチーズ風味ブレッドが作成できるため、乳アレルギー患者やビーガンにもチーズ風味ブレッドを提供することが可能となる。本研究の結果は、新たなチーズ風味ブレッドの市場開拓につながると思う。

## 第4章 色彩を用いたチーズブレッドの香り評価のアプローチ<sup>128, 129</sup>

### 4-1. はじめに

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<sup>130, 131, 41, 132, 133</sup>. 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<sup>41</sup>, 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<sup>133</sup>. 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, その結果を訓練された分析型パネル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, 分析型パネル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を用いて官能評価値を推定するという研究も盛んに行われている<sup>134, 135, 136, 137, 138, 139</sup>. 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<sup>41, 43</sup>, 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<sup>140, 141</sup>. 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研究者以外の第三者に伝えることも難しい.

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<sup>142, 143, 144, 145, 146, 147</sup>. 妹尾らは12種の単品香料を用いた評価により, 香りが「強い」, 「重い」, 「濃い」, 「刺激がある」, 「キツイ」といった香りの力量性を表す用語と色の濃さを表す明度に相関が見られたことから, 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<sup>145</sup>. またシャンプー製品においては香りの嗜好性と香りからイメージされる色彩との関係を見たところ, 香りの嗜好性の高い製品は色彩として赤が選ばれる傾向があるなど, 色度と嗜好性との間に相関が見られている<sup>142</sup>. 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. 第3章において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た. 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分析型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分析型パネル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.

本章の目的は、パンの香りを評価する手法に対するアプローチの一つとして、チーズブレッドの香りのイメージを色彩に置き換えて評価するとともに香気成分との関係について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パッケージデザインを通じて一般消費者にわかりやすく伝える従来にはない新しい手段を提供できる可能性があると考えられる。

## 4-2. 方法

### 4-2-1. 供試試料

香りの質と強度が異なる香りモデルブレッドは、表 4-1 の成分を添加することにより調製した。添加する成分と濃度はパンに含まれる成分<sup>148, 57, 149</sup>の中から抜粋し、予備試験により成分を添加しないパンと比較してパンの香りの違いが認識できることを確認して設定した。成分は食品添加物として販売されている製品を用い、安全データシート情報から添加量についても安全性に問題ないことを確認した。

チーズブレッドの調製に用いた供試試料は 2-2-1 と同じ。

### 4-2-2. パンの調製

2-2-2 に準じた。

### 4-2-3. 香りモデルブレッドおよびチーズブレッドの官能評価方法ならびに統計解析

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) パネル

分析型パネルは三菱商事ライフサイエンス研究開発グループの所員 14 名（男性 8 名：20 歳代 3 名，30 歳代 4 名，50 歳代 1 名，女性 6 名：20 歳代 2 名，40 歳代 2 名，50 歳代 2 名）を用い、11 名以上の参加により評価を実施した。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。

#### (2) 香りモデルブレッドの提示方法

18 mm の厚さにスライスしたパンをポリエチレン袋に入れ、袋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。なお、評価に用いたパンはパンの膨らみを示す比容積やパンの中心部分であるクラム及び上部表面であるクラスト部分の色に差が認められなかったため、透明な袋に入れて評価した。香りモデルブレッドの評価は 1 セッションにつき提示する試料のパンはコントロールと試験区の 2 種とし、試料にはランダムな 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、パネリス

トの空腹，満腹時を避け，午前 10 時あるいは午後 2 時に開始した．1 セッションは 10 分から 20 分であった．

### (3) チーズブレッドの提示方法

試料としたパンの上部表面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を取り除いたのち，18 mm の厚さにスライスし，8 等分した 4 片を 250 mL 容のガラス瓶に入れ蓋を閉めた．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．チーズブレッドの評価は 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，試料にはランダムな 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，パネリストの空腹，満腹時を避け，午前 10 時あるいは午後 2 時に開始した．1 セッションは 5 分から 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．

### (4) 香りモデルブレッドの評価方法

各成分を表 4-1 の配合量にて小麦粉に添加したパンを調製し，第 2 章に従いチーズブレッドの官能評価用語として選定した香り 9 項目（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）と香りの嗜好性を含めた計 10 項目による官能評価を実施した．香り 9 項目は評価項目ごとに，非常に弱い (-4)，とても弱い (-3)，やや弱い (-2)，わずかに弱い (-1)，基準と同じ (0)，わずかに強い (+1)，やや強い (+2)，とても強い (+3)，非常に強い (+4) の 9 段階評定尺度法で評価させた．香りの嗜好性は，非常に好ましくない (-4) から非常に好ましい (+4) と設定した．また両方のパンの香りについて自由に意見を記述させた．同一の試験は日を変えて 2 回行い，1 回目には半数のパネルにコントロールを基準に，他の半数には添加区を基準にテストさせ，2 回目にはその順序を逆にした．結果はコントロールと比較したときの評価点数となるように修正した．

### (5) 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，明度 5 色：明度 1，明度 2，明度 3，明度 4，明度 5）と無彩色 5 色（白から黒）の合計 35 色を番号をつけた．新配色カード 199 を 3 cm×4 cm の大きさに切り取り，A4 用紙に配置しラミネートした（図 4-1）．パネルはすべての試験において白色蛍光灯下のオフィス内で評価を実施した．パネルはパンの袋をあけた時に感じる香り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．パネル 1 名の持ち点を 1 点とし，1 色選択の場合は 1，2 色選択の場合は 0.5 と換

算し、各色相および各明度の割合((各色相または明度の合計値/パネル累計人数)×100)を求めた。評価結果は表 4-2 のように分類し集計した。

#### (6)パッケージカラーの作成とパンの提示方法

チーズブレッドの色彩評価の結果よりパッケージカラーを作成した(図 4-2)。コントロール、No.1(クリーム)、No.13(パルミジャーノ)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 4-2 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 4-3)<sup>144</sup>。

#### (7)統計解析

色彩パターンの相関性、色相、明度と官能評価の相関性、色相、明度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。色相と明度、添加した成分との関係を一元的に把握するために、色相と明度を変数として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。VAS 値は試料間の差を確認するために、一元配置の分散分析と Tukey の HSD による多重比較を行った。解析は SPSS Statistic ver.23.0 (日本 IBM) を用いた。

#### 4-2-4. チーズブレッドの揮発性成分分析

3-2-8 に準じた。

表 4-1 添加した成分と添加量

試験区	添加した成分	添加量 (g/小麦粉1 kg)
1 コントロール	-	-
2 Glu 0.1 %	グルタミン酸ナトリウム	1
3 Glu 0.2 %		2
4 Asp 0.1 %	アスパラギン酸ナトリウム1水和物	1
5 Asp 0.2 %		2
6 Pro 0.1 %	プロリン	1
7 Pro 0.2 %		2
8 Orn 0.05 %	オルニチン塩酸塩	0.5
9 Orn 0.1 %		1
10 酪酸0.005 %	酪酸	0.05
11 酪酸0.01 %		0.1
12 DIA 0.025 %	ジアセチル	0.25
13 DIA 0.05 %		0.5
14 Lac 2 %	乳糖	20
15 Lac 5 %		50

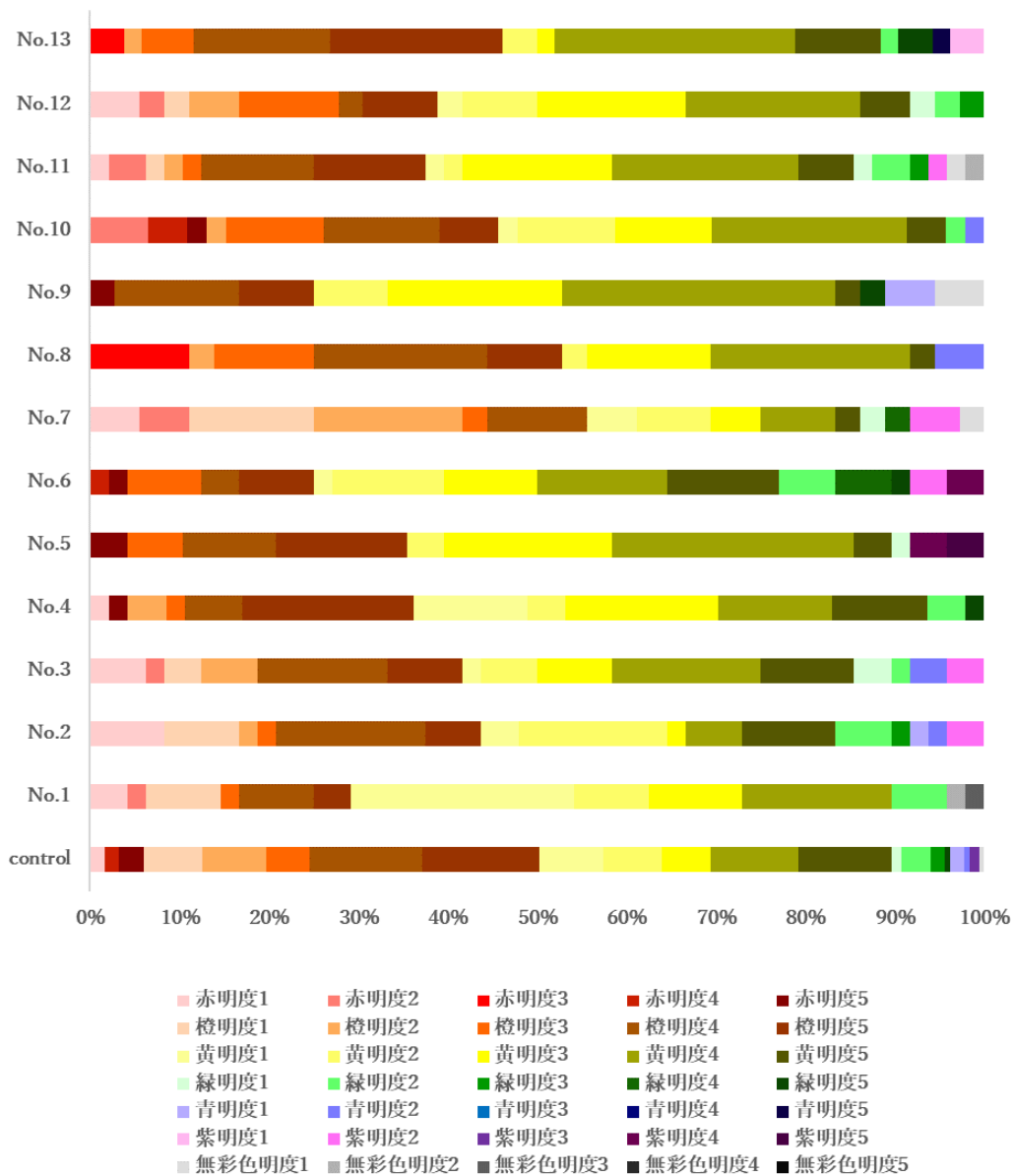


图 4-1 色票



表 4-2 用いた色と分類

色	明度1	明度2	明度3	明度4	明度5
赤	p2 <sup>+</sup>	lt2 <sup>+</sup>	V2	dp2	dk2
橙	p4 <sup>+</sup>	lt4 <sup>+</sup>	V4	dp4	dk4
黄	p8 <sup>+</sup>	lt8 <sup>+</sup>	V8	dp8	dk8
緑	p12 <sup>+</sup>	lt12 <sup>+</sup>	V12	dp12	dk12
青	p18 <sup>+</sup>	lt18 <sup>+</sup>	V17	dp18	dk18
紫	p22 <sup>+</sup>	lt22 <sup>+</sup>	V22	dp22	dk22
無彩色	W	Gy-7.5	Gy-4.5	Gy-3.0	Bk



No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン  
 No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー,  
 No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:ショーム, No.9:エメンタール,  
 No.10:ゴータ, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:バルミジャーノ・レッジャーノ

