

博士論文

食感性工学に基づくナチュラルチーズ
のおいしさ評価・設計法の開発

守田 愛梨

内容

第1章	序論	7
1.1	チーズの概要	7
1.1.1	ナチュラルチーズとプロセスチーズ	7
1.1.2	チーズ消費の歴史	8
1.1.3	日本のチーズ消費量の増加と低い国産割合	9
1.2	チーズの品質評価	11
1.2.1	官能評価	11
1.2.2	粘弾性特性の計測	16
1.2.3	香気特性の計測	17
1.2.4	定量的品質評価システム	23
1.3	食感性工学	24
1.3.1	食感性モデル	25
1.3.2	食感性工学に基づく先行研究	27
1.3.3	食感性工学の手法	28
1.3.4	食感性工学における先行研究の問題点	30
1.4	本論文の構成	32
第2章	分析型官能評価パネルによる評価用語と嗜好度に寄与する評価特性の探索	34
2.1	背景と目的	34
2.2	供試材料と方法	35
2.2.1	供試サンプル	35
2.2.2	分析型官能評価および嗜好度評価	36
2.2.3	統計解析	43
2.3	結果および考察	44
2.3.1	チェダーチーズの標準的官能評価用語との比較	44
2.3.2	分析型パネルによる官能評価と消費者パネルによる嗜好度評価	46
2.3.3	官能評価スコアから嗜好度を予測するモデリング	51
2.4	摘要	62
第3章	チェダーチーズの粘弾性試験法に基づいた食感評価モデルの開発	63
3.1	背景と目的	63
3.2	供試サンプルと実験方法	63
3.2.1	供試サンプル	63
3.2.2	粘弾性試験装置と設定条件	64
3.2.3	解析モデルによるパラメータの推算法	64
3.2.4	官能評価	66
3.2.5	統計解析	66

3.3	結果および考察	67
3.3.1	粘弾性パラメータと咀嚼回数との対応	67
3.3.2	粘弾性特性の主成分分析	70
3.3.3	官能評価スコア	72
3.3.4	咀嚼過程における食感と粘弾性計測特性との対応関係	72
3.3.5	食感評価スコアの予測に最適な粘弾性特性の探索法	75
3.3.6	クリープ試験と破断試験の組み合わせによる食感の ANN モデリング	78
3.3.7	すべての試験法のパラメータによる食感の ANN モデリング	79
3.4	摘要	81
第4章	PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた方法を用いた官能評価特性に寄与する GC-Olfactometry 香気成分の特定	82
4.1	背景と目的	82
4.2	供試材料と方法	83
4.2.1	供試サンプル	83
4.2.2	香気分析機器	83
4.2.3	官能評価	84
4.2.4	解析方法	84
4.3	結果および考察	85
4.3.1	供試サンプルの香気特性	85
4.3.2	嗜好度と香調用語における相互関係	89
4.3.3	香気成分と官能評価特性との相互関係の探索	91
4.4	摘要	98
第5章	総合考察	99
5.1	粘弾性特性によって嗜好度を予測するモデルの構築	99
5.2	香気特性パラメータによって消費者嗜好度を予測するモデルの構築	101
5.2.1	嗜好度に寄与する香気成分の探索	101
5.2.2	香気特性パラメータと消費者嗜好度間における ANN モデリング	104
5.3	異なる品質評価属性と官能評価スコアおよび嗜好度との相互関係性	109
5.3.1	品質特性の因子分析	109
5.3.2	因子分析によるサンプルのポジショニングマップ	111
5.3.3	品質特性と官能評価結果に基づく品質設計法	114
5.3.4	PLS-VIP による官能評価スコアに寄与を示す品質特性パラメータの特定 114	
5.3.5	複数の品質属性と官能評価スコアの相互関係の ANN モデリング	115
5.4	品質特性と嗜好度に基づく「おいしさ」評価設計法	116
5.4.1	PLS-VIP による嗜好度に寄与を示す品質特性の特定	116

5.4.2	ANNによる品質特性と嗜好度との非線形モデリング	120
5.5	摘要	122
第6章	結論と今後の展望.....	123
参考文献	126
謝辞	138

図目次

図 1-1	日本のチーズ総消費量の推移（千 t）（資料：農林水産省 チーズ需給表より作成）.....	10
図 1-2	分析型パネルに必要とされる能力.....	14
図 1-3	官能評価用選定および評価法検討の手順(例).....	15
図 1-4	Static-Headspace 法 SPME を使用した香気成分吸着管	19
図 1-5	Solvent assisted flavor evaporation (SAFE)装置.....	20
図 1-6	GC-O Charm Analysis [®] 測定装置.....	22
図 1-7	希釈分析を基本としたチャームバリュー（CV）の算出・表示法.....	22
図 1-8	食感性モデル（Ikeda et al. 2004）	25
図 1-9	修正食感性モデル（Ueda et al. 2008）	27
図 1-10	本論文の構成.....	33
図 2-1	官能評価用語選定の流れ.....	40
図 2-2	3層構造の ANN モデル例	44
図 2-3	官能評価因子による供試サンプルのポジショニングマップ	50
図 2-4	嗜好度に対して高い寄与示す官能評価特性の寄与順位と寄与方向.....	52
図 2-5	嗜好度に寄与する 5 つの官能評価特性	53
図 2-6	「白色」と「黄色」および嗜好度間の相互関係性	55
図 2-7	「白色」と「ミルク風味」および嗜好度の相互関係性.....	55
図 2-8	「白色」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性	56
図 2-9	「白色」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性.....	57
図 2-10	「黄色」と「ミルク風味」および嗜好度の相互関係性.....	57
図 2-11	「黄色」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性.....	58
図 2-12	「黄色」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性.....	58
図 2-13	「ミルク風味」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性.....	59
図 2-14	「ミルク風味」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性.....	60
図 2-15	「乾燥した食感」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性	60
図 3-1	粘弾性試験装置の概要図.....	64
図 3-2	クリープ曲線とパラメータ推算モデル.....	65

図 3-3	テクスチャプロファイル曲線と推算されるパラメータ	65
図 3-4	3層構造のニューラルネットワーク模式図	66
図 3-5	供試サンプルの荷重-歪率曲線	67
図 3-6	クリープ試験で得られた粘弾性特性パラメータ	68
図 3-7	テクスチャプロファイルの凝集性と付着性	69
図 3-8	供試サンプルの典型的な荷重-歪率曲線	69
図 3-9	粘弾性パラメータによる供試サンプルのポジショニングマップ	71
図 3-10	典型的な 2 バイト咀嚼による荷重経時変化曲線と粘弾性試験法の対応関係	73
図 3-11	最適な ANN モデルの構築のための粘弾性試験法の組み合わせを PLS によって探索するフローチャート	74
図 3-12	ANN モデリングにおける破断荷重[N]、弾性率 E1[Pa]および「かたさ」スコアの相互関係を示した応答曲面	78
図 3-13	ステップワイズ PLS-VIP の第 3 試行で得た「なめらかさ」スコアに高い寄与を示す粘弾性パラメータ	79
図 3-14	ANN モデリングにおける破断荷重[N]、かたさ荷重[N]および「なめらかさ」スコアの相互関係を示した応答曲面	80
図 4-1	供試サンプルの香調用語による香气構成	88
図 4-2	香气特徴因子 1 および 2 によるサンプルポジショニングマップ	90
図 4-3	「ヨーグルト臭」に対して高い寄与度を示す香气成分の変数重要度(VIP)およびモデル係数(W)	91
図 4-4	ANN モデリングによって得られた butyric acid と acetic acid および「ヨーグルト臭」スコアの相互関係を示す応答曲面	92
図 4-5	「マッシュルーム風味」に対して高い寄与度を示す香气成分の変数重要度(VIP)およびモデル係数(W)	93
図 4-6	ANN モデリングによって得られた methional と 1-octen-3-one および「マッシュルーム風味」スコアの相互関係を示す応答曲面	94
図 4-7	「ジアセチル風味」に対して高い寄与度を示す香气成分の変数重要度(VIP)とモデル係数(W)	95
図 4-8	ANN モデリングによって得られた δ -decalactone と 2,4-(E,E)-octadienal および「ジアセチル風味」スコアの相互関係を示す応答曲面	95
図 4-9	「渋味」スコアに対して高い寄与度を示す香气成分の変数重要度(VIP)とモデル係数(W)	96
図 4-10	ANN モデリングによって得られた phenylacetaldehyde と vanillin および「渋味」スコアの相互関係を示す応答曲面	97
図 5-1	ANN モデリングで得た付着性[J/m ³]、凝集性[-]および嗜好度の相互関係を示	