図4-2 チーズブレッドの香りのパッケージカラーイメージ

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。

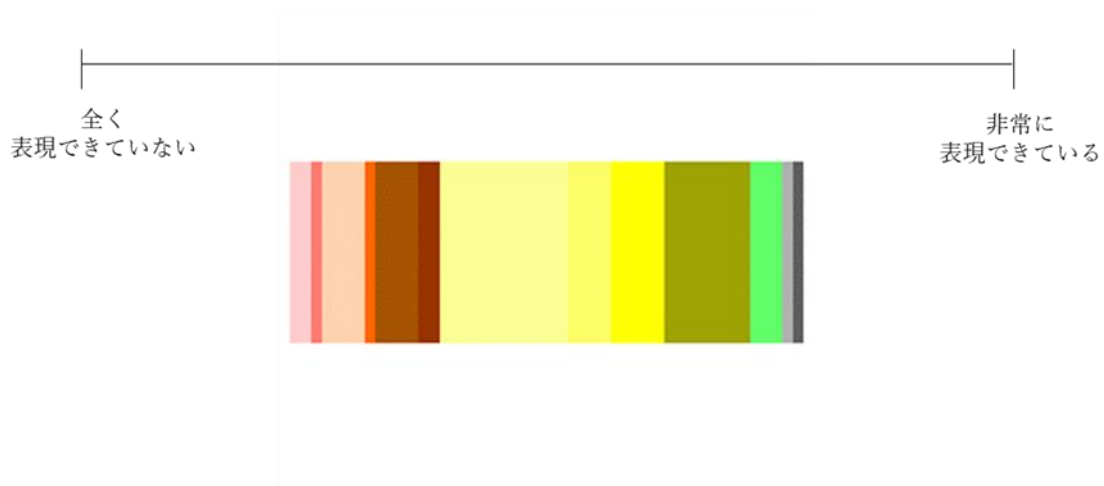


図 4-3 VAS 法による官能評価用紙

### 4-3. 結果および考察

#### 4-3-1. 香りモデルブレッドの風味の全体像の把握

香りモデルブレッドの香りを把握するために、香り 9 項目と香りの嗜好性を含めた 10 項目について非常に弱い (-4) から非常に強い (+4) または非常に好ましくない (-4) から非常に好ましい (+4) の 9 段階評定法で官能評価を実施した。各評価項目に対する平均値を表 4-3 に示した。成分を添加せずに調製したコントロールと比較した場合、10 語中 8 語の評価用語にいずれかの試料との間に有意差 ( $p < 0.05$ ) が見られ、各評価用語は試料の香りの特徴を表現するものであることを確認できた。この結果は、添加した成分により香りの強さや質が異なるパンを調製できたことを示すものである。またこれら試料の香りの嗜好性に有意差はなかった。

試料と評価用語との関係を一元的に把握するために、各評価項目を変数として、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4主成分まで意味のある主成分として抽出された。各評価項目に対する因子負荷量を表4-4に示した。寄与率は第1主成分21.7%、第2主成分19.8%、第3主成分13.3%、第4主成分11.2%であり、この4成分で66%を説明できた。第1主成分と第2主成分の寄与率の合計が41.5%と低いことから、香りモデルブレッドの香りの違いは大きくないと読み取れた。図4-4に第1主成分と第2主成分から構成される散布図を示した。各主成分に対する因子負荷量に着目して軸の解釈を行った。第1主成分はこうばしい香りの因子負荷量が多いことから「焼成によるパンのこうばしさ」と解釈した。第2主成分はスモークの香りの因子負荷量が多いことから、「焼成による焦げ感」と解釈した。第3主成分は乳の甘い香りやチーズを焼いたような香りの因子負荷量が多いことから、「乳原料由来の香り」、第4主成分はアルコールの香りの因子負荷量が多いことから、「パンの発酵感」と解釈した。

各試料の主成分得点(表4-5)と因子負荷量の結果より、パンの香りにおいて、アスパラギン酸ナトリウムは「焼成によるパンの香ばしさ」、グルタミン酸ナトリウムは「焼成による焦げ感」、酪酸は「乳原料由来の香り」、に寄与していると読み取れ、これら試料の香りの特徴を把握することができた。

#### 4-3-2. 香りモデルブレッドの香りの色相と明度

香りモデルブレッドの香りからどのような色をイメージするかを色票から香りのイメージに合う色を選択させ、集計した。試料の香りの色彩パターンの特徴を把握するため色相別、明度別に集計し表4-6に示した。各試料の色彩パターンの相関係数はすべて正の方向に有意差( $P<0.05$ )が見られた。このことから、パンの香りからイメージされる色彩は類似していることがわかった。色相の割合を見ると、コントロールの色相は橙61.2%、明度は明度4の27.2%が一番高く、これがパンの香りイメージの色彩であることがわかった。酪酸0.01%を除くすべての試料において、橙の占める割合が多いことから、パンの香りイメージの色相は橙であると推測された。酪酸は他の試料と比較して黄の割合が多かった。酪酸はチーズや発酵バターなど乳製品に含まれる成分である。パンの香りにおいて酪酸は「乳原料由来の香り」をイメージさせ、色相は黄として認識されることが示唆された。

明度の割合を見ると、プロリン、オルニチン塩酸塩、乳糖はコントロールよりも明度4の占める割合が多く、香りに対するコメントより「アーモンドのような香り」、「ポップコーンのような香り」が関与していると考えられた。グルタミン酸ナトリウムとアスパラギン酸ナトリウムは明度5の占める割合が多く、「焼成によるパンのこうばしさ」や「パンの焦げ感」が強いことが明度5の占める割合の高さにつながったと考えられた。酪酸とジアセチルは明度3の占める割合が多かった。「チーズのような香り」、「バターのような香り」、「キャラメルのような香り」、「メープルシロ

ップのような香り」がするとのコメントから、明度3にはこれらの香りが関与していると考えられた。

パンの香りの色彩評価において、パネルが選択した色を色相と明度に分類し比較することにより、香りの違いは色相と明度の違いとして捉えることができる可能性がある。9段階評定尺度法による官能評価と色彩評価の結果を組み合わせることにより、パンの香りの特徴の判断が容易となる可能性が示唆された。

#### 4-3-3. 香りモデルブレッドの色相、明度と官能特性との相関

色彩と官能評価用語の関係性を見るために、色相別、明度別に分類した割合の結果と9段階評定尺度法による官能評点との相関係数を求めた(表4-7)。色相または明度との相関係数において両者ともに有意差( $P < 0.05$ )が見られなかった項目は、アルコールの香り、小麦の香りであり、その他の官能評価用語は色相や明度と相関が見られた。橙はカビのような香り、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た。パンの香りは橙の占める割合が多く、橙はパンの香りのイメージの代表的な色相であるが、これらの香りが強すぎないバランスのとれた香りがパンの香りであることが読み取れた。黄は酵母エキスの香り、乳の甘い香り、チーズを焼いたような香りと正の相関が見られ、乳原料に由来する香りのイメージであることが読み取れた。青はグリーンな香りと正の相関、嗜好性と負の相関が見られた。青は食欲を減退させる色として知られるが、グリーンな香りはパンの香りとしては好ましくないことを表していると考えられる。小麦の香りは明度4と負の相関があり、スモークの香り、こうばしい香りは明度5と相関があることから、焼成によって生じる香りは明度の高い方向で評価されると読み取れた。またグリーンな香り、酵母エキスの香り、乳の甘い香り、のような焼成とは関係のない香りは明度4、明度5とは負の相関となり、これらの香りはこうばしい香りを弱めていると考えられた。以上のことから、パンの香りを表す評価用語と色相、明度との間には関連性があることが示唆された。

本検討により、種々の成分を添加したパンの香りの特性として、9段階評定尺度法を用いて10語により評価することができた。また、パンの香りの評価方法の新しい試みとして色彩を用いて評価したところ、パンの香りのイメージは橙を中心として表現され、乳由来の香りは黄、焼成で生じる香りは明度4、明度5と明度の高い方向で表現された。香りのイメージから色彩を選ぶ本評価法を利用することによりパンの香りを言葉だけでなく視覚化できる可能性が示唆され、色彩の利用は消費者にもわかりやすくパンの香りを伝える手段として応用できると考えられる。

#### 4-3-4. チーズブレッドの香りの色相と明度

上記のように香りモデルブレッドを用いた検討により、パンの香りを色彩で評価することが可能であると考えられたため、チーズブレッドにおいても同様に色彩を用いた評価を実施した。チーズブレッドにおいても官能評価により得られた香りの色彩パターンの特徴を把握するため、色相別、明度別に集計した(表 4-8)。色相別に見ると、チーズを添加せずに調製したパンであるコントロールは橙、黄の割合が多く、香りモデルブレッドの評価時と同様、パンの香りは橙や黄として表現されていた。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 (クリーミーウォッシュ)、8 (ショーム)、13 (パルミジャーノ) 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 (サント・モール) のみ緑の占める割合が 14.6 % と高くシェーブブル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なっている<sup>143</sup>のに対し、チーズブレッドの香りほ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。

明度別に見ると、コントロールは明度 3 の 13.1 % が最も低く、明度 5 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。コントロールは明度別の違いが小さいことが特徴であった。40 % を上回る明度は、試料 5 (ダナブルー)、8 (ショーム)、9 (エメンタール)、13 (パルミジャーノ) の明度 4 であった。試料 5 (ダナブルー)、8 (ショーム)、9 (エメンタール)、13 (パルミジャーノ) は表 2-8 に示したように比較的遊離アミノ酸含量が多い。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 (ダナブルー)、9 (エメンタール)、13 (パルミジャーノ) で有意に L\*値が低く、焼き色が濃いことがわかっている(表 2-4)。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明度 4 として表れたと考えられる。

表 4-9 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 (クリーミーウォッシュ) に対する試料 4 (ブルー)、5 (ダナブルー)、6 (サント・モール)、13 (パルミジャーノ) 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 (クリーミーウォッシュ) はその他の試料と比較して明度 1 と明度 2 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。

#### 4-3-5. チーズブレッドの香りの色相、明度の全体像の把握

試料と色相、明度との関係を一元的に把握するために、色相と明度を変数として、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4-5に、色相と明度に対する因子負荷量を表4-10に示した。各主成分に対する軸の解釈のため、第3章の香り9用語による線尺度法の官能評価点数と色相、明度との相関係数を表4-11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、正の方向に明度1(0.87)、明度2(0.86)の因子負荷量が大きかった。明度1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。明度2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。また明度1と明度2の占める割合が40%を上回った試料は試料1(クリーム)、2(モッツァレラ)、3(カマンベール)、7(クリーミーウォッシュ)であり、これらは遊離アミノ酸量が少ないチーズ(表2-8)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(クリーム)、2(モッツァレラ)、3(カマンベール)、7(クリーミーウォッシュ)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主成分は明度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ならず、「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、明度と色相の2成分により平面上で表現され、明度は「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<sup>145</sup>。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するのは難しいと考えられる。

本章の検討により、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可能性が示された。

#### 4-3-6. チーズブレッドの香りの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チーズブレッドの香りを表現可能なパッケージカラーが作成できるかどうかを検証するために、チーズブレッドの香りのパッケージカラーの

イメージを作成した (図 4-2)。パネルはパンの香りのイメージに合致する色を選択しているため、選ばれた色に対して意味があると考えられる。コントロールは、大きく占める色がなく、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 (クリーム) は黄明度 1 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 (ダナブルー)、8 (ショーム)、9 (エメンタール)、10 (ゴード)、11 (チェダー)、13 (パルミジャーノ) は黄明度 4 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、黄明度 4 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 (クリーム)、試料 13 (パルミジャーノ) 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及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 値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 4-6 に示した。コントロール、試料 1 (クリーム)、試料 13 (パルミジャーノ) 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 値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 4-7 に示した。コントロールのパッケージカラーに対しては、3 種類のパンにおいて VAS 値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 (クリーム)、試料 13 (パルミジャーノ) 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を示唆された。

#### 4-3-7. チーズブレッドの揮発性成分

チーズブレッドの揮発性成分を測定し、トータルイオンクロマトグラム相対定量値 (内部標準であるシクロヘキサノールのピーク面積を 100 とした場合の各ピーク面積割合) を表 4-12 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成分がデータベースにより検出できた。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<sup>47, 119, 121, 122</sup>。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(ダナブルー)、9(エメンタール)、12(エダム)、13(パルミジャーノ)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<sup>45, 125</sup>。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(ダナブルー)、6(サント・モール)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<sup>106, 107</sup>。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(エメンタール)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(ダナブルー)、6(サント・モール)で多く検出された。試料5(ダナブルー)、6(サント・モール)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<sup>46, 48</sup>。

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<sup>150, 104</sup>、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（ダナブルー）、6（サント・モール）、13（バルミジャーノ）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<sup>151, 152, 153, 137</sup>。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。

#### 4-3-8. チーズブレッドの揮発性成分と色相、明度との関係

揮発性成分と色彩との関係を見るために、成分群に分類した揮発性成分と、色相別、明度別に集計した色彩データとの相関係数を求めた（表 4-13）。揮発性成分と有意（ $P < 0.05$ ）な相関が見られたのは、紫、明度 1、明度 2、明度 4 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（ダナ・ブルー）、6（ショーム）の 8.3% と少ない（図 4-2）。

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。

明度別に見ると、明度 1 はアルデヒド類、複素環式化合物類と負の相関があった。明度 2 はアルデヒド類と負の相関があった。一方明度 4 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明度は高くなると考えられる。しかし、明度 4 より明度の強い明度 5 とは相関が見られず、チーズブレッドの焼成香は明度 4 として表れていた。チーズブレッドの揮発性成分と色彩による官能評点と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可能性が示唆された。

本章の検討により、分析型パネルによる色彩を用いた官能評価によりチーズブレッドの香りが評価できる可能性が示唆された。パンの香りの質と強度の違いは色相と明度のパターンから視覚化できる可能性がある。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、焼成で生じる香りは明度 1、明度 2 よりも明度の高い明度 4 で表現された。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る可能性が考えられた。ただし、嗜好型パネルに受け入れられる

かどうかについてはパネル数を増やして検証が必要である。色彩による香りの評価結果は、揮発性成分とも関連性が見られた。

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。パンの香りを色彩で評価可能であるかどうかについては、パンの種類やパネル数を増やして検証する必要があるが、香りの新たな評価方法の一つとして提案できた。

表4-3 香りモデルブレットの9段階評点尺度による結果

試験区	アルコール のような 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	嗜好性
1 コントロール	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 Glu0.1%	0.11	0.11	-0.07	0.37*	0.19	-0.22	0.63***	0.63**	0.04	-0.15
3 Glu0.2%	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.14	-0.21	0.57**	0.79***	0.00	0.29
4 Asp0.1%	-0.07	0.00	0.26	0.07	-0.04	-0.11	0.41*	0.22	-0.04	0.26
5 Asp0.2%	-0.04	-0.08	-0.19	-0.19	0.12	0.12	0.42**	1.00***	0.08	0.35
6 Pro0.1%	-0.09	0.19	0.07	0.04	0.04	0.33**	-0.06	0.37	0.15	0.00
7 Pro0.2%	-0.14	-0.24	-0.33	-0.14	-0.14	0.24	-0.29	0.24	-0.29*	0.57
8 Orn 0.05 %	-0.22	-0.09	-0.39	-0.09	0.04	0.04	0.17	0.52	0.04	0.57
9 Orn 0.1 %	-0.54*	0.00	-0.46*	0.04	0.05	0.04	0.57*	0.93***	0.11	0.29
10 酪酸0.005 %	-0.09	0.36	-0.27	0.05	0.50*	0.45	0.14	-0.14	0.73*	-0.05
11 酪酸0.01 %	-0.04	0.21	-0.50*	0.39*	0.57**	0.54**	0.43*	-0.21	0.61*	0.00
12 DIA 0.025 %	0.04	0.17	0.04	-0.08	0.13	0.21	0.00	0.42	0.04	0.33
13 DIA 0.05 %	0.04	0.30	-0.81***	0.41	0.13	-0.11	0.26	0.26	0.07	-0.44
14 Lac 2 %	0.25	0.00	0.25	0.04	-0.08	0.04	-0.04	-0.13	0.04	-0.13
15 Lac 5 %	0.04	0.08	0.17	-0.08	0.04	0.13	0.00	0.08	0.04	0.08

コントロールとの比較 \* ; P<0.05, \*\* ; P<0.01, \*\*\* ; P<0.001

表 4-4 香りモデルブレッドの各主成分の因子負荷量

評価項目	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
アルコールのような香り	-0.02	0.10	-0.08	0.78
カビのような香り	-0.54	0.34	0.18	0.10
小麦の香り	0.44	-0.32	-0.39	0.50
グリーンな香り	-0.41	0.34	-0.15	0.30
酵母エキスの香り	-0.33	0.60	0.34	0.21
乳の甘い香り	0.39	-0.16	0.70	0.02
スモークの香り	0.05	0.81	-0.20	0.02
こうばしい香り	0.69	0.59	-0.19	-0.18
チーズを焼いたような香り	-0.10	0.48	0.63	0.25
嗜好性	0.87	-0.10	0.20	0.13

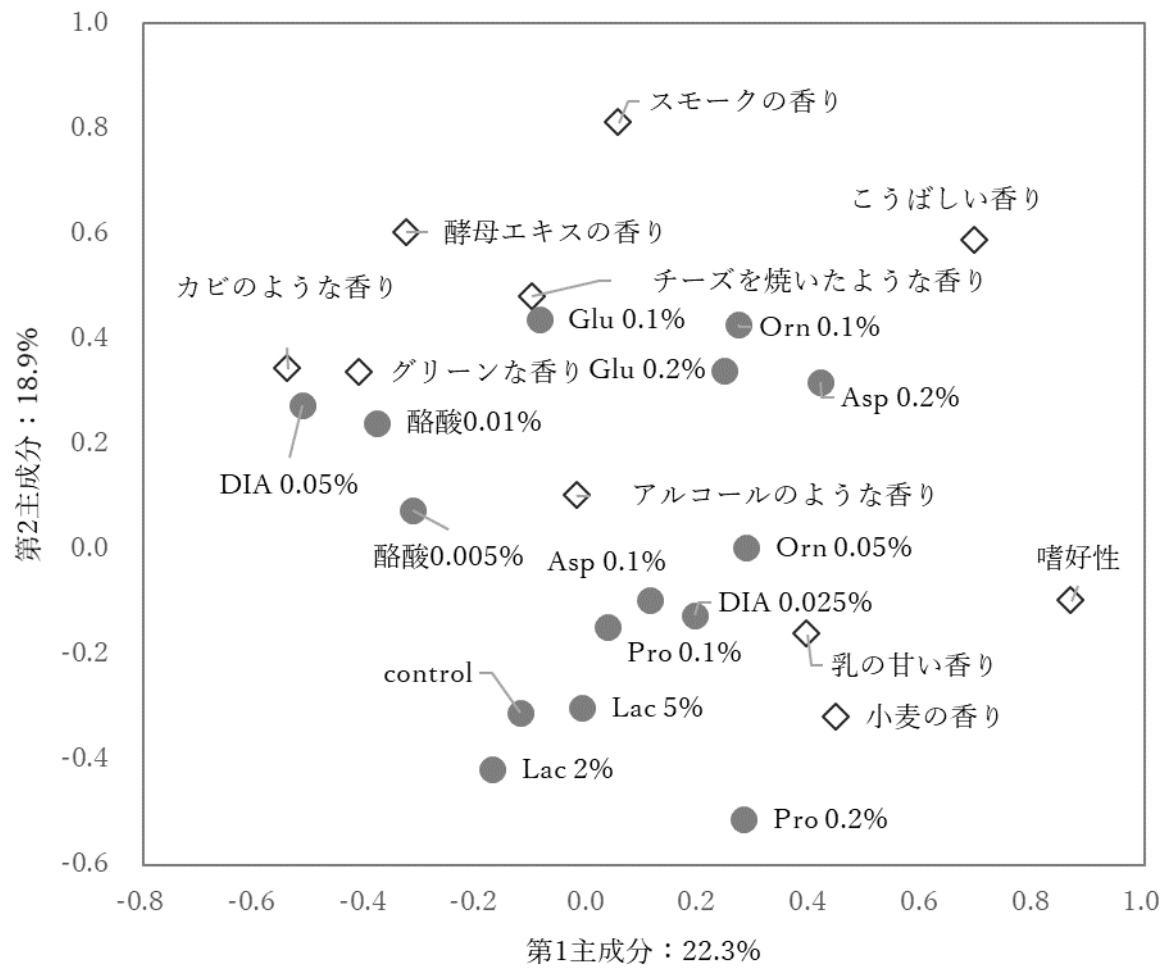


図4-4 香りモデルブレッドの主成分分析結果 (第1主成分×第2主成分)

表 4-5 香りモデルブレッドの主成分得点

試験区	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
1 コントロール	-0.12	-0.31	-0.10	0.10
2 Glu 0.1 %	-0.09	0.44	-0.49	0.13
3 Glu 0.2 %	0.24	0.34	-0.39	-0.05
4 Asp 0.1 %	0.11	-0.10	-0.37	0.19
5 Asp 0.2 %	0.42	0.32	-0.10	-0.24
6 Pro 0.1 %	0.03	-0.15	0.11	0.05
7 Pro 0.2 %	0.28	-0.51	0.12	-0.31
8 Orn 0.05 %	0.28	0.00	0.10	-0.32
9 Orn 0.1 %	0.27	0.43	-0.06	-0.70
10 酪酸0.005 %	-0.32	0.07	0.83	0.23
11 酪酸0.01 %	-0.38	0.24	0.83	0.26
12 DIA 0.025 %	0.19	-0.13	0.08	0.14
13 DIA 0.05 %	-0.51	0.28	-0.03	-0.28
14 Lac 2 %	-0.17	-0.42	-0.19	0.46
15 Lac 5 %	-0.01	-0.30	-0.04	0.23

表4-6 香りモデルブレッドの色彩による官能評価結果

試験区	明度1	明度2	明度3	明度4	明度5	赤	橙	黄	緑	青	紫	無彩色 (%)
1 コントロール	10.9	20.0	18.3	27.2	23.6	10.9	61.2	17.9	5.0	4.3	0.4	0.3
2 Glu 0.1 %	9.3	16.7	18.5	14.8	40.7	11.1	64.8	14.8	3.7	5.6	0.0	0.0
3 Glu 0.2 %	5.5	12.7	21.8	29.1	30.9	20.0	54.5	14.5	9.1	0.0	1.8	0.0
4 Asp 0.1 %	11.1	16.7	1.9	35.2	35.2	5.6	57.4	20.4	7.4	5.6	0.0	3.7
5 Asp 0.2 %	3.8	9.4	20.8	30.2	35.8	17.0	54.7	18.9	3.8	1.9	1.9	1.9
6 Pro 0.1 %	12.0	18.0	14.0	36.0	20.0	12.0	40.0	28.0	10.0	4.0	2.0	4.0
7 Pro 0.2 %	5.0	20.0	17.5	37.5	20.0	7.5	62.5	17.5	5.0	5.0	0.0	2.5
8 Orn 0.05 %	15.2	15.2	15.2	32.6	21.7	10.9	67.4	15.2	6.5	0.0	0.0	0.0
9 Orn 0.1 %	10.5	14.0	22.8	29.8	22.8	8.8	68.4	8.8	7.0	3.5	3.5	0.0
10 酪酸0.005 %	18.2	18.2	22.7	29.5	11.4	9.1	47.7	38.6	4.5	0.0	0.0	0.0
11 酪酸0.01 %	13.8	24.1	31.0	20.7	10.3	3.4	34.5	44.8	6.9	3.4	1.7	5.2
12 DIA 0.025 %	19.6	19.6	26.1	23.9	10.9	26.1	58.7	4.3	4.3	2.2	4.3	0.0
13 DIA 0.05 %	7.1	7.1	32.1	28.6	25.0	16.1	53.6	16.1	1.8	10.7	1.8	0.0
14 Lac 2 %	10.4	20.8	18.8	41.7	8.3	8.3	77.1	8.3	4.2	2.1	0.0	0.0
15 Lac 5 %	6.5	10.9	30.4	30.4	21.7	13.0	60.9	17.4	4.3	2.2	2.2	0.0