した応答曲面.....	100
図 5-2 嗜好度に対して VIP>0.80 の寄与度を示した香気成分名とその香調用語	102
図 5-3 嗜好度に高く寄与する 12 の香気成分とその香調用語	103
図 5-4 香気成分 γ -dodecalactone [-]および dimethyl disulfide [-]および嗜好度の相互関係を 示した応答曲面表示 ○：嗜好度極大点	105
図 5-5 香気成分 γ -dodecalactone [-]と dimethyl disulfide [-]および嗜好度の相互 関係を 示した応答曲面 ○：嗜好度極大点	106
図 5-6 標準 ANN モデルにおける香気成分 γ -dodecalactone [-] と 2,5-dimethyl-4- hydroxy- 3(2H)furanone [-]および嗜好度の相互関係を 示した応答曲面 ○：嗜好 度極大点.....	107
図 5-7 嗜好度に正に寄与する成分のみを使用した ANN モデルにおける香気成分 γ - dodecalactone [-] と 2,5-dimethyl-4-hydroxy- 3(2H)furanone [-]および嗜好度の 相互関係を 示した応答曲面 ○：嗜好度極大点.....	108
図 5-8 因子 1 と 2 によるポジショニングマップ	111
図 5-9 因子 3 と 4 によるポジショニングマップ	112
図 5-10 因子 5 と 6 によるポジショニングマップ	113
図 5-11 香味属性「酢酸風味」に寄与した品質特性の寄与度(VIP)とその寄与方向(W)	114
図 5-12 ANN モデリングにおける acetic acid と butyric acid および香味属性「酢 酸風味」スコアの相互関係を 示す応答曲面	115
図 5-13 品質特性 60 パラメータの嗜好度に対する寄与度および寄与方向	117
図 5-14 嗜好度に高く寄与する 14 の品質特性パラメータ	118
図 5-15 ANN モデリングにおける凝集性と γ -dodecalactone および嗜好度の相互 関係を 示す応答曲面	120
図 5-16 ANN モデリングにおける凝集性と dimethyl disulfide および嗜好度の相互 関係を 示す応答曲面.....	121

表目次

表 1-1	欧米と日本における官能評価の歴史と評価・統計解析法の発展（上田, 2009 を引用）	13
表 2-1	供試サンプルの生産国・地域、製造日および熟成期間.....	36
表 2-2	供試サンプルの化学成分組成.....	36
表 2-3	1次官能評価用語 106 語.....	38
表 2-4	1次官能評価用語の信頼性.....	39
表 2-5	実用官能評価用語 38 語	41
表 2-6	実用官能評価用語定義書.....	42
表 2-7	香り、風味および味に関する 22 官能評価用語とその定義および標準物質	45
表 2-8	分析型官能評価と消費者嗜好度の統計分析結果	47
表 2-9	38 語の評価スコアから得た 6 つの官能評価因子と因子負荷量.....	49
表 3-1	供試サンプルの 3 つの主成分負荷量.....	71
表 3-2	PLS 回帰式の予測精度一覧表	76
表 4-1	GC-MS 分析による供試サンプルの 98 香気成分の香気濃度値.....	86
表 4-2	GC-O 分析による供試サンプルの 43 香気成分の香気強度と香調用語	87
表 4-3	チェダーチーズの 14 香調用語を分類した 6 つの香気特徴因子	89
表 5-1	ステップワイズ PLS-VIP の適用による香気成分の絞込み.....	103
表 5-2	品質特性の因子負荷量とその累積寄与率	110

第1章 序論

1.1 チーズの概要

1.1.1 ナチュラルチーズとプロセスチーズ

近年、食品に一定の温度や時間などの保持・保存条件を与えることによって、食品の風味や品質を向上させ、おいしくする操作として、「熟成」食品がブームとなっている（おいしさの科学企画委員会 2011）。その中でも、食品を微生物や酵素の働きを利用して熟成させる発酵食品は、その発酵に関わる酵素が体に与える好影響などが注目され、健康ブームとも相まって特に好まれている。食品の品質を決定づけるのは、その色艶などの見た目はもちろんのこと、味、香り、口の中でのテクスチャなどといった物理化学的な性質である。食品を発酵させることによって、それらを総合した風味や香味を引き出して楽しむことが発酵食品の醍醐味となっている。

さまざまな発酵食品が世界中で親しまれているが、その中でもチーズは世界中で広く食されている発酵食品のひとつである。すべてのチーズは、ナチュラルチーズとプロセスチーズの2通りの属性に大別される。ナチュラルチーズは、生乳そのもの、もしくは乳酸菌を添加した乳から水分を除去して固め、発酵熟成させたものであり、ヨーロッパ、オセアニア、そしてアメリカなどをはじめとして世界各地でそれぞれ独自の製法で作られることが多い。そのため、世界各地でおよそ1,000種を超えるナチュラルチーズが存在しており、地域の食文化に根付いた日常食として親しまれている。このように各地で製法が違うさまざまなチーズが存在する理由は、各地域の文化的背景や家畜の違い、家畜の生育環境や気象条件の違いなど様々な要因が考えられている。各種ナチュラルチーズの最大の特徴といえるその独特で個性あふれる風味とテクスチャは、熟成によって形成されたものであり、これらの特徴的な風味の形成には、熟成の過程におけるチーズブロックの大きさや水抜きの方法、その時間、初期含水率およびその操作をする際の温度・湿度など実に多くの条件が関係している。しかしながら、ナチュラルチーズはまさに生き物といわれるように、その熟成の具合を人為的にコントロールすることが難しく、保存時間や温度・湿度によっても品質が劣化しやすいために、その保存性の確保と品質管理が難しい食品の一つである。

他方、ナチュラルチーズの保存性と品質管理におけるさまざまな課題に対応するために開発されたチーズがプロセスチーズである。プロセスチーズは、ナチュラルチーズを加熱溶解することによって、その熟成が食用に適切と判断される段階でその進行を止め、品質変化を抑えたチーズである。加えて、高温で処理を施すことにより殺菌効果が得られるため、発酵と並行して発生するリスクのある腐敗の可能性を低減することができる。すなわち、プロセスチーズは、ナチュラルチーズの課題とされてきた保存性と品質の安定性の両方の向上を可能とした食品である。さらに、プロセスチーズは原料となるナチ

ナチュラルチーズに対してその物理化学的な性質を制御する溶融塩や少量の水分を添加して加熱溶融して作られることにより、特に小規模生産のナチュラルチーズに多く発生していた品質のばらつきを克服し、均質な製品を生産することが可能となった。また、ナチュラルチーズの組織を加熱溶融する工程を経ることにより、複数の異なる風味を持つナチュラルチーズを混合したり、意図した物理化学的な性質や好ましい風味を添加したチーズ製品を設計したりすることが可能となった。

1.1.2 チーズ消費の歴史

チーズの生産には一般的には家畜動物の乳を使用するため、チーズはその地域での主要な家畜種やその生育環境に依存するものが多い。したがって、チーズの製造量はその原料乳の生産量に大きく左右される。チーズに使用される乳には、主に牛乳や羊乳、山羊乳などがある。川島 (2009)によると、牛乳は 2005 年には世界で 6 億 2,800 万 t 生産された。この数値は、1961 年の 1.8 倍に相当するが、この間に世界の総人口は 2.1 倍に増加しているため、一人あたりの実質の生産量として換算すると、牛乳の生産量は減少したことになる。これは、特にアジア地域において牛乳および乳製品を消費しない人口が増加したためであると考えられている。日本において牛乳は、飲料として認識されることが多いが、例えばフランスでは全牛乳生産量の 16% しか飲用とされず、約 71% はチーズやバターなどの加工品の原料として使用されている (川島 2009)。このようにアジアと比較して欧米やオセアニア地域では、乳を日常食として飲用だけではなく日常的な加工食品の一つとして古くから伝統的に摂取していることがうかがえる。

そもそも人がチーズを食べるようになった起源は、紀元前 2000 年ごろにまでさかのぼる。もともとは、羊の胃袋にその乳を入れて水筒として使用していたところ、偶然にも胃袋内のレンニン(rennin, 子ウシなどの胃に存在する酵素)によって乳が固められてチーズが作られたことがチーズの起源であるとされている。少なくともすでにローマ帝国時代には、チーズは人々の生活に欠かせない食品であったとともに重要な産業の一つとなっており、紀元前 36 年以後には詳細なチーズの製造方法が残されている。特にヨーロッパにおいてチーズの製法は、中世の修道院や封建領主によって大切に継承され、長い歴史の間にそれぞれの地方の特色を反映してさまざまな種類が今日まで作り続けられている(日本乳業協会 2014)。