(各色相または各明度の合計値/パネル累積人数) × 100



表4-7 香りモデルブレッドの官能評価用語と色相, 明度との相関係数

評価項目	アルコールの ような香り	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	嗜好性
赤	0.23	0.11	0.07	-0.28	-0.09	-0.27	0.00	0.46	-0.25	0.08
橙	0.02	-0.56*	0.24	-0.32	-0.67**	-0.58*	-0.09	0.22	-0.60*	0.21
黄	-0.04	0.46	-0.24	0.34	0.73**	0.68**	0.05	-0.49	0.77**	-0.23
緑	-0.40	-0.15	0.24	-0.16	-0.02	0.13	0.14	0.17	0.05	0.37
青	0.10	0.17	-0.34	0.59*	-0.19	-0.28	0.02	-0.09	-0.27	-0.51*
紫	-0.31	0.21	-0.23	-0.02	0.14	0.12	0.21	0.45	0.06	0.10
無彩色	-0.04	-0.01	0.12	0.10	0.15	0.50	-0.09	-0.28	0.16	0.09
明度1	-0.09	0.50	0.04	0.09	0.43	0.46	-0.14	-0.37	0.54*	-0.01
明度2	0.11	-0.01	0.26	0.07	0.18	0.51	-0.32	-0.56*	0.25	0.09
明度3	0.13	0.45	-0.50	0.29	0.48	0.27	0.02	-0.13	0.36	-0.37
明度4	-0.08	-0.40	0.27	-0.54*	-0.61*	0.07	-0.55*	-0.14	-0.32	0.26
明度5	-0.05	-0.31	0.06	0.06	-0.25	-0.71**	0.58*	0.64*	-0.44	0.08

\* ; P<0.05, \*\* ; P<0.01

表4-8 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	2.8	0.0	5.6	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0
明度1	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
明度2	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
明度3	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
明度4	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
明度5	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

(各色相または各明度の合計値/パネル累積人数) × 100

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モツァレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウォッシュ, No.8:シヨーム, No.9:エメタール, No.10:ゴード, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:バルミジャンノ・レッズジャーノ

表4-9 官能評価による色彩パターンの相関係数

	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	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

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

No.1 からNo.13 は下記のチーズを添加したパン

No.1:クリーム, No.2:モッツアレラ, No.3:カマンベール, No.4:ブルー, No.5:ダナブルー, No.6:サント・モール, No.7:クリーミーウオッシュユ,

No.8:シヨーム, No.9:エメンタール, No.10:ゴード, No.11:チェダー, No.12:エダム, No.13:パルミジャーノ・レッジャーノ

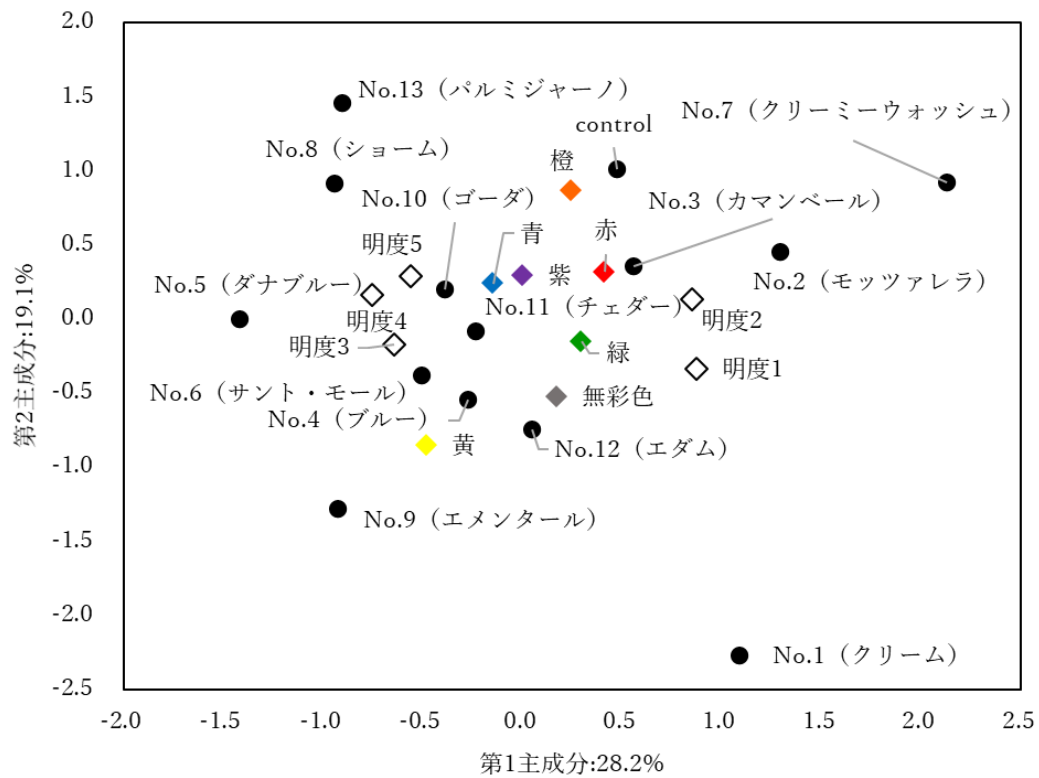


図 4-5 主成分分析の結果 (第 1 主成分×第 2 主成分)

表 4-10 チーズブレッドの各主成分の因子負荷量

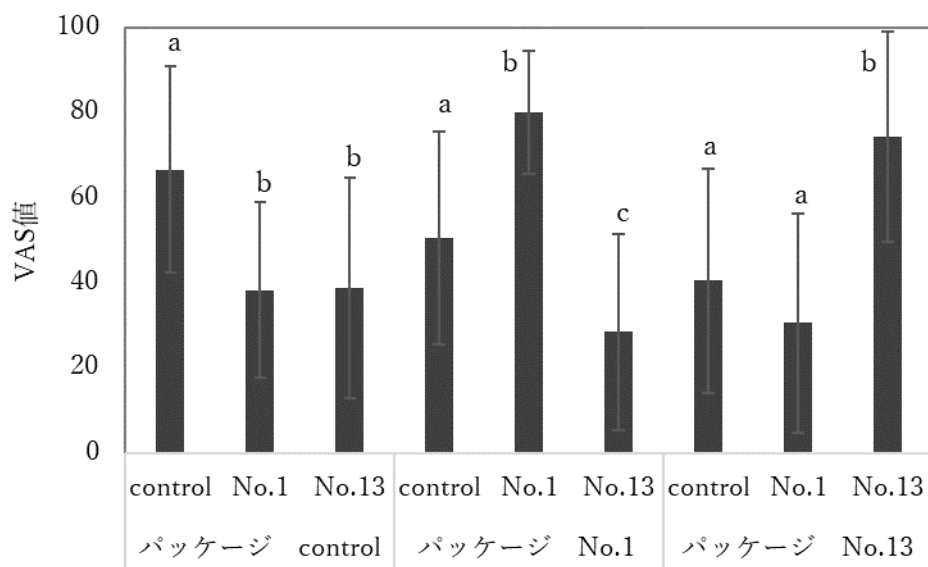
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
赤	0.41	0.32	0.71
橙	0.24	0.86	0.08
黄	-0.48	-0.85	-0.14
緑	0.29	-0.15	-0.52
青	-0.15	0.24	0.30
紫	0.00	0.29	-0.26
無彩色	0.18	-0.53	0.19
明度1	0.87	-0.34	-0.12
明度2	0.86	0.13	0.14
明度3	-0.64	-0.17	0.52
明度4	-0.75	0.16	0.34
明度5	-0.56	0.28	-0.77

色彩項目を変数とした主成分分析の結果

表4-11 官能評価用語と色彩の相関係数

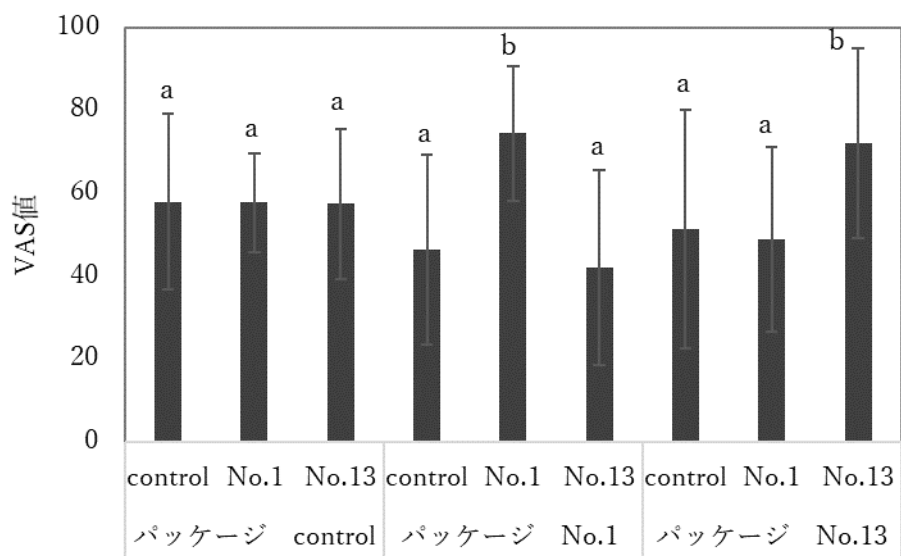
	アルコールの香り	カビのうな香り	小麦の香り	グリーンな香り	酵母エキスの香り	乳の甘い香り	スモークの香り	こうばい香り	チーズを焼いたよ うな香り
赤	0.46	-0.27	0.27	-0.25	-0.30	-0.23	-0.22	0.23	-0.25
橙	0.28	-0.28	0.32	-0.26	-0.32	-0.23	-0.14	0.42	-0.27
黄	-0.11	0.25	-0.31	0.28	0.35	-0.03	0.22	-0.32	0.37
緑	-0.38	0.10	0.01	0.01	-0.02	0.36	-0.26	-0.22	-0.22
青	0.33	-0.12	0.10	-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
明度1	0.15	-0.73**	0.79**	-0.81**	-0.66*	0.41	-0.71**	0.61*	-0.69**
明度2	0.09	-0.39	0.49	-0.51	-0.50	0.35	-0.59*	0.34	-0.61*
明度3	0.19	0.41	-0.53	0.52	0.47	-0.57*	0.46	-0.55*	0.57*
明度4	-0.04	0.46	-0.62*	0.64*	0.58*	-0.16	0.80**	-0.42	0.73**
明度5	-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間には 5%水準で有意な差があることを示す  
 VAS 値が高いほど、パッケージが試料の香りを表現できていることを表す

図 4-6 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間には 5%水準で有意な差があることを示す  
 VAS 値が高いほど、パッケージが試料の香りを表現できていることを表す

図 4-7 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



表4-12 チーズズブレッドの揮発性成分

No.	保持時間 (分)	化合物群	化合物名	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
4	11.9		Ethanol	6.63	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
6	20.1		2-Methyl-1-propanol	0.20	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
8	27.4		3-Methyl-1-butanol	2.58	2.59	2.92	3.68	3.25	3.27	2.25	3.50	6.29	4.73	9.00	7.80	8.50	5.90
13	34.8		2-Heptanol	0.00	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
15	36.9		1-Hexanol	0.15	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
24	45.0	アルコール類	2-Nonanol	0.00	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
26	45.9		2-3-Butanediol	0.17	0.15	0.16	0.16	0.14	0.15	0.12	0.17	0.20	0.26	0.15	0.17	0.23	0.27
36	52.2		3-(Methylthio)-1-propanol	0.00	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
39	57.9		Phenylethyl alcohol	0.51	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
			合計 (アルコール類)	10.25	10.23	12.08	12.93	12.34	12.11	10.69	14.79	17.33	14.69	22.74	20.82	20.27	16.07
1	8.0		2-Methyl-propanal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.08	0.12	0.02	0.07	0.11	0.25
2	10.8		2-Methyl-butanal	0.00	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
3	11.0	アルデヒド類	3-Methyl-butanal	0.00	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
5	19.2		Hexanal	0.00	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
25	45.6		Benzaldehyde	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
			合計 (アルデヒド類)	0.00	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
9	29.0		Ethyl hexanoate	0.00	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
10	31.1		3-Methylbutyl butanoate	0.00	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
18	41.3		Ethyl octanoate	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
20	42.4	エステル類	Isopentyl hexanoate	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
32	50.1		Isomyl octanoate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
35	51.2		Ethyl decanoate	0.03	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
			合計 (エステル類)	0.03	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
7	25.6		2-Heptanone	0.00	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
12	32.8		Acetoin	0.22	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
17	39.0	ケトン類	2-Nonanone	0.00	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
19	41.8		8-Nonen-2-one	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
30	48.1		2-Undecanone	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
			合計 (ケトン類)	0.22	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
21	42.8		Acetic acid	0.38	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
27	46.2		Propanoic acid	0.00	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
28	47.4		2-Methylpropanoic acid	0.41	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
31	48.5		Butanoic acid	0.01	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
34	50.9		3-Methylbutanoic acid	0.46	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
37	53.0		Pentanoic acid	0.00	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
38	56.1		Hexanoic acid	0.07	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
40	58.9		Heptanoic acid	0.00	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
43	61.6		Octanoic acid	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
44	66.5		Decanoic acid	0.00	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
			合計 (酸類)	1.33	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
11	31.3		Methylpyrazine	0.00	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
14	34.9		2,6-Dimethylpyrazine	0.00	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
16	38.7		2-Ethyl-6-methylpyrazine	0.00	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
22	43.0		Furfural	0.53	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
23	44.8		2-Acetylfuran	0.11	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
29	47.5	複素環式化合物類	5-Methylfurfural	0.00	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
33	50.4		2-Furanmethanol	0.79	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
41	58.4		Methyl	0.09	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
42	59.6		2-Acetylpyroly	0.00	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
			合計 (複素環式化合物類)	1.53	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
38.7		I.S.	Cyclotrioxan	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	1.00

各成分のピーク面積の内総面積を100

グラムTC-WAX (60m×0.25mm i.d., 膜厚0.25µm)

No.1からNo.13は下記のチャージズを添加したラン

No.11:ケリーム, No.2:モックアレーラ, No.3:カンマベンズール, No.4:ブルーム, No.5:ダナブール, No.6:セント・モール, No.7:クリー・ミー・ウォッシュ, No.8:ジョーム,

No.9:エメンター, No.10:ゴード, No.11:チェダール, No.12:エダム, No.13:バルミジャーノ・レッズジャー

表4-13 揮発性成分と色相、明度との相関係数

	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
明度1	-0.39	-0.54*	-0.44	-0.44	-0.49	-0.75**
明度2	-0.01	-0.65*	-0.25	-0.26	-0.29	-0.47
明度3	0.48	0.24	0.18	0.20	0.18	0.49
明度4	0.30	0.64*	0.27	0.27	0.34	0.54*
明度5	-0.23	0.42	0.35	0.34	0.37	0.38

\* ; P<0.05, \*\* ; P<0.01

#### 4-4. 要約

香りの異なるモデルブレッドを用い、パンの香りの色彩評価の方法について検討し、官能評価用語と色彩評価の結果の関係について検証した。チーズブレッド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可能性が示唆された。また色彩による評価結果は揮発性成分とも関連性が見出され、以下の結果を得た。

パンに含まれる7成分を添加して調製したパンの香りの官能特性と色彩評価による結果と合わせて考察した。香りモデルブレッドの色彩評価において、パンの香りの色彩のパターンとしては類似しているが、色相と明度に分類して比較することにより香りの違いは色相と明度の違いとして捉えられていると推測できた。パンの香りは橙を中心として表現され、乳に由来する香りは黄、焼成で生じる香りは明度4、明度5と明度の高い方向で表現されていた。

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主成分は明度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、少数の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明度1、明度2と負の相関、明度4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。

官能評価用語によるパンの香り进行评估する方法はパンの品質进行评估する優れた方法であるが、訓練された分析型パネル以外の第三者に伝えることは難しかった。香りを色彩で評価する試みは香料で行われていたが、食品に応用したのは本研究が初めてである。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。本章の検討により、パンの香りの新たな評価方法として色彩による評価を提案することができ、今後、評価法の確立に向けて種々の試料により検証したい。

## 第5章 総括

チーズとパンは同時に喫食した時の風味の点から相性が良く、チーズを謳ったベーカリー製品は季節を問わず市場に多く出回っている。しかしこれら製品の原材料にナチュラルチーズを使用していることは少なく、使用していたとしても配合量は少量である。その多くはプロセスチーズやチーズ風味フィリング、酵素で味や香りを強化したEMC（酵素分解チーズ）、香料などでチーズ風味を付与している。その理由として、ナチュラルチーズは高価であること、ナチュラルチーズは大半を輸入に頼っているため安定供給に不安があること、ナチュラルチーズをパン生地によく配合するとパンの膨らみ具合が低下しパンとしての品質が低下すること、などが挙げられる。特に大手製パンメーカーでは原材料に多くのコストをかけることができず、また市場に対しては安定した品質の製品を欠品することなく供給する義務が生じるため、ナチュラルチーズを配合した商品を製品化することは難しい。日本においては食生活の多様化によりチーズの消費量が伸びていることから、パン市場においてもチーズブレッドの需要は拡大すると考えられるが、上記のような理由からナチュラルチーズを使用したチーズブレッドの製品化には課題がある。このように、チーズブレッド製造には課題があるものの、副原料として米、大麦、ライ麦、全粒粉などを配合したパンの研究例はあるが、チーズを配合したパンの製パン性や成分に関する研究報告はない。

またナチュラルチーズは原料乳の種類や発酵に用いる微生物の種類、熟成の程度によって1000種類以上もあるとされ、「チーズ&ワインアカデミー東京」の分類法により大きく分けても7タイプのナチュラルチーズがある。チーズの風味は多岐に渡っており、チーズを謳ったベーカリー製品のパッケージにはその製品の風味特徴を消費者に伝えるために使用しているチーズの種類や数を示すなど工夫をしているが、どのようなチーズ風味であるかを消費者に正確に伝えられているとは言い難い。

本研究ではチーズブレッドがイーストの発酵や焼成といった製パン工程を経て調製されることに着目し、チーズブレッドの風味解析のため以下の検討を行った。

1. 各種ナチュラルチーズを添加したパンの製パン性を把握することで、チーズブレッドを製造する際に起こり得る課題点を抽出した。チーズとチーズブレッドの成分分析およびチーズブレッドの官能評価用語の選定と定義付けを行いチーズブレッドの官能特性マッピングを得た。
2. パルミジャーノ・レッジャーノを添加したチーズブレッドの風味に着目し、チーズブレッドの風味に寄与する成分を特定し、新たなチーズ風味ブレッドの市場の可能性を見出した。
3. チーズブレッドの香りを第三者に伝える手段として、色彩による評価方法について検討し香りを伝える新たな手段を提案した。

本研究では、さまざまなナチュラルチーズを添加したパンの評価を行うため、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品を選んだ。第2章では、13種類のナチュラルチーズを各々配合したワンローフ食パンを作成し、パンの製パン性や成分、官能特性を把握することを目的とした。まずチーズブレッドの製パン性を把握し、チーズとチーズブレッドの低分子量化合物の分析を行った。次に分析型パネル10名により、チーズブレッドの風味を表現する用語を収集し、官能特性マッピングを得た。

ナチュラルチーズを添加したパンはクラストの焼き色が濃くなり、比容積は低下する傾向があった。パン生地ガス発生量と比容積との間には相関が見られなかったことから、チーズブレッドの比容積の低下は、イーストに対する発酵阻害ではなくグルテンの形成阻害であると考えられた。チーズブレッドの品質向上のためには、クラストの焼き色が濃くなりやすいため焼成温度や焼成時間の調整が必要であること、生地のガス保持力が低下することにより比容積の低下が見られるため、シスチンやビタミンC、グルコースオキシダーゼのようなグルテンのS-S結合の形成を促進するような酸化剤や酵素の添加が必要であること、が改善方法として提案できた。

チーズ及びチーズブレッドの分類の観点から低分子量化合物を一元的に把握するために、有機酸、糖、アミノ酸、脂肪酸のそれぞれの機器測定による成分分析データを主成分分析により解析した。チーズとチーズブレッドの低分子量化合物の分析により、チーズの分類にはアミノ酸と有機酸、脂肪酸が、チーズブレッドの分類にはアミノ酸と脂肪酸の寄与が大きいことがわかった。有機酸はチーズの乳酸菌発酵で生成する成分のためチーズの分類に寄与しているが、チーズブレッドはそれに加えて製パン工程で生成する有機酸が加わるために、有機酸はチーズブレッドの分類への寄与は少なくなったと考えられる。主成分分析の結果、チーズ分類において第1主成分は「チーズの熟成期間の長さやカビ発酵熟成の程度」、第2主成分は「発酵に用いた乳酸菌の種類とプロピオン酸菌の有無及びカビ発酵熟成の程度」、と解釈できた。またチーズブレッド分類において第1主成分は、主にアミノ酸量で説明される「チーズの熟成期間の長さ由来する熟成の程度」であり、第2主成分は主に脂肪酸で説明される「チーズのカビ発酵熟成の程度」、と解釈できた。

機器測定による成分分析で定量できなかった他の成分の影響の有無を確認するため、チーズ13種類とこれらのチーズを添加して調製したチーズブレッド14種類（コントロールを含む）の水溶性低分子量化合物をGC/MSで一斉分析しメタボローム解析に供した。多成分一斉分析においてもチーズやチーズブレッドの分類においてアミノ酸が重要であることが読み取れ、機器測定による定量分析の結果と一致していた。また主成分2の因子負荷量の上位20成分の中には、成分分析で定量していない成分が

含まれこれらの成分が風味に影響を与えている可能性もあり、今後これらの情報を基にチーズやチーズブレッドの成分特徴について詳細な解析につながれると考える。しかしその一方で、多成分一斉分析では機器測定による定量分析でチーズの分類に寄与しているとされた有機酸、脂肪酸、チーズブレッドの分類に寄与しているとされた脂肪酸の情報量は少なくなっていた。多成分一斉分析は一度に多くの情報を得るのに優れた手法であるが、その情報から目的とする情報を選択し、その他機器分析による定量結果と合わせて考察する必要があると考えられた。

チーズブレッドの官能特性マッピングを得ることを目的に、官能評価用語の選定および評価を行った。分析型パネルによる風味評価用語収集の結果、香り 44 語、味 8 語から成る計 52 語が得られた。この 52 語を評価項目として分析型パネル 10 名による予備評価を行った。少なくとも 1 種類のチーズブレッドに対して 10 名中 8 名以上が風味評価用語として適正であると判断した用語は香り 9 語、味 5 語であった。これら評価用語に対してパネルで討議したところ、パネリスト全員の合意が得られたため、専門パネル 4 名により定義付けを行い、線尺度法による評価を実施した。試料 5 (ダナブルー)、6 (サント・モール)、8 (ショーム)、9 (エメンタール)、12 (エダム) および 13 (パルミジャーノ) はチーズを焼いたような香りやうま味、後味が強かった。試料 3 (カマンベール)、4 (ブルー)、5 (ダナブルー)、6 (サント・モール) はカビによる熟成を行ったタイプであるので、カビのような香りが強いとされた。試料 8 (ショーム)、13 (パルミジャーノ) はカビによる熟成は行っていないが、カビのような香りが強いと評価された。試料 8 (ショーム) はウォッシュタイプであることからリネンス菌による発酵成分のため、また試料 13 (パルミジャーノ) は遊離脂肪酸が多いことから、カビによる熟成を行った試料 5 (ダナブルー)、6 (サント・モール) と共通する香りを有しており、これがカビのような香りとして感じられたと考えられた。試料 6 (サント・モール) はグリーンな香りやエグ味が強く、山羊乳の特徴がパンに添加した際にも影響を与えていると考えられる。

チーズブレッドに添加したチーズの種類と官能評価用語との関係を見るために、各評価項目を変数として、分散共分散行列を用いた主成分分析を行った。寄与率は第 1 主成分が 39.9%、第 2 主成分が 11.4%であった。第 1 主成分については、チーズを焼いたような香り、後味、酵母エキスの香り、スモークの香りの因子負荷量が大きいため「チーズの濃厚感」と解釈した。第 2 主成分はこうばしい香り、チーズを焼いたような香り、スモークの香りの因子負荷量が大きいため「チーズブレッドの香ばしさ」と解釈した。チーズブレッドの風味は、「チーズの濃厚感」と「チーズブレッドの香ばしさ」の 2 成分により平面上で表現できることが示された。

第 2 章の結果によりチーズブレッドの製パン性を明らかにすることができ、チーズを添加することによるパンの品質低下の改善方法として、焼成時間と温度の調整、発酵時間の延長、グルテンの S-S 結合形成を促進する酸化剤や酵素の利用が提案でき