発酵食品であるチーズは、熟成に伴う多様多様な風味と食感を有する。そのため現代においては、しばしばその独特な風味と食感のために個人によって嗜好度が大きく異なる食品の一つに挙げられることが多い。例えば、日本人にとってはナチュラルチーズよりも身近なチーズとして先にプロセスチーズが挙げられる。日本国内におけるチーズ消費は、第 2 次世界大戦後における食の洋風化に伴い、特に、1960 年代に学校給食においてプロセスチーズが採用されたことを契機として、一般市民の日常の食生活にも急速に浸透したと考えられている (酪農ジャーナル 2010)。また、その後も大阪万博の開催や

海外旅行者の増加、また、ピザやパスタなどといったチーズを使用した西洋食の普及が次々と起こり、それ以降、日本国内におけるチーズ消費は、均質でチーズ特有のクセを抑えたプロセスチーズによってけん引されてきた。これは、風味とテクスチャに強いクセをもつナチュラルチーズよりも、比較的プレーンで何を食べても似たような風味のプロセスチーズの方が日本人には馴染みやすかったためである。このことから、日本人のチーズに対する嗜好はプロセスチーズによって形成されたものと考えられた。ナチュラルチーズの持つバラエティに富んだ風味と食感は、白米と味噌汁と漬物の素朴な食事で育った日本人には当初からあまり受け入れられなかったため、1950年までの日本人の年間チーズ消費量はわずか10gにも満たなかった。このことから、当時から日本人の口には、ナチュラルチーズが受け入れにくい食品であったことが容易に想像できる。また、国内のチーズ製造などを行う乳業企業等の立場においても、プロセスチーズは保存性や品質の安定性が高いためその品質管理が行いやすく、かつ、チーズの風味を制御できるなどという利点があった。そのため乳業企業各社は、プロセスチーズ生産に主体を置くことによって消費者に受け入れられやすい、すなわち、売れるチーズを作ることができていた。このように、近年までの日本におけるプロセスチーズの大量生産および消費状態は乳業企業にも消費者にも受容される妥当なものであったと考えられた。一方で歴史的にはその後、食の西洋化および多様化に伴い、従来食されてきたもの以外にも、多様多様な食経験を日本国内にしながらにして得ることができるようになったことに起因して、徐々に日本人はバラエティに富んだナチュラルチーズを受け入れるようになってきている。

1.1.3 日本のチーズ消費量の増加と低い国産割合

2012年の日本のチーズ総消費量は前年度比6%増を示し、その中でもナチュラルチーズ消費量は前年比12.8%の増加であった(図1-1)。チーズ総消費量の約60%がナチュラルチーズ製品であった(MAFF, 2013)。ナチュラルチーズは、チーズ総輸入量の約96%を占め、直接消費だけではなく主にチェダーやゴータチーズから作られるプロセスチーズの原料にも用いられる。しかしながら輸入されたナチュラルチーズのうち、一部のみは国産プロセスチーズの原料として使用されるとはいえ、国内のチーズ消費量に占める国産チーズの割合は16.4%にとどまっていた。このように、国内におけるチーズ総消費量は緩やかに伸びている現状にありながらも、それに占める国産割合は未だ2割にも満たず、そのほとんどを輸入品によってまかなっている現状がある。

乳製品は、国内の酪農産業に関わる重要品目のひとつであるが、現時点においても生乳以外の乳加工品の市場競争力は圧倒的に輸入品に差をつけられている。これは、日本における国産品と比較した場合におけるアメリカやニュージーランドなどの乳業大国における生産コストや生産効率の良さとの差によって生じたものであり、もはや日本の酪農・乳業関係者の生産・経営合理化努力などでは打開が困難な差であるといえる。

さらに加えて、もし今後、環太平洋経済連携協定（TPP）などによって乳製品への関税撤廃が実施されたときには、さらに国内生産の乳製品への大きな影響があることが予想される。特に、チーズに関しては、国産プロセスチーズの製造は生き残ることができるとしても、そのプロセスチーズの原料となるナチュラルチーズをはじめとして、現状以上に多くのナチュラルチーズが価格的に優位な海外産のものに置き換わることが容易に予想される。そのような日本の乳業界に大きな影響が出る前に、我が国のチーズ消費量における国産割合を少しでも向上させ、乳価の国際価格に左右されないような安定的な供給を行うための対応を図る必要があると考えられた。以上のような日本の乳業と消費を取り巻く問題からも、現在、国をあげての国産ナチュラルチーズの増産・強化が求められている現状にある。

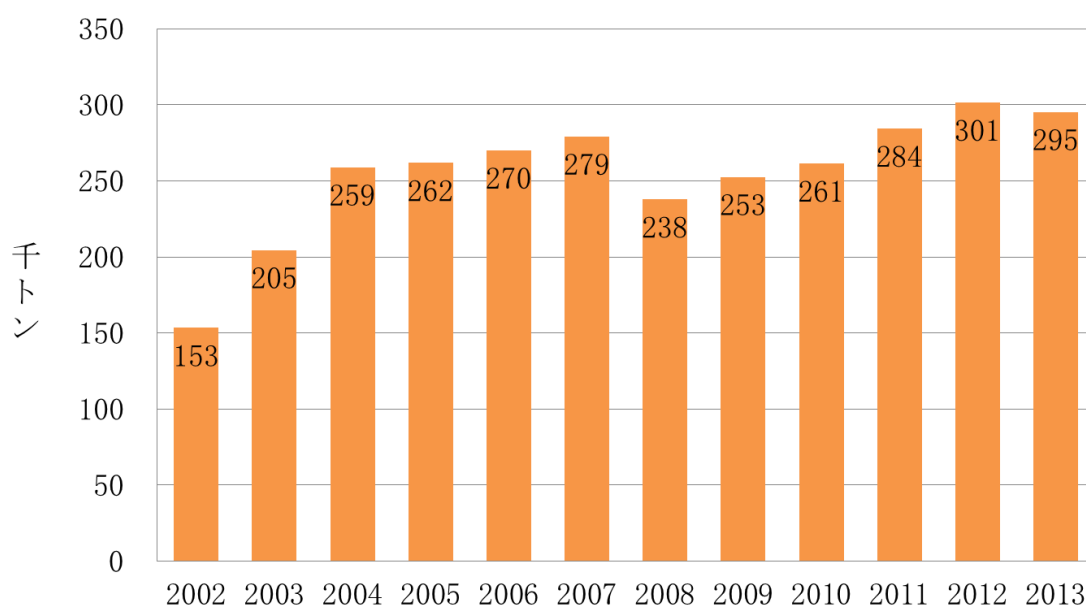


図 1-1 日本のチーズ総消費量の推移 (千 t) (資料：農林水産省 チーズ需給表より作成)

消費量と国産割合の問題以外にも、国内の乳業を取り巻くさまざまな現状に起因して、近年、我が国では国産のナチュラルチーズ生産が注目されている。その要因のひとつとして、日本の生乳需給における長期的な余剰乳問題があるが、ナチュラルチーズはその余剰乳の解消策として期待されている。近年の国内生乳生産量は、酪農業の衰退が進む都府県においては減少の傾向がある一方で、北海道ではその規模拡大が進められており増加傾向にある。しかしながら、生乳の用途の多くを占める飲用牛乳の需要が生乳生産量を上回る減少率で減少しているために、結果として大量の余剰乳が発生するという問題に直面しているのである（若林 2010）。そのため農林水産省や乳業関連団体では、このような余剰乳の問題解消のための方策のひとつとして、ナチュラルチーズなどの生乳

加工製品への生乳供給の拡大方針を打ち出している。さらには、その方針に従い、大手の乳業企業を中心として、酪農業が堅調である北海道においてナチュラルチーズ製造工場の新設や製造ラインの増設・拡充を進めている。また、小規模のナチュラルチーズ関連産業においても、地域の特産物としての新製品開発や生乳への高付加価値化を目的としたナチュラルチーズ生産に取り組む事例が増加している（若林 2007）。

このように、現在、単純なチーズ消費量の増加だけではなく、さまざまな事情が折り重なったうえで、日本国内における国産ナチュラルチーズの増産・拡充の必要性が高まりを見せている。特に国内乳業企業には、国産ナチュラルチーズの増産・拡充に向けて、輸入ナチュラルチーズに引けを取らない高い競争力を持ったナチュラルチーズの生産が期待される。先にも述べたように、アメリカやニュージーランドといった乳業大国では広大な農地を生かした効率の良い酪農がおこなわれており、それに伴って乳製品も大量生産できる環境が整っているため、生産コストも低く抑えることができる。他方、日本では、北海道ではかろうじて酪農業が堅調な生産力を保っているものの、全国的にみると、とても乳業大国の製品に対して価格的に優位に立つことはできない程度の生産力しか持ち合わせていない。そのため、日本における乳製品製造、特にナチュラルチーズにおいては、生産性や価格による比較優位を目指すのではなく、消費者から価格は多少高くても品質や「好みを満たす」という点で選ばれる製品を生産することが重要となると考えられた。そのニーズを実現するための取り組みの一環として、現在、国内乳業企業では、日本人消費者に受け入れやすいナチュラルチーズ生産のための品質評価・設計法に基づいた製品開発の必要性が高まっている現状にある。