た。またチーズとチーズブレッドの低分子量化合物の結果より、チーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズの選択には、チーズの熟成期間の違いやカビ発酵の有無が指標になることを示すことができた。チーズの熟成期間の違いはアミノ酸量、カビ発酵の有無は脂肪酸量で説明することができた。また、チーズブレッドの官能評価用語として香り9語、味5語が選定でき、これらの評価用語により添加したチーズの種類とチーズブレッドの風味の官能特性がマッピング可能となった。本章の結果から、パンとしての品質が高く、消費者の求める風味のチーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズの選択と配合決定が容易になると考えられる。

第3章では、13種類のナチュラルチーズのうちパルミジャーノ・レッジャーノを原料として配合したチーズブレッドを対象とし、チーズの成分がチーズブレッドの風味に関する官能特性に与える影響について解析した。パルミジャーノ・レッジャーノの成分分析の結果より32成分から成るモデルチーズブレッドとそこからアミノ酸全18成分を除いたもの、脂肪酸全7成分を除いたもの、有機酸全7成分すべてを除いたもの、の3種類のオミSSIONモデルチーズブレッドを作成し評価を実施した。アミノ酸18成分を全て除くことにより、小麦の香りが強くなり、カビのような香り、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、塩味、うま味、エグ味、後味は有意に弱くなった。脂肪酸7成分を全て除いた場合も、アミノ酸を除いた結果と同じく小麦の香りが強くなり、カビのような香り、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、塩味、エグ味、後味が有意に弱くなった。アミノ酸を除いた場合はうま味が弱くなったが、脂肪酸ではうま味の強さに差は見られず、うま味に対してはアミノ酸が寄与していることが確認できた。一方、有機酸7成分を全て除いてもモデルチーズブレッドと有機酸オミSSIONモデルチーズブレッドの風味に有意な差は見られなかった。モデルチーズの成分のうち、アミノ酸と脂肪酸は風味への寄与が大きく、有機酸は風味への寄与は少ないことが明らかとなった。

オミSSIONテストにより、アミノ酸と脂肪酸がチーズブレッドの風味の官能特性への寄与が大きいと確認されたため、次にアミノ酸および脂肪酸の各成分を1成分ずつ添加したアディクションモデルチーズブレッドを調製し、官能評価を実施した。アディクションテストでは、有意に特性が強くなった評価項目があったのは8成分、有意に官能特性が弱くなった評価項目があったのは10成分であった。アディクションテストにより特性が強くなるだけでなく、弱くなる成分もあることが確認され、成分の組み合わせによりパンの風味が決定されることは新たな知見である。アディクションテストにより、風味を強める効果のあった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、酪酸の8成分のみから構成される選抜モデルチーズブレッドを作成し、チーズブレッドとの風味を比較した。チーズブレッドと8成分から構成される選抜モデルチーズブレッドの風味は、香

り9項目、味5項目において有意差は認められず、これら8成分でチーズブレッドの風味を再現できることが確認できた。

次にパンの品質を評価するためにコントロール、チーズブレッド、選抜モデルチーズブレッドの比容積とクラムの圧縮応力を測定したところ、クラムの圧縮応力はコントロールと比較してチーズブレッドで有意に大きく、圧縮応力が大きいことからチーズブレッドのクラムはコントロールよりも硬いと推察できた。一方、選抜モデルチーズブレッドの圧縮応力はコントロールと有意差はなく、クラムの硬さは同等であった。チーズブレッドはパンの比容積の低下やクラムの硬さの上昇が認められるが、選抜チーズブレッドは製パン性を損なうことなくチーズブレッドの風味を再現できることが示された。

各成分を添加することによりパンの揮発性成分がどのように変化するかを確認するために、1成分ずつ加えたアディクションモデルチーズブレッドとコントロールの揮発性成分を測定した。揮発性成分と官能評価の結果から、チーズブレッドの風味生成について考察した。グルタミン酸ナトリウムは、チーズブレッドのこうばしい香りとうま味に寄与した。酪酸は乳の甘い香りの付与に寄与した。バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、フェニルアラニンはイーストの発酵によりアルデヒド類やアルコール類を生成し、またメイラード反応でアルデヒド類を生成することでチーズブレッドの風味に寄与した。プロリンは本研究で成分を特定することはできなかったが、メイラード反応によるこうばしい香りの生成に寄与した。これら8成分を組み合わせることでパン生地に添加することにより、「チーズの濃厚感」、「パンらしい香ばしさ」、「発酵香」に寄与する風味が生成することが明らかとなった。

8成分によるチーズ風味ブレッドはチーズを使用するチーズブレッドと比較して、コスト面で負担がなく、チーズの供給量に左右されず安定的に製造でき、チーズを使用することによる比容積の低下がない、というメリットがある。ナチュラルチーズを使用したチーズブレッドは大手製パンメーカーでは製造することが難しいが、本知見を利用することで大手製パンメーカーでも良好なチーズ風味ブレッドが製造できるようになると考えられる。チーズ風味ブレッドの製造には、これら8成分を配合するという方法だけでなく、アミノ酸を多く含む酵母エキス、たん白加水分解物、熟成食品（味噌、醤油、酒粕など）や脂肪酸を多く含む発酵バター、EMC（酵素分解チーズ）、香料を組み合わせるという方法も考えられる。また、チーズを使用せずにチーズ風味ブレッドの製造が可能になるため、乳アレルギー患者やビーガン（完全菜食主義者）にもチーズ風味ブレッドを提供出来る。以上のように、8成分でチーズ風味ブレッドが製造できるという本知見は、新たな市場を開拓できると考える。

第4章では、第2章でマッピングした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により、チーズブレッドの香りのイメージを分析型パネル以外にもわかりやすく伝える手段を提案することを目的とした。パンに含まれる7成分を添加した香りモ



デルブレッドを調製し、パンの香りのイメージを色彩に置き換えて評価する手法を検討した。次にチーズブレッドの香りを色彩で評価するとともに香気成分との関係について明らかにした。色彩評価は、以下のように行った。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、明度5色：明度1、明度2、明度3、明度4、明度5）と無彩色5色（白から黒）の合計35色を番号をつけたA4用紙に配置した。パネルはパンの袋をあけた時に感じる香り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。色彩評価の結果は、色相別、明度別に分類し集計した。

パンに含まれる7成分を添加して調製したパンの香りの官能特性と色彩評価による結果を合わせて考察した。香りモデルブレッドの色彩評価の結果を色相と明度に分類して比較したところ、パンの香りは橙を中心として表現され、乳に由来する香りは黄、焼成で生じる香りは明度4、明度5と明度の高い方向で表現されていた。パンの香りは色彩により評価可能であると考えられたため、チーズブレッドにおいても同様に色彩による評価を行った。

チーズブレッドの香りの色彩データは色相別に見ると、コントロールは橙、黄の割合が多かった。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（クリーミーウォッシュ）、8（ショーム）、13（パルミジャーノ）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（サント・モール）のみ緑の占める割合が高くシェーブルタイプの香りの特徴が色相に表れていた。試料5（ダナブルー）、8（ショーム）、9（エメンタール）、13（パルミジャーノ）の明度4は40%以上を占めていた。これらの試料は比較的遊離アミノ酸含量が多い。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（ダナブルー）、9（エメンタール）、13（パルミジャーノ）で有意にL\*値が低く、焼き色が濃いことがわかっている。チーズブレッドの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明度4として表れたと考えられる。

官能評価の色彩データからチーズブレッドの香りのパッケージカラーイメージを作成した。試料5（ダナブルー）、8（ショーム）、9（エメンタール）、10（ゴータ）、11（チェダー）、13（パルミジャーノ）は黄明度4の占める割合が20%以上と多かった。これらの試料は比較的熟成期間の長いチーズであり、黄明度4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及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。分析型パネルが作成したパッケージカラーが、分析型パネル及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法により評価した。分析型パネルにおいては、コントロ

ール、試料1（クリーム）、試料13（パルミジャーノ）の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と評価された。次に嗜好型パネルにおいて、同様の評価を実施した。試料1（クリーム）、試料13（パルミジャーノ）のパッケージカラーはそれぞれに対応する試料の香り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のではないかと考えられた。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。

成分群に分類した揮発性成分と、色相別、明度別に集計した色彩データとの関係を見るために相関係数を求めたところ、揮発性成分と有意 ( $P < 0.05$ ) な相関が見られたのは、紫、明度1、明度2、明度4であった。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た。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。明度別に見ると、明度1はアルデヒド類、複素環式化合物類と負の相関があった。明度2はアルデヒド類と負の相関があった。一方明度4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明度は高くなると考えられる。しかし、明度4より明度の高い明度5とは相関が見られず、チーズブレッドの焼成香は明度4として表れているのではないかと考えられた。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明度1、明度2よりも明度の高い明度4で表現されていた。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る可能性が考えられた。官能評価用語によるパンの香り評価する方法はパンの品質を評価する優れた方法であるが、訓練された分析型パネル以外の第三者に伝えることは難しかった。香りを色彩で評価する試みは香料で行われていたが、食品に応用したのは本研究が初めてである。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。本章の検討により、パンの香りの新たな評価方法として色彩による評価を提案することができ、今後、評価法の確立に向けて種々の試料により検証したい。

本研究により、ナチュラルチーズを添加したパンは焼き色が濃くなり、パンのボリュームを表す比容積が小さくなることが確認され、品質の高いチーズブレッドを製造するためには焼成条件の調整や酸化剤や酵素の配合により品質改善について工夫する必要があることがわかった。チーズブレッドの風味は、熟成期間の長いアミノ酸を多く含むチーズやカビ発酵熟成を行った脂肪酸を多く含むチーズの配合により特徴づけ

られ、「チーズの濃厚感」と「チーズブレッドの香ばしさ」の2成分で表現できた。中でもパルミジャーノ・レッジャーノを添加したパンの風味は、8成分をパン生地に添加することにより再現できることが明らかとなった。またパンの香りは、言葉や成分に加えて色彩を用いることでわかりやすく消費者に伝える手段と成り得ることが示唆された。

本研究の知見は、消費者の求める風味のチーズブレッドを製造する際のナチュラルチーズの選択と配合決定に有用なものとなる。チーズを使用することなくチーズ風味ブレッドを製造できることが明らかになったことから、チーズの供給量に左右されることなく低コストで品質の高いチーズ風味ブレッドを安定して製造することができる。また、乳アレルギー患者やビーガン向けのチーズ風味ブレッドが作成できることから、新たな市場開拓が可能となった。また色彩を用いたパンの香りの評価法を利用することで、開発者が意図した製品の香りの特徴を、製品パッケージを通じて視覚的な特徴として消費者に伝えることが可能になると考える。

## 引用文献

1. 中江利孝. チーズ製造の歴史. in 世界のチーズ要覧 3-15 (三洋出版貿易, 1982).
2. Enrico, G. *et al.* Proteomic analyses on ancient egyptian cheese and biomolecular evidence of brucellosis. *Anal. Chem.* **90**, 9673-9676 (2018).
3. 大谷元. チーズの起源と歴史. in 現代チーズ学 (eds. 齋藤忠夫, 堂迫俊一 & 井越啓司) 3-13 (食糧資材研究会, 2008).
4. H30年度チーズの需給表. 農林水産省 Available at: [www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/cheese-zyukyu](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/cheese-zyukyu).
5. 越後和義. パンの歴史. in パンの研究 文化史から製法まで 10-45 (柴田書店, 1976).
6. 内田伸夫. パンの種類と製法. in 製パンの科学(I)製パンプロセスの科学 (ed. 田中康夫, 松本博) 1-26 (光琳, 1991).
7. 大沢はま子. チーズと調理. 日本調理科学会誌 **6**, 135-142 (1973).
8. 伊藤ひろ子. チーズの仲間たち. in *Cheese&Bread* 素晴らしいチーズとパンの世界 36-56 (パンニュース社, 1998).
9. 玉木茂子. チーズ種類とその食べ方. 日本食生活学会誌 **12**, 266-273 (2001).
10. 雁瀬大二郎. バターロール. in パン製法 223 (沼田書店, 1964).
11. 越後和義. アメリカのパン. in パンの研究 文化史から製法まで 212-213 (柴田書店, 1976).
12. 雁瀬大二郎. ブレッド. in 新編製パン法 106 (沼田書店, 1975).
13. Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. & Juszczak, L. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocoll.* **29**, 68-74 (2012).
14. Ehsan, F. *et al.* Sensory, digestion, and texture quality of commercial gluten - free bread: Impact of broken rice flour type. *J. Texture Stud.* **49**, 395-403 (2018).
15. 石井和美, 藤井恵子, 早川あつ美. 雑穀で調製したグルテンフリーパンの製パン性. 日本調理科学会誌 **51**, 89-96 (2018).
16. 本間紀之, 高橋誠 & 吉井洋一. 米の特性が製粉性に与える影響および米粉性状と製パン性の関係. 日本食品科学工学会誌 **63**, 551-560 (2016).
17. 多山賢二 *et al.* 米粉パン製造に適した酵母の分離および試作パンの特性. 日本食生活学会誌 **27**, 23-30 (2016).
18. Grosch, W. & Schieberle, P. Flavor of cereal products-A review. *Cereal Chem.* **74**, 91-97 (1997).