1.2 チーズの品質評価

チーズの品質評価の対象は、大きくわけて2つに分類することができる。第一には、消費者が食べたときに感じる「品質」、すなわち「おいしさ」に直結する官能的な評価による品質特性である。第二には、チーズの物理化学的な性質を分析機器などにより計測した値が、食品として適切なものであるかどうかといった観点によって評価される品質特性である。チーズ製造の現場ではこれら2つの品質評価対象を評価するために、官能評価と物理化学的な性質を計測する機器計測の両方を行うことが多い。以下に、官能評価と主な機器計測手法に関して述べる。

1.2.1 官能評価

人に摂食される食べ物には、以下の3つの機能があることが知られている。一次機能の身体に対する栄養素の働き、二次機能のおいしさを表す感覚器官に対する香味成分の働き、そして三次機能の生体調節機能である(Arai et al 2008)。例えば機能性食品であれば、その効能を検証することは必須となるが、日常的に持続してその食品を摂取してその効果を得るためには、「おいしさ」が求められることは当然のことである。特に、日

常の食品や嗜好性の高い食品に関しては、そのおいしさを維持し向上させることが重要となる。

分子生物学などの分野では、おいしさの最大の構成要因のひとつである味覚の本質を解明する研究が近年活発化している。さらには、食に関する嗜好性についても遺伝子のレベルで説明ができる可能性が示されている(Abe, 2008; 2009)。このように、科学技術が進歩してきており、これまでは機器やロボットによっては再現不可能とされてきた生命や人体の機能に関して少しずつ科学的に説明することができるようになってきた。しかしながら、最も原始的でもある人の食行動については「おいしさ」という因子の解明が未だなされていない。そのため、現在においても人の五感によるおいしさ評価の把握については、官能評価が重要な役割を担っている(上田, 2009)。

日本で食品に対して、人の感覚による品質評価が行われた記録として、1907年に清酒の第一回全国品評会が開催されたという記録があり、日本において行われた最初の官能評価による品質評価であるといえる。表 1-1 に、上田(2009)による欧米と日本の官能評価における評価手法および統計解析に関する情報を示す。欧米と日本のどちらにおいても、人による品質評価の契機となったのはアルコール飲料であった。欧米においても、官能評価が科学的な品質評価の手法のひとつとして考えられるようになったのは、第二次世界大戦中からであり、官能評価が心理学や統計学などを総合した理論的な品質評価手法と認識され始めてからまだ歴史が浅いことがわかる。しかしながら、人の食物選択行動における感覚的知覚を説明する重要なツールとなるため、食品の官能評価に関する研究はさまざまな食品群に対して実施されている。

チーズのフレーバー研究に焦点を当てると、最も有用である官能評価手法は記述的な評価方法である(Meilgaard et al. 1999)。近年、日本の食品企業における官能評価体制において多く導入されている記述的な評価手法として **Quantitative descriptive analysis: QDA** 法がある。1979年に制定された日本工業規格である **JIS Z9080 官能検査通則**において、QDA法は日本語で定量的記述的試験法と訳され、「あらかじめ作成した評価用語の一覧から選んだ用語を用いて、試料の官能特性を再現性のある方法で評価する試験方法または理論的方法。試料の総合的な印象に寄与する属性を各々強度尺度で評価し、その結果を試料の官能プロファイルの決定に用いる。」とある(日本規格協会 2004)。

表 1-1 欧米と日本における官能評価の歴史と評価・統計解析法の発展（上田, 2009 を引用）

年代	欧米諸国			日本		
	官能評価の歴史	評価手法と統計手法	代表的文献	官能評価の歴史	評価手法と統計手法	代表的文献
1940以前	酒造法と酒の香味との関係の解明を試みる統計学(帰無仮説、有意差検定、誤差など)の考え方の提唱が始まる	フェヒナーの法則 (Fechner 1860)	研究者のための統計的方法 (R.A.Fisher 1925)	清酒の第一回全国品評会が開催される(1907)		清酒の成分と科学的審査 (黒野、1936)
		回帰の法則 F.Galton (1822~1911) 誤差変動 Studentのt-分布 W.S.Gosset(1908) 相関係数 Pearson.K (1857~1936) 因子分析法 C.Spearman(1904) 多因子モデル Thurstone(1931) 2点試験法 (S.Conver 1936)	比較判断の法則 (Thurstone 1927) 「実験計画法」ふりわけ識別法 (R.A.Fisher 1935)			
1940	第二次世界大戦中、アメリカ用食の研究に官能評価が利用されはじめる 工業における品質管理の官能検査に統計学が導入される 工業規格の新しい国際機構 (ISO) 設立 (ジュネーブ 1947)	1:2識別試験法(シーグラム社 1941)ウイスキーの出荷テスト法に導入 生体ニューロンのモデル化 (McCulloch&Pitts 1943) 採点法		日本科学技術連盟創立 (1946) Deming博士来日 (GHQ 1947)	林の数量化理論 (林知己夫 (1945~1953)) I 類 (質的データの回帰分析) II 類 (質的データの判別分析) III 類 (対応分析)	
1950	経済と競争の成長及び加工調理食品の発展時代。大学・食品産業が官能評価に着目し始める。 カリフォルニア大学デビス校、官能評価専門家養成コースを提供 オレゴン州立大学・マサチューセッツ大学・トラガーズ大学他もコースを設定	フレバープロファイル法 (Arthur D.Little社 1950) 応答曲面法 (Box & Wilson 1951) SD (Semantic Differential 法 (Osgood 1952)) Scheffe's-1 対比較法 (H.Scheffe 1952) 時間強度測定 (Arthur D.Little社 1958) 順位法・嗜好尺度	実験心理学 スチーブンスの法則・ベキ法則 (Stevens, S.S 1951) 尺度構成の理論と方法 (トガーソン 1958)	品質管理「デミング賞」創設 (1951) 日科技連: 官能検査部会発足 (1955) 醸造工業技術者による聞き酒研究会 (1956) 味の素(株) 官能検査室 & 味覚審査員システムを導入 (1956) 食糧研究所、官能検査室の設置 (1957) 日科技連: 第一回官能検査セミナー (1957) 食品工業技術者による食品官能研究回足 (1959)	統計的品質管理・官能検査導入期	林の数量化理論 (林知己夫 (1945~1953)) IV 類 (多次元尺度構成法)、V 類、VI 類
1960	食品にテクスチャー用語が使われる サイコロロジーと官能評価研究が出現	テクスチャープロファイル法 (1963) 共分散構造分析 (Bock-Bergmann 1966)		人間工学委員会発足 (1962) 味の素(株) 官能評価システム導入 (1988)	市場の競争と国際化/PCによる統計解析導入期	PC導入期 官能検査ハンドブック 日科技連 1961
1970	本格的消費者研究/PC統計解析の時代 消費者を対象とする手法開発が進められる	対応分析 (Correspondence analysis) Bencri 定量的記述分析(QDA) 法 (Stone et al. 1974)		味の素(株) 官能評価システム化 (1976)	多変量解析全盛期	Scheffe's-1 対比較変法 (中屋 1970)
1980	欧米の調査団が多数訪日して日本のQC方式を視察 ISO9000シリーズ制定 (1987)	分散構造分析の数理モデルの拡張期		味の素(株) 官能評価PCシステム導入 (1988)	日本型QC方式の吸収と新システム導入期	統計的品質管理(GQC)ブーム 双対尺度法 (Dual Scaling) (西里静彦 1982)
1990		ANN (Artificial Neural Networks) (Ferid U.Dowla and Leah L. Rogers 1995)		ISO9000シリーズ対応JIS制定 (1991)		
2000	「Umami」が第5の原味として世界に認識される			日本味と匂い学会誌創刊 (1994) 官能検査研究会休会 (1996) 官能評価学会設立 (1996) 東京大学・日本味と匂い学会 宇味発見100周年記念公開シンポジウム開催 (2008)		

組織内における官能評価の主たる目的は、開発研究や生産技術開発の場面における分析型評価によって、試作品などの微妙な特性差を把握することにある。他方、消費者対象の官能評価の目的は、消費者の受容性や嗜好性を把握することである。そのため、食品開発に際しての消費者対象の官能評価では、消費者による関連商品の評価要因、嗜好特性や開発の方向性の検討材料としてデータが収集される。また、消費者による評価結果は、評価商品群のポジショニングのデータから分析を行うことによって、未開発の領域や特性を持つ新商品群を開発するための戦略構築にも使用される。そのため、事前にターゲットとする消費者層を限定することが重要であるとされている。

商品開発においては、消費者パネルの嗜好感覚による評価が重要ではあるが、開発の第一段階としては、その対象食品に対して高い専門的知識および品質評価経験を持った分析型パネル(官能評価を実施する評価者グループを指す。)による綿密な評価が必要となる(古川, 上田, 2012)。一般的に分析型パネルは、図 1-2 に示す能力を有することが求められ、製品のトライアングルテスト、生成と製造に関するテスト、味や風味の理解および識別試験、記述的評価表現の訓練などによってその能力を育成する。

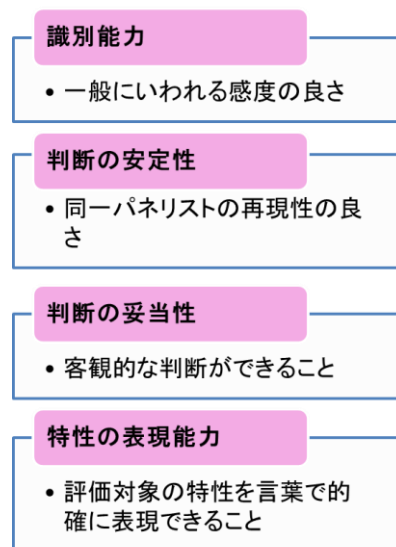


図 1-2 分析型パネルに必要とされる能力

また、食品の官能評価を行う際には、パネルの負担を軽減した上で、定量的で有用なデータを得るために、食品の魅力構造を表現する最小限の適切な評価用語の選定および再現性の高い評価条件の設定が必要である。それらの精度によって、官能評価の結果が大きく影響される。例えば、実験の目的にあった用語を選定すべきであることや、用語を抽出する対象者が一般消費者であるのか訓練された分析型パネルであるのかによって評価に使用される用語は異なる。また分析型パネルに関しては、パネル間での用語

の定義・認識を一致させることができれば、たとえパネリスト(パネルを構成する個々の構成員を指す。)が使用しなかった用語であっても官能評価用語として含めることができる」とされている。しかし嗜好型の消費者パネルには、意味が理解しづらい用語や複数の定義を持つ用語は使用に適していないといえる。

図 1-3 に官能評価用語選定および評価法検討の手順の一例を示す。まず、対象食品の官能評価用語となりうると思われる用語をブレインストーミングやアンケート調査などの手法を用いて収集する。その後、官能評価パネルによって KJ 法などを用いて用語を分類整理した後に共有化し、スクリーニングを行う。次に用語の定義づけを行い、官能評価パネリストの全員が用語の定義を共通理解できるまで定着を図った上で、予備的な官能評価を実施する。その結果を用いて、再度その使用度や類似度を統計解析の手法により定量的に検討し、官能評価パネルのディスカッションによって定性的に整理し、最終的な官能評価用語を選定する。

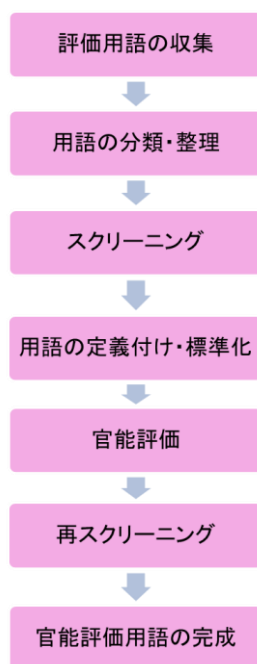


図 1-3 官能評価用語選定および評価法検討の手順(例)

以上のように、食品の官能評価を行う際には官能評価パネルと使用する評価用語を適切に選定する必要がある。

荒井ら (2010) は、我が国において消費者のチーズ嗜好調査を実施している。また、池上 (2011) は、プロセスチーズの消費者による官能評価と QDA パネルによる官能評価を実施している。消費者の嗜好度を調査する目的ではなく、より詳細にチーズの品質特性を解明することを目的とした官能評価には、官能評価のために訓練されたパネルを使用することが一般的とされるが、Singh et al.(2003) によると、チーズの品質特性を評

価するパネルの育成訓練は最も難しい官能評価パネルの育成の一つであり、高い評価能力を持ったパネルの育成のためには少なくとも 75 時間から 100 時間の継続的な訓練期間が要される。多くの研究において、チェダーチーズの官能評価パネルの育成および官能評価用語の収集が行われてきた (Muir and Hunter, 1991; Mcewan et al., 1989; Barcenas et al., 2004; Murray and Delahunty, 2000a, b; Drake et al., 2003; Drake et al., 2005; Drake et al., 2008; Drake et al., 2009; Lamparski et al., 2006; Donadini et al., 2012; Santillo et al., 2012)。特に、Drake et al. (2001) では、これまでに行われてきた多数のチェダーチーズの官能評価に関わる研究に対して、それぞれの研究で使用された官能評価用語とその用語定義および評価の尺度が異なるために、研究成果の比較が困難となり、さらには研究の再現可能性の低下を招いていることを指摘している。そこで、Drake et al. (2001) はチェダーチーズを 240 サンプル収集し、学術機関、産業界および政府関係者からなる 15 名の参加者によって官能評価用語を厳密に選定し、最終的にチェダーチーズのフレーバーを表す標準的な官能評価用語として 17 用語を選定し定義づけした。Drake et al. (2001) により官能評価用語が標準化されて以降、多くのチェダーチーズの官能評価に関連する研究ではその標準的な官能評価用語が参照され使用されている。

1.2.2 粘弾性特性の計測

食品に関する研究において、例えばチーズや煎餅などといったある種の食品においては、その味や香り・風味など以上にその食感といったものがおいしさに大きく影響しているという事実が徐々に認識されてきた。1960 年代に入り、ようやく食品の味や香りのみならず、その食感もおいしさ認知に影響を与える要因であると考えられはじめ、また同時に、食感という因子も科学的に定量評価することのできる計測対象であると認識されるようになった。しかしながら、食感に関して何らかの物理計測的測定値を得ることが出来たとしても、それら測定値のみでは直接的に食品を説明することは困難であることが知られている。なぜなら、粘弾性計測で得られた何らかの粘弾性測定値は、人による官能評価の結果との対応づけを行うことが必要とされるからである (井筒、野口、1984)。

チーズの物性測定方法として、試料に微小な変形を与えて、主に線形粘弾性に関する物性値を算出する方法と、大きな変形領域の中で試料を破断・破壊することによって得られる測定値を利用する方法の 2 つの方法が考えられる。物性測定の方法は多岐にわたっており、クリープ試験、応力緩和試験、圧縮試験、破断試験、針入度試験、テクスチャ試験などが挙げられる。

クリープ試験などのように、試料に与えた微小変形を観察する測定方法は、測定条件を正確に設定して実験を行うことにより、一定の再現性のある物性値による結果を得ることができるため、レオロジー計測においては、基礎的な測定方法として考えられているものである。また、食品製造の観点から、試料についてのミクロ的な観察によって得

られる物性評価は、製品の食感形成を考える上で重要となる。一方で、圧縮試験や破断試験といった方法は、その名の通り、試料の状態を機器によって大幅に圧縮したり破断したりすることによって得られる物理計測値を基にする方法である。そのため、得られた物性値は比較的再現性が良くないことが多く、また、理論的に容易に解釈することが出来るものは少ないというデメリットが指摘される。しかし、試料に対してマクロ的な視点でその大まかな変形を短時間で計測することが出来るというメリットも併せ持っている。しかしながら、一般的に、人の口腔内での食品の食感変化は複雑であり、物理計測値によって一概に説明することは難しいことから、試料に対してマクロ的な視点で観察する方法は、より人による官能評価結果との対応がよい物性測定方法であると考えられている。

チーズの粘弾性計測は、その工業的な生産管理をおこなうためにも、また、適切な品質管理制御においても重要である。また、多種多様で複雑なチーズの食感を定量評価するために、多くの研究が行われている。Everett and Auty (2008) は、近年のチーズの粘弾性計測に関する多くの手法を紹介しており、同時にチーズの構造とその機能に関してはさらなる計測手法の開発が求められていると述べている。Fukushima et al. (1964)は、チーズに対してクリープ試験、応力緩和試験および強制振動非共振法による動的粘弾性測定を行い、プロセスチーズおよびナチュラルチーズがとる粘弾性の範囲、プロセスチーズの保存中の粘弾性変化およびプロセスチーズの粘弾性と水分含量との関係などを検討している。Brown et al. (2003) は、熟成期間の短い若いチーズの官能的特性および食感特性に関する研究を行い、熟成したチーズほどそのかたさに関する官能評価スコアは減衰し、粘性および弾力性に関するスコアは増加することを示した。Foegeding and Drake (2007) は、チーズの食感に関する官能特性と粘弾性の機器計測を行い、その中で、チーズのかたさと弾力性に関して、その官能評価結果と機器計測結果に高い相関関係があり、一方で、チーズの口の中での崩れ方、付着性および結束感についての官能評価結果は、その機器計測結果との間に相関関係はない、もしくは低いことを報告している。