19. 中里トシ子, 下坂智恵, 松井能子. ライ麦全粒粉添加食パンへのクエン酸カルシウムおよびレモン汁の改良高価. 調理科学 **24**, 216–221 (1991).
20. 逢阪江理 *et al.* 大麦粉の特性と大麦パンの開発. 日本食品科学工学会 **62**, 521–526 (2015).
21. 松下耕基, 寺山采花, 五嶋大介, 高田兼則, 山内宏昭. 角型食パンの品質特性に対する全粒粉使用と酵素添加の影響. 日本食品科学工学会誌 **66**, 201–209 (2019).
22. 堀内理恵, 伊藤みどり, 杉原好枝, 福田満. 乾燥オカラが食パンの比容積に与える影響. 日本食生活学会誌 **16**, 31–38 (2005).
23. 田中穂積. チーズの製造法. in チーズを科学する (ed. 堂迫俊一) 65–96 (幸書房, 2016).
24. Collin, S., Osman, M., Delcambre, S., El-Zayat, A. I. & Dufour, J. P. Investigation of volatile flavor compounds in fresh and ripened domiati cheeses. *J. Agric. Food Chem.* **41**, 1659–1663 (1993).
25. Macej, O., Jovanovic, S. & Denin, J. Characteristics of camembert-type cheese ripening produced from milk in which complex between casein and whey protein is formed. *J. Agric. Sci.* **46**, 57–69 (2001).
26. Domingues, B. *et al.* Sensory quality of camembert-type cheese : Relationship between starter cultures and ripening molds. *Int. J. Food Microbiol.* **234**, 71–75 (2016).
27. Kubícková, J. & Grosch, W. Evaluation of flavour compounds of camembert cheese. *Int. Dairy J.* **8**, 11–16 (1998).
28. 岩澤秀樹, 平田明弘, 木村貞司 & 山内邦男. カマンベールチーズ熟成中におけるタンパク質分解. 日本食品科学工学会誌 **43**, 703–711 (1996).
29. Rothe, M., Engst, W. & Erhardt, V. Studies on characterization of blue cheese flavour. *Nahrung* **26**, 591–602 (1982).
30. Jerome, M., Monika, C., Francoise, L., Sophie, L. & Pascal, B. Smear-Ripened Cheese. in *Cheese Chemistry, Physics & Microbiology* (eds. McSweeney, P. L. H., Fox, P. F., Paul, D. C. & David, W. E.) 955–996 (Elsevier, 2017).
31. 増田哲也, 谷口知央, 山崎均レヒナルド & 森地敏樹. 殺菌山羊乳より製造したカマンベールタイプチーズの熟成中の成分変化. 日本食品科学工学会誌 **47**, 736–739 (2000).
32. Thomsen, M. *et al.* Investigating semi-hard cheese aroma : Relationship between sensory profiles and gas chromatography-olfactometry data. *Int. Dairy J.* **26**, 41–49 (2012).

33. Gallerani, G. *et al.* Judge selection for hard and semi-hard cheese sensory evaluation. *Food Qual. Prefer.* **11**, 465–474 (2000).
34. Ochi, H., Naito, H., Iwatsuki, K., Bamba, T. & Fukusaki, E. Metabolomics-based component profiling of hard and semi-hard natural cheeses with gas chromatography / time-of-flight-mass spectrometry , and its application to sensory predictive modeling. *J. Biosci. Bioeng.* **113**, 751–758 (2012).
35. 井越啓司. チーズの熟成. in チーズを科学する (ed. 堂迫俊一) 97–125 (幸書房, 2016).
36. McSweeney, P. L. H., Fox, P. F. & Ciocia, F. Metabolism of residual lactose and of lactate and citrate. in *Cheese Chemistry, Physics & Microbiology* (eds. McSweeney, P. L. H., Fox, P. F., Cotter, P. D. & Everett, D. W.) 411–421 (Academic Press, 2017).
37. McSweeney, P. L. H. & Sousa, M. J. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening : A review. *Lait* **80** 293–324 (2000).
38. Yvon, M. & Rijnen, L. Cheese flavour formation by amino acid catabolism. *Int. Dairy J.* **11**, 185–201 (2001).
39. Smit, G. & Smit, B. A. Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS Microbiol. Rev.* **29**, 591–610 (2005).
40. 田中康夫. パン生地の醗酵. in 製パンの科学( I )製パンプロセスの科学 (eds. 田中康夫 & 松本博) 99–131 (光琳, 1991).
41. Quílez, J., Ruiz, J. A. & Romero, M. P. Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread type baguette. *J. Food Sci.* **71**, S423–S427 (2006).
42. Paraskevopoulou, A., Chrysanthou, A. & Koutidou, M. Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate - enriched wheat flour bread. *Food Res. Int.* **48**, 568–577 (2012).
43. Czerny, M. & Schieberle, P. 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 (2002).
44. Pico, J., Bernal, J. & Gómez, M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Res. Int.* **75**, 200–215 (2015).
45. Martínez-Anaya, M. A. Enzymes and bread flavor. *J. Agric. Food Chem.* **44**, 2469–2480 (1996).

46. Birch, A. N., Petersen, M. A., Arneborg, N. & Hansen, Å. S. Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. *Food Res. Int.* **52**, 160–166 (2013).
47. Hazelwood L, Daran, J., Maris A, Pronk J & Dickinson, J. The ehrlich pathway for fusel alcohol production: a century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* **74**, 2259–2266 (2008).
48. Frasse, P., Lambert, S., Richard-Molard, D. & Chiron, H. The influence of fermentation on volatile compounds in french bread dough. *LWT - Food Science and Technology* **26**, 126–132 (1993).
49. 瀬口正晴 & 松本博. パンの焼成. in 製パンの科学( I )製パンプロセスの科学 (eds. 田中康夫 & 松本博) 189–211 (光琳, 1991).
50. Fuganti, C., Gatti, F. G. & Serra, S. A general method for the synthesis of the most powerful naturally occurring Maillard flavors. *Tetrahedron* **63**, 4762–4767 (2007).
51. Zehentbauer, G. & Grosch, W. Crust aroma of baguettes I. Key odorants of baguettes prepared in two different ways. *J. Cereal Sci.* **28**, 81–92 (1998).
52. Thomas, B. & Rothe, M. Recent studies on bread flavor. *Bak. Dig.* 50–57 (1960).
53. Bredie, W. L. P., Boesveld, M., Martens., M. & Dybdalb, L. Modification of bread crust flavour with enzymes and flavour precursors. *Dev. Food Sci.* **43**, 225–228 (2006).
54. 伊藤ひろ子. *Cheese&Bread 素晴らしいチーズとパンの世界*. (パンニュース社, 1998).
55. Cho, I. . & Peterson, D. G. Chemistry of bread aroma:A review. *Food Sci. Biotechnol.* **19**, 575–582 (2010).
56. 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 **66**, 432–439 (2019).
57. 森田亜紀, 早川文代 & 香西みどり. ナチュラルチーズ添加パンの成分特性. 日本食品科学工学会誌 **67**, 272–282 (2020).
58. 飯島陽子. 和食のサイエンス-フードメタボロミクスによる展開-. 化学と生物 **55**, 593–595 (2017).
59. Wipawee, P. *et al.* Prediction of japanese green tea ranking by gas chromatography / mass spectrometry-based hydrophilic metabolite fingerprinting. *J. Agric. Food Chem.* **55**, 231–236 (2007).
60. Ochi, H., Bamba, T., Naito, H., Iwatsuki, K. & Fukusaki, E. Metabolic fingerprinting of hard and semi-hard natural cheeses using gas chromatography

- with flame ionization detector for practical sensory prediction modeling. *J. Biosci. Bioeng.* **114**, 506–511 (2012).
61. Inoue, K. *et al.* Foodomics platform for the assay of thiols in wines with fluorescence derivatization and ultra performance liquid chromatography mass spectrometry using multivariate statistical analysis. *J. Agric. Food Chem.* **61**, 1228–1234 (2013).
  62. 杉本昌弘. メタボローム解析を用いた日本酒の味と成分の関係の解明. バイオインダストリー **29**, 52–58 (2012).
  63. Thissen, U. *et al.* A proper metabolomics strategy supports efficient food quality improvement : A case study on tomato sensory properties. *Food Qual. Prefer.* **22**, 499–506 (2011).
  64. 大西茂彦, 松岡博美 & 浅井貴子. そら豆醤油の成分的特徴. 日本醸造協会誌 **109**, 860–865 (2014).
  65. 馬淵良太, 慧卿趙 & 谷本昌太. 熱処理がレモン果汁の成分プロファイルへ及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌 **65**, 183–191 (2018).
  66. Koistinen, V. M. *et al.* Metabolic profiling of sourdough fermented wheat and rye bread. *Sci. Rep.* 1–11 (2018).
  67. Bodyfelt, F. W. Sensory evaluation of cheese. in *The sensory evaluation of dairy products* (eds. Bodyfelt, F. W., Tobias, J. & Trout, G. M.) 330–376 (1988).
  68. 野口洋介. 牛乳・乳製品の官能評価法. in 牛乳・乳製品の知識 213–220 (幸書房, 1998).
  69. Heisserer, D. M. & ChambersIV, E. Determination of the sensory flavour attributes of aged natural cheese. *J. Sens. Stud.* **8**, 121–132 (1993).
  70. Martin, T.-B. & Delores, H. C. Simplified lexicon to describe flavor characteristics of western european cheeses. *J. Sens. Stud.* **23**, 468–484 (2008).
  71. Delahuntry, C. M. & Drake, M. A. Sensory character of cheese and its evaluation. in *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (ed. Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M., and Guinee, T. P.) 455–487 (2004).
  72. Koppel, K. & Chambers, D. H. Flavor comparison of natural cheeses manufactured in different countries. *J. Food Sci.* **77**, 177–187 (2012).
  73. Drake, M. A., McIngvale, S. C., Gerard, P. D., Cadwallader, K. R. & Civille, G. V. Development of a descriptive language for cheddar cheese. *J. Food Sci.* **66**, 1422–1427 (2001).
  74. Young, N. D., Dranke, M., Lopetcharat, K. & Mc Daniel, M. R. Preference mapping of cheddar cheese with varying maturity levels. *J. Dairy Sci.* **87**, 11–19 (2004).