1.2.3 香気特性の計測

人が鼻から吸い込んだ香気成分は、鼻腔の奥にある嗅繊毛上に分布する嗅覚受容体と反応することによって香りと認識される。嗅覚は他の感覚器官と比べて生理学的な解明が遅れていたが、Buck と Axel による遺伝子の PCR 法を駆使した研究により嗅覚受容体の存在が示唆されて以降はメカニズムの解明が急速に発展し、近年の研究では人には300 個余りの嗅覚受容体があり、この受容体で数十万もの香りを嗅ぎ分けているといわれている ((Buck and Axel 1991;東原, 2004)。

食品に関して、味やテクスチャは、人が対象に接触しなければ測れないのに対して、においは接触しなくても嗅ぐことによって測ることができるため、食品選択時の重要な要因になりうることは想像に難くない。食品から立ち上る総合的なにおいが、食品のお

いしさに寄与するということは周知であるといつてよい。しかし、その一方で、においが食品のいしさにどのように寄与するかの詳細な見地は希薄な状況である。

揮発性物質はその名の示すように、物理特性として低沸点化合物であることが挙げられる。そのため、揮発性物質の分離の基本は蒸留によるものである。食品によって含水量の高い物はそのまま加熱することにより、水蒸気蒸留よりも比較的高沸点の化合物であっても大気圧下 100℃で流出させることができる。これは、水不溶の多層多成分系では、その成分の蒸気圧と水の蒸気圧の和が大気圧と等しくなることで沸騰により両者が流出するからである。すなわち、水に不溶で沸点が 100℃以上の熱により分解しやすい揮発性物質であっても、この方法により 100℃で蒸留することができる。以上の条件を満たす分子構造は、第一に分子量が低く、その上限は 400 を超えない。また、官能基の数は少なく、特に分子間結合、親水性を示す液性基の数は限られる。したがって、分子構造は比較的簡単であり、即知の化合物が多いことから定性的研究では同定の作業が主となる。一方で、そのような揮発性物質の存在量は微量であり、通常の商品中の含有量は ppm から ppb の単位で表される。またその組成は複雑であり、抽出法や抽出液の濃縮具合によっては、200 から 300 成分が検出されることもある。そのため、高分解能を有し、高感度の検出器を備えた分離用機器が要求される。そして分子構造の同定においては、簡単な構造にも関わらず、絶対量の不足と短い走査時間が各種スペクトル分析の応用を制限しているといえる。

揮発性成分組成の分析と食品の香気特性の関連について問題となるのは、香気の実現である。香気の実定は、最終的には人の感覚に頼らなければならない。しかしながら、色彩における原色のように物理的基盤が明確なものや、味における生理的に独立の感覚として認められる原味（一般的に基本味や 5 味と表現される、甘味・酸味・苦味・塩味・うま味）に相当するような原香は存在しない。そのため、香気の実定や特性を外的基準として分析結果との相関を求めるとき、その数量化が大きな問題であるといえる。

食品から流出する香気は無数の香気成分によって構成される。それら香気成分の分析を行う際に、どのような香気成分が抽出されるかは、その抽出方法に大きく依存する。そのため、評価したい知覚品質に関わる成分を正確に抽出する方法を用いることが望まれる。

香気成分の収集法、抽出法には様々な方法が採用されており、目的に応じて使い分けが行われている。以下に主な手法を示す。

(1) SDE (Simultaneous Distillation Extraction) 法

SDE 法とは、水蒸気蒸留抽出法の一つで食品素材の香気成分の分析に広く用いられており、分子量が大きく、揮発性の低い成分の抽出に優れた、効率の良い方法である。短所としては、装置が複雑であり、極性のある化合物の捕集が困難で抽出に比較的長い時間を要することから、結果の実現性において劣る点が挙げられる。

(2) Static-Headspace 法

Static-Headspace 法とは、図 1-4 に示すような SPME (Solid Phase Microextraction) などの吸着剤を用いて試料から揮発する香気成分を採取する方法である。この方法の長所は、簡便かつ少量の試料で分析が可能であり、試料を粉砕する必要がないことである。短所は、熱脱着による試料導入法を用いる場合には香気の確認が不可欠であることである。



図 1-4 Static-Headspace 法 SPME を使用した香気成分吸着管

(3) SAFE (Solvent Assisted Flavor Evaporation:高真空蒸留器) 法

SAFE とは、1999 年にミュンヘン工科大学の Engel らが開発した装置および手法のことを指す(Engel et al. 1999) (図 1-5)。油脂を多く含む食品から効率よく香気成分を分離するために使用する抽出器によって、高真空の減圧条件下で香気成分の抽出を行う器具である。そのため、室温から約 45 °C までの範囲の一定の温度条件下で香気成分が分離されるため、熱による 2 次生成物が少なく、また揮発した成分は液体窒素で捕捉されるため、香気成分の損失が少ない。さらに蒸発時の表面積を大きくできるため、時間的な効率化を図ることができる。また、再現性がよい抽出方法であるとされており、SAFE を使用することによって、微量でかつ不揮発性の香気成分の捕集が可能となる。SAFE を使用することによって、ヘッドスペース法では捕集が難しい、微量でかつ不揮発性の香気成分の捕集が可能となる。試料は SAFE 装置に注入された後、室温から 45°C までの範囲に温められたウォーターバスを通り蒸留される。この時、試料に含まれた油脂やカロチノイド等の難揮発性成分は蒸留されずに残留する。揮発性成分は-196 °C の液体窒素トラップによって捕集され、香気成分を含んだ蒸留液を得ることができる。多くの場合、ここではエーテルや塩化メチレン等の有機溶剤と香気性揮発性成分の混合液を得ることができる。

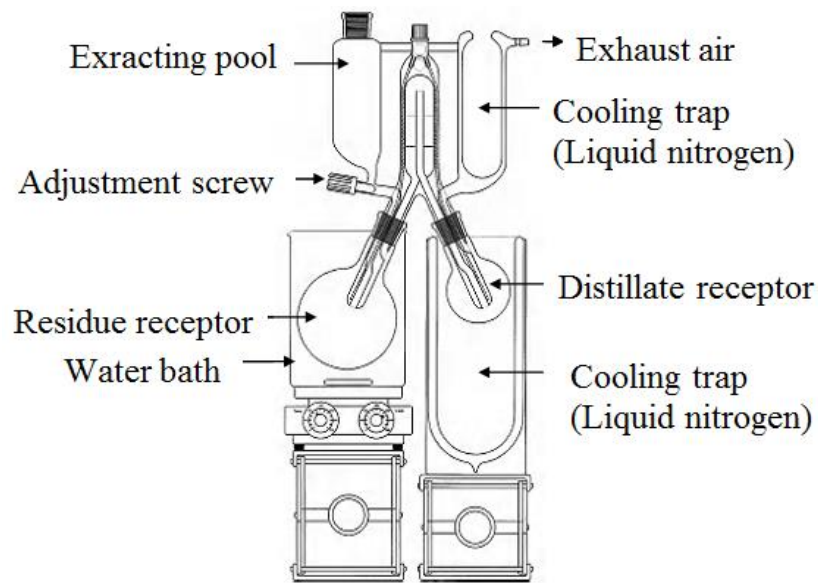


図 1-5 Solvent assisted flavor evaporation (SAFE)装置

香気成分の定量分析には、Gas Chromatography-Mass Spectrometry(GC-MS)を用いた機器分析法が確立されている。GC-MS は成分同定が可能で高い再現性を有することから香気成分のような微量成分の分析には広く利用される。香気成分の同定は、Kovats インデックスとフラグメンテーションのパターンが標準品と一致することを基準として行い、Kovats インデックスは、炭素数 6~28 の直鎖飽和炭化水素を測定する GC-MS における保持時間と Kovats インデックスの相関を基準にして保持時間から変換することにより、各ピークの値を算出する。しかしながら GC-MS では、検知濃度の低い成分の検出は難しく、またその検出結果は必ずしも全体の香りを示しているとはいえない。その原因として、香気成分は混合により知覚強度の増減や質的变化が生じることがあり、また、香りの強い物質ほど検知閾値が低い点が挙げられる。

一般的に、人が食品と対峙した際に感じる食品から流出するにおいについての計測は、人を対象とした官能評価を行うことにより実現することができる。しかしながら、より詳細に食品から流出するにおいを定量的に評価・判断することは、人による官能評価の結果をもとにするだけでは、官能評価パネルによるばらつきが大きく、また、食品からのおいの流出量やその強度を正確にコントロールし表現することは困難である。そこで、これらの問題点を打開する手法として、GC-Olfactometry(GC-O)が近年注目されている(Leland et al.1999, 2014)。GC-O とは、ガスクロマトグラフと人の嗅覚を組み合わせた機能を有し、種々のカラムによって分離された香気成分につき、その香り活性を嗅覚によって評価することができる装置である。機器分析では検出することのできない香りの特徴およびその強度を数値化することが可能であり、総合的な香りに対して寄与率の高い成分の検索も可能である。人の鼻は、しばしば物理的な検出器より高感度に応答する

ことが知られており、その点で GC-O は食品のフレーバーや香水、そして香料などの分析に適用され、匂いや香りに影響を与えている物質を決定する手法として利用されている。また、GC-O 分析にも様々な方法が考案されており、その分析の目的に応じて使い分けが行われている。以下に主な手法を示す。

(1) GC-O : AEDA 法

GC-O : AEDA 法は、匂いの強度 (寄与率) を数値化するために、Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) 法が用いられる。この手法は、試料を順次希釈し、希釈率の低い、すなわち濃度の高いものから匂い嗅ぎを行い、ある成分の匂いが認められなくなった際に、匂いが感じられた最大の希釈率をもとに試料の匂いへの寄与率を数値化することができる。

(2) GC-O : Charm Analysis®

GC-O : Charm Analysis®は、米国・コーネル大学の Acree et al. (1984)により開発された香りの定量化手法であり、香り成分の希釈倍率およびスニッファー (試験者) の検知時間から、人の官能特性を考慮した香りの測定値、すなわちチャーム値を定量することが可能である。分析装置 (図 1-6) はスニッファーに香りを供給するスニффィングポートが取り付けられたガスクロマトグラフ (GC)、およびデータ格納用のパソコンから構成される。GC-O : Charm Analysis®の特徴は、図 1-7 に示したように希釈分析を基本としていることにある。例えば、香気成分を含む抽出液を用いて GC-O 分析を行った後、次回は抽出物を一定の割合、例えば 3 倍希釈して再度 GC-O 分析を行う。抽出液を 1/1、1/3、1/9、1/27、1/81 と希釈して GC-O 分析を繰り返し行い、ピークを一つも検出できなくなるまで希釈を続ける。希釈分析の結果は統合されてアロマクロマトグラムというグラフが出力される。アロマクロマトグラムにおいて、匂いを検出した長さを加味して各ピークの幅に反映し、チャームバリューとオドースペクトラムバリュー (OSV) が算出される点が CharmAnalysis®の特徴の一つである。チャームバリューはアロマクロマトグラムの各ピーク面積を数値化したもので閾値を加味した匂いの量に比例する。チャームバリューを標準化することで、匂いの相対的な強さを表したのが OSV で、下記の数式によって算出されている。

$$OSV = (CV_i / CV_{max})_n \quad (1-1)$$

$$\Psi = k\Phi_n \quad (1-2)$$

このとき、 CV_i は i 番目のチャームバリューを表し、 CV_{max} はチャームバリューの最大値を示す。(1-1)式中の n は、物理的刺激の実際の大きさとそれを知覚する際の強さとの関係を示したスティーブンスの法則における(1-2)式中の n と同義であり、この(1-2)式で Ψ は感覚刺激の強さを、 k は定数、 Φ は刺激の強さを、 n は乗数の定数を示す。このとき、 n は本来、香気成分ごとに異なる数値を持ち通常、0.3 から 0.8 とされている