75. Caspia, E. L., Coggins, P. C., Schilling, M. W., Yoon, Y. & White, C. H. The relationship between consumer acceptability and descriptive sensory attributes in cheddar cheese. *J. Sens. Stud.* **21**, 112–127 (2006).
76. 守田愛梨 *et al.* チェダーチーズの粘弾性と香気成分から官能評価スコアを予測する品質評価モデルの開発. 日本食品科学工学会誌 **63**, 1–17 (2016).
77. 伊藤肇躬. チーズ. in 乳製品製造学 437–446 (光琳, 2004).
78. 中江利孝. チーズ製造の基本工程と製造中の変化. in 世界のチーズ要覧 57–75 (三洋出版貿易, 1982).
79. 安井明美. 食品成分の測定. in 新食品分析ハンドブック 15–18 (建帛社, 2000).
80. パン用酵母試験法. (イースト工業会, 1996).
81. 雁瀬大二郎. ブレッド. in 新編製パン法 51–52 (沼田書店, 1975).
82. 越後和義. 世界のパン. in パンの研究 文化史から製法まで 212–213 (柴田書店, 1976).
83. 濱岡直裕, 田中達大, 八十川大輔, 奥村幸広 & 中川良二. 北海道内で分離した乳酸菌 *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* を利用したモッツアレラチーズ製造技術. 日本食品科学工学会誌 **64**, 132–138 (2017).
84. 原博子, 青山泰, 阿久澤さゆり & 横山琢也. 製糖時期の遅れが黒糖の品質に与える影響. 日本食品科学工学会誌 **66**, 9–17 (2019).
85. 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 **44**, 38–45 (2013).
86. 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誌 **67**, 13–23 (2020).
87. Lommen, A. Metalign: Interface-driven, versatile metabolomics tool for hyphenated full-scan mass spectrometry data preprocessing. *Anal. Chem.* **81**, 3079–3086 (2009).
88. Tsugawa, T., Tsujimoto, Y., Arita, M., Bamba, T. & Fukusaki, E. GC/MS based metabolomics: development of a datamining system for metabolite identification by using soft independent modeling of class analogy (SIMCA). *BMC Bioinformatics* **12**, 131–144 (2011).
89. Sensory analysis-Guidelines for the use of quantitative response scales. in *ISO4121* (2003).
90. 吉川誠次. 尺度と用語. in 新版官能評価ハンドブック 688 (日科技連, 1990).
91. 前田茂. イースト. in 製パンの科学(II)製パン材料の科学 (eds. 田中康夫 & 松本博) 78–82 (1992).

92. Buzas, Z., Dallmann, K. & Szajani, B. Influence of pH on the growth and ethanol production of free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biotechnol. Bioeng.* **34**, 882–884 (1989).
93. Hodge, J. E. Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems. *J. Agric. Food Chem.* **1**, 928–943 (1953).
94. 小林彰夫 & 久保田紀久枝. 調理加熱香気. *調理科学* **22**, 155–163 (1989).
95. 奥村蒸司. メイラード反応とフレーバーの生成. *日本醸造協会誌* **88**, 178–187 (1993).
96. Coagan, T. M. & Hill, C. Cheese starter cultures. in *Cheese:Chemistry,physics and miclobiology vol.1* (ed. Fox, P. F.) 193–255 (Springer, 1993).
97. 浅野忠男 & 黒瀬直孝. 清酒酵母の有機酸生成について. *日本醸造協会誌* **95**, 227–234 (2000).
98. 越後明. イースト. in 製パンの科学(II)製パン材料の科学 (eds. 田中康夫 & 松本博) 57–98 (光琳, 1992).
99. Fox, P. F. Proteolysis during cheese manufacture and ripening. *J. Dairy Sci.* **72**, 1379–1400 (1989).
100. Fox, P. F. & Law, J. Enzymology of cheese ripening. *Food Biotechnol* **5**, 239–262 (1991).
101. Fox, P. F. & McSweeney, P. L. H. Proteolysis in cheese during ripening. *Food Rev.Int* **12**, 457–509 (1996).
102. Aston, J. W. & Douglas, K. The production of volatile sulphur compounds in cheddar cheeses during accelerated ripening. *Aust.J.Dairy Technol* **38**, 66–70 (1983).
103. Puchades, R., Lemieux, L. & Simard, R. E. Evolution of free amino acids during ripening of cheddar cheese containing added lactobacilli strains. *J. Food Sci.* **54**, 885–946 (1989).
104. Molimard, P. & Spinnler, H. Review:Compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses. *J. Dairy Sci.* **79**, 169-184. (1996).
105. Bills, D. D. & Day, E. A. Determination of the major free fatty acids of cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* **47**, 733–738 (1964).
106. Svensson, I., Hernandez, I., Virto, M. & Renobales, M. de. Determination of lipase activity in cheese using trivalerin as substrate. *Int. Dairy J.* **16**, 423–430 (2006).
107. Gripton, J. Mould-ripened cheeses. in *Cheese:Chemistry,physics and miclobiology vol.2* (ed. Fox, P. F.) 121–149 (Elsevier, 1987).
108. 香川昭夫. 七訂食品成分表2018資料編. (女子栄養大学出版社, 2018).

109. Kamzolova, S. V. *et al.* Succinic acid synthesis by ethanol-grown yeasts. *Food Technol. Biotechnol.* **47**, 144–152 (2009).
110. Raab, A. M., Gebhardt, G., Bolotina, N., Weuster-Botz, D. & Lang, C. Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for the biotechnological production of succinic acid. *Metab. Eng.* **12**, 518–525 (2010).
111. 小笠原靖 *et al.* 料理における食酢の減塩効果の検討. 日本調理科学会誌 **42**, 238–243 (2009).
112. 坂本真里子 *et al.* 食酢希釈液と食塩水溶液の閾値および食酢と食塩の共存が閾値に及ぼす影響. 日本調理科学会誌 **42**, 167–173 (2009).
113. 石田真弓 *et al.* うま味を利用した減塩料理の提案とその官能評価. 日本栄養・食糧学会誌 **64**, 305–311 (2011).
114. 飯田文子 & 三輪里子. 女性のチーズに対する食嗜好についての調査. 日本食生活学会誌 **9**, 45–51 (1998).
115. 中江利孝. 世界各国のチーズ. in 世界のチーズ要覧 85–344 (三洋出版貿易, 1982).
116. Bianchi, F., Careri, M., Chiavaro, E., Musci, M. & Vittadini, E. Gas chromatographic-mass spectrometric characterisation of the italian protected designation of origin ‘Altamura’ bread volatile profile. *Food Chem.* **110**, 787–793 (2008).
117. Herz, W. J. & Shallenberger, R. S. Some aromas produced by simple amino acid, sugar reactions. *J. Food Sci.* **25**, 491–494 (1960).
118. 味の素株式会社. アミノ酸ハンドブック. (2003).
119. Perpète, P. *et al.* Methionine catabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Res.* **6**, 48–56 (2006).
120. Yiping, W. *et al.* Novel method for L-methionine production catalyzed by the aminotransferase ARO8 from *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Agric. Food Chem.* **66**, 6116–6122 (2018).
121. Kim, B., Cho, B. R. & Hahn, J. S. Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for the production of 2-phenylethanol via ehrlich pathway. *Biotechnol. Bioeng.* **111**, 115–124 (2014).
122. Branduardi, P., Longo, V., Berterame, N. M., Rossi, G. & Porro, D. A novel pathway to produce butanol and isobutanol in *S. cerevisiae*. *Biotechnol. Biofuels* **6**, 1–12 (2013).
123. Seow, Y. X., Ong, P. K. C. & Liu, S. Q. Production of flavour-active methionol from methionine metabolism by yeasts in coconut cream. *Int. J. Food Microbiol.* **143**, 235–240 (2010).

124. Kiely, R. J., Nowlin, A. C. & Moriaty, J. H. Bread aromatics from browning systems. *Cereal Sci. Today* **5**, 273–274 (1960).
125. Salem, A., Rooney, L. W. & Johnson, J. A. Studies of the carbonyl compounds produced by sugar-amino acid reactions in bread systems. *Cereal Chem.* **44**, 576–683 (1967).
126. Onishi, M., Inoue, M., Araki, T., Iwabuchi, H. & Sagara, Y. Odorant transfer characteristics of white bread during baking. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **75**, 261–267 (2011).
127. Rychlik, M. & Grosch, W. Identification and quantification of potent odorants formed by toasting of wheat bread. *Leb. u.-Technol.* **29**, 515–525 (1996).
128. 森田亜紀, 早川文代 & 香西みどり. 色彩を用いたパンの香りの評価. 日本色彩学会誌 **67**, 149–162 (2020).
129. 森田亜紀, 早川文代 & 香西みどり. 色彩を用いたチーズブレッドの香りの評価. 日本食品科学工学会誌 **67**, 149–162 (2020).
130. Kihlberg, I., Ostrom, A., Johansson, L. & Risvik, E. Sensory qualities of plain white pan bread: Influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.* **43**, 15–30 (2006).
131. Hayakawa, F., Ukai, N., Nishida, J., Kazami, Y. & Kohyama, K. Lexicon for the sensory description of french bread in Japan. *J. Sens. Stud.* **25**, 76–93 (2010).
132. Sensorial, S. E. & Veterinaria, F. De. Textural quality of white pan bread by sensory. *J. Texture Stud.* **33**, 401–413 (2002).
133. Callejo, M. J. Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *J. Sens. Stud.* **26**, 255–268 (2011).
134. Lawlor, J. Ben, Delahunty, C. M., Sheehan, J. & Wilkinson, M. G. Relationships between sensory attributes and the volatile compounds, non-volatile and gross compositional constituents of six blue-type cheeses. *Int. Dairy J.* **13**, 481–494 (2003).
135. Heenan, S. P., Dufour, J. P., Hamid, N., Harvey, W. & Delahunty, C. M. Characterisation of fresh bread flavour: Relationships between sensory characteristics and volatile composition. *Food Chem.* **116**, 249–257 (2009).
136. Hansen, Å. & Hansen, B. Flavour of sourdough wheat bread crumb. *Eur. Food Res. Technol.* **202**, 244–249 (1996).
137. Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L. H., Larsen, E. & Thybo, A. K. 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 (2011).

138. Torri, L., Migliorini, P. & Masoero, G. 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 (2013).
139. Rusinek, R., Gancarz, M. & Nawrocka, A. 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 (2020).
140. Grosch, W. & Schieberle, P. Flavor of cereal products—a review. *Cereal Chem.* **74**, 91–97 (1997).
141. Pozo-Bayon, M. A., Guichard, E. & Cayot, N. Flavour control on baked cereal products. *Food Rev.Int.* **22**, 335–379 (2006).
142. 春原吉美. 香りと色の共感性. 日本官能評価学会誌 **14**, 109–113 (2010).
143. 野尻健介 *et al.* 色彩を用いた香り表現の検討～ Aroma Rainbow<sup>®</sup> の開発と応用～. 日本色彩学会誌 **42**, 209–212 (2018).
144. 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 **41**, 179–182 (2017).
145. 妹尾正巳 & 元永千穂. 香りイメージの色表現による伝達. 感性工学研究論文集 **7**, 497–503 (2008).
146. 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 **35**, 29–34 (2016).
147. 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 **41**, 183–184 (2017).
148. Birch, A. N., Petersen, M. A. & Hansen, A. S. Aroma of wheat bread crumb. *Cereal Chem.* **91**, 105–114 (2014).
149. Kokawa, M. *et al.* The effects of mixing and fermentation times on chemical and physical properties of white pan bread. *Food Sci. Technol. Reserch* **23**, 181–191 (2017).
150. 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 **59**, 303–307 (2010).
151. Jouquand, C. *et al.* Effects of maillard reaction products on sensory and nutritional qualities of the traditional french baguette. *J. Food Sci.* **83**, 2424–2431 (2018).
152. Sara, I. F. S. M., Wim, M. F. J. & Martinus, A. J. S. va. B. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food Sci. Technol.* **11**, 364–373 (2001).

153. Purlis, E. Browning development in bakery products - A review. *J. Food Eng.* **99**, 239–249 (2010).

## 謝辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言と丁寧なご指導を賜りましたお茶の水女子大学基幹研究院 香西みどり教授に深く感謝します。再入学を温かく迎え入れてくださり、すべての論文に対して詳細にご指導頂きました。論文作成にあたり、同研究室の佐藤瑤子助教や、食品貯蔵学研究室の村田容常教授にもご指導を頂きました。また、共同研究者である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早川文代氏には、統計解析の方法から考察まで仔細にわたってご指導、ご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

加えて、ご多忙にも関わらず、快く官能評価にご協力頂いた三菱商事ライフサイエンス株式会社パン資材事業部の研究開発グループの皆様には感謝致します。官能評価にあたり、お時間をとってご協力いただいたお茶の水女子大学調理学研究員の皆様にも感謝申し上げます。

最後に、お茶の水女子大学大学院修士課程を卒業後、いつもあたたかく見守り励ましてくださった、お茶の水女子大学名誉教授島田淳子先生、畑江敬子先生に感謝申し上げます。

お世話になった皆様へ感謝とお礼を申し上げたく、謝辞に代えさせていただきます。

令和2年10月6日

森田亜紀