が、CharmAnalysis®においては全ての香気成分に対して、同じ 0.5 という中間値をあてはめて OSV を算出している。

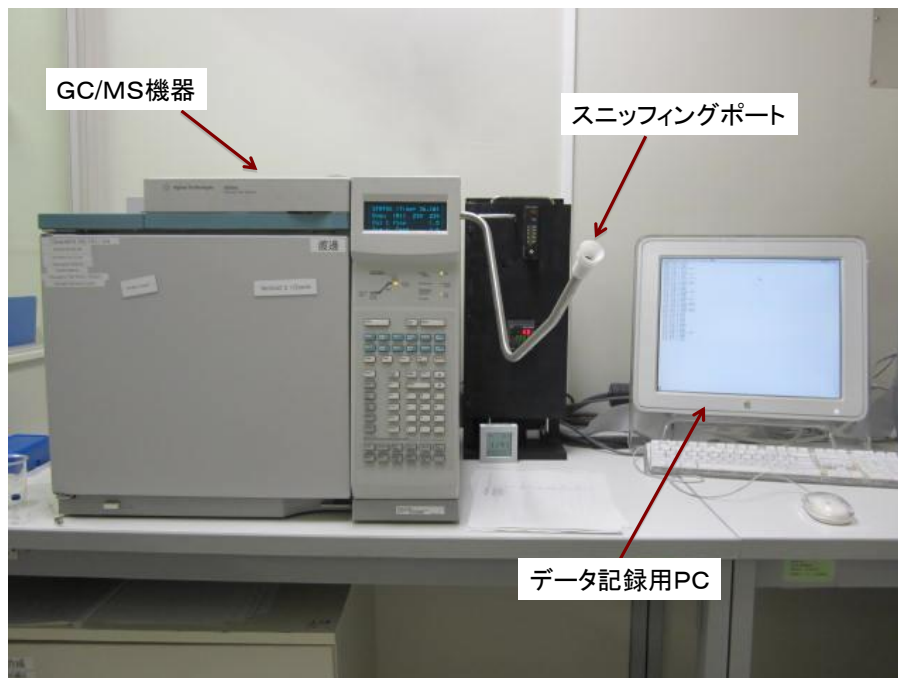


図 1-6 GC-O Charm Analysis®測定装置

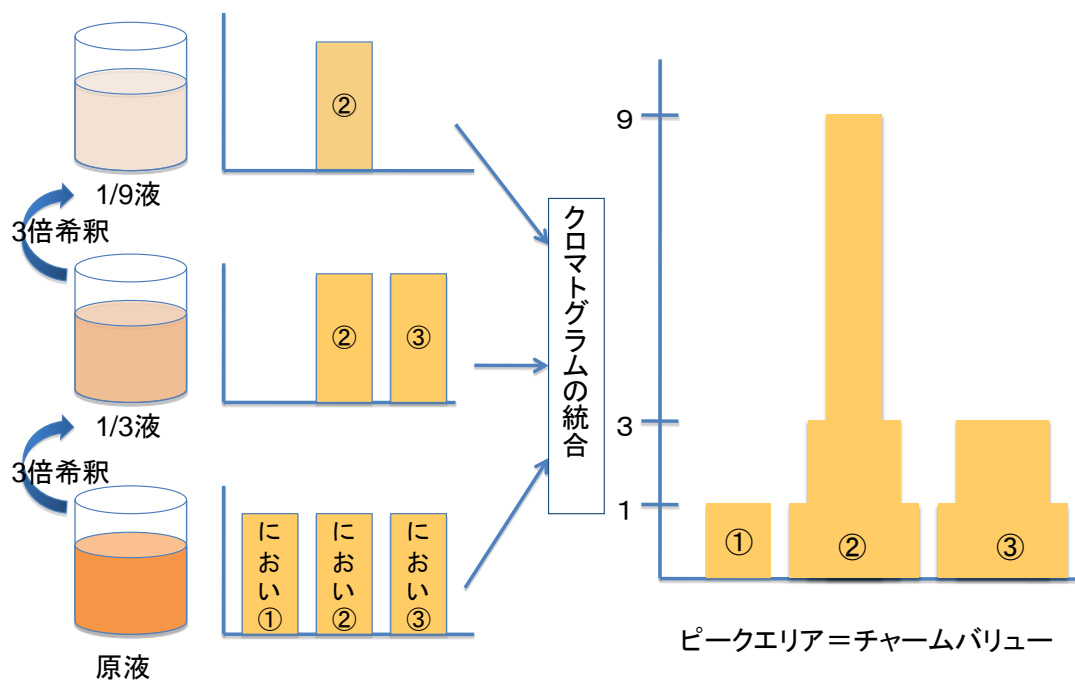


図 1-7 希釈分析を基本としたチャームバリュー (CV) の算出・表示法

チーズの香り、味および風味は、チーズの持つ最重要の官能特性の一つであるため、さまざまなアプローチによってその香り、味および風味といった香味に関する研究がされてきている(Muir and Hunter, 1991; Benjamin et al., 2012)。特にチェダーチーズの香気特性に関しては、Component Balance Theory (Mulder, 1952, Kosikowski and Mocquot, 1958) が提唱されており、多様な香気成分による厳密な配合バランスの上に成り立っていると考えられている。しかしながら、その理論に則り、香気成分の発生原因やそのフレーバーを明らかにし、その情報をもとに、純正な香気物質を混合することによってモデルチーズを作成した研究では、完全にチェダーチーズと同一の香気構成を再現することはできなかつたと報告されている (Fox et al. 1995; McGorin 2001; Parment and McGorin 2000)。Drake et al. (2003) は、熟成チェダーチーズについて電子嗅覚センサーと記述的官能評価による分析を行った。その結果、記述的官能評価の結果による供試サンプルの分類と同様に、電子嗅覚センサーは香気をもとにして化学的に熟成チェダーチーズのサンプルを分類することができることが確認された。また、O’Riordan and Delahunty (2003) は、チェダーチーズの品質評価方法に関して、従来から行われてきた、いわゆる官能評価と市場調査による評価方法と電子嗅覚センサーによる評価の比較を行っている。その結果、電子嗅覚センサーによって、チーズ専門家が等級分けしたチーズの分類を再現性よく見分けることができると明らかにした。また、Zehentbauer and Reineccius (2002) は、GC-O と DHDA(Dynamic headspace dilution assay)を用いて、チェダーチーズの主要香気成分の同定を行った。その結果、2,3-butandine、(Z)-4-heptenal、methional、2-acetyl-1-pyrroline、dimethyl trisulphide、1-octen-3-one、(Z)-1,5-octadien-3-one、furanol、(Z)-2-nonenal および(E)-2-nonenal がチェダーチーズの主要香気であると報告している。

1.2.4 定量的品質評価システム

Sundaram (2008) は、チーズの定量的品質評価方法が複雑で、一つの評価システムとして確立されてこなかった要因を論じている。それは、チーズの生化学的な構成物質によるその品質特性に対する影響への研究と理解が不足していたためだけでなく、多様な品質属性を客観的に特徴付けることのできる最適な品質評価方法がないためである。そして、よりよいチーズ品質評価手法の構築のためには、今までは注目されてこなかったチーズを構成する品質属性間の構造的相互作用について探索を進める必要があると述べている。チーズを構成する品質属性の異なるパラメータ間についての研究例として、Wang and Sun (2001) は、コンピュータビジョン手法を用いて、チェダーチーズの加熱調理中のメルト性と褐色化反応に関する相互関連性について品質評価を行っている。その中で、チーズのレオロジカルな反応であるメルト性の変化と外観の化学的変性反応である褐色化について、チーズの品質変化を同時に可視化して評価することを可能としている。また、チーズの品質特性評価をシステムチックに行った研究例として、Ercan et al.

(2011) は、スペインの伝統的なセプトチーズを供試材料に用い、官能評価、物理化学的特性の計測、テクスチャ計測および香気成分の計測を行っている。そのほかにも多くの先行研究においてチーズの品質を定量的に把握し制御するために、機器計測による品質特性の計測と官能評価を行っている(Hernandez-Morales et al. 2010; Hough et al. 1996; Pripp et al. 2006; Lamparski et al. 2006; Lucey et al. 2005)。

1.3 食感性工学

近年、食品を含む商業製品に対する人による品質評価研究が注目されている。この傾向は比較的欧米諸国で顕著であり、日本などのアジア圏における関心度は未だ低い。特に食品に関しては、その傾向が強くみられる。これは、食料消費の形態の転換時期の違いによるものであると考えられる。一人当たりの一日のカロリー摂取量が約 2,000 kcal のとき十分に健康的なカロリー摂取量であると考え、それ以上のカロリー摂取は過剰となり飽和状態になる。欧米諸国では、アジア圏と比較してかなり早い段階でそのカロリー摂取量を超し、食料消費の形態が飽食の段階に突入したといえる。飽食の段階では、人が健康に生存するために必要なカロリーは十分に摂取できるため、食料生産の基本軸は量よりも質に移行する。これまでは、大量生産・大量消費を行うための生産効率化や技術革新が求められてきたが、「量よりも質」への転換が求められる現代においては、品質の良いものやより嗜好性の高いものを生産することが必要になったのである。そのために、人による品質評価研究を欧米諸国がアジア圏に先んじて着目したことは当然の流れであると考えられた。また、sensory science に積極的に取り組む国には経済先進国が多く、先進国における品質評価研究ほど研究例の蓄積数が多い。これも、「量よりも質」への転換が早く発生した国において、品質評価研究の重要性が認識されて盛んに研究されるからであると考えられた。

従来の「量」を重視する食品製造では、生産量や生産効率などというように数値でその達成度合いを定量的に示すことができた。また「量」はグローバルに基準が統一されているので、誰が見ても明確に判断することができた。しかしながら、「質」は個人によって重視する観点が異なるために定量化することが難しい。さらには「質」と一言にいてもその表現は実に抽象的であり、何を質と定義するのかといったことすら統一された見解が少ないため、「質」の本質を科学的にとらえることは難しいと考えられた。

食品製造において「量」から「質」へのパラダイムシフトが起こることによって、徐々に注目を集めるようになったことが、食品を食べる人による評価の重要性である。いかに、栄養面や見栄えを充実させた食品を製造したとしても、現実的には「おいしい」と人に判断されたもののみが消費者に選ばれる。そのためにも、人が感じる「おいしさ」を定量的に分析し、「おいしさ」を設計可能とする手法が必要とされた。そのようなニーズを受けて、食感性工学が提唱された(相良 1994, 1999a, 1999b, 2001, 2002, 2009a, 2009b, 2009c)。食感性工学は、消費者起点の食品の品質設計・開発のための方法論であ

る。食感性工学の目的は、「食品に対する人の味覚や嗜好を何らかの理工学的手法によって計測し、再現性や客観性の高い数量化された情報を得るためのシステムを確立すること」とされている。そのため、食感性工学では、主に、食品の物理化学的特性と官能特性とを変数として扱った人の食行動のモデル構築を行うことを最終目標としている。

1.3.1 食感性モデル

食感性工学の理論的枠組みには、人個人における五感コミュニケーションを表すモデルとして「食感性モデル」が提唱されている（図 1-8）(Ikeda et al. 2004)。

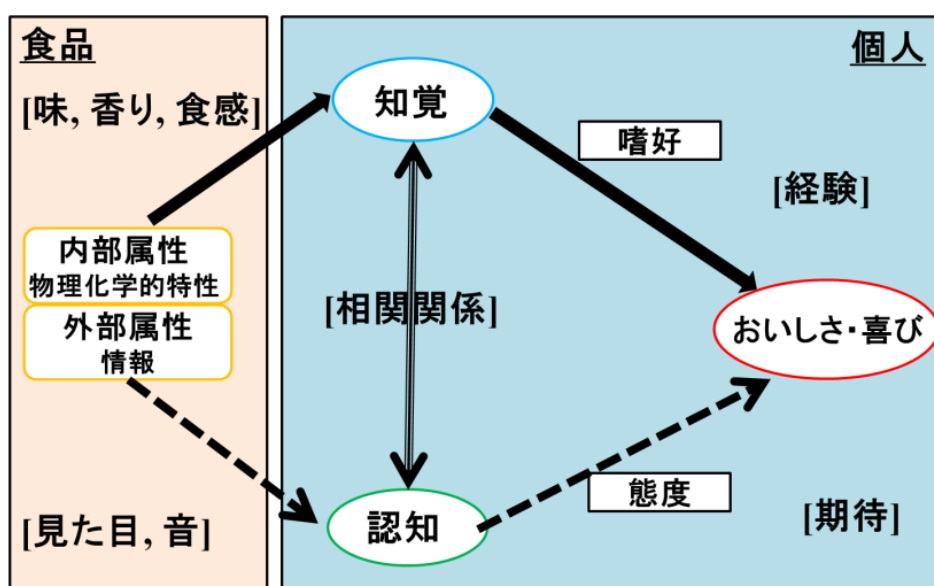


図 1-8 食感性モデル (Ikeda et al. 2004)

食感性モデルは、人が食行動の短時間に感じる感情の変化を、システム化して定量的に取り扱う体系的数理モデルであると定義されている。食感性モデルの目的は、人が感じるおいしさの感情とその要因との定量的関連性を明らかにすることによって、おいしさに影響を及ぼす品質設計上の要因を明らかにし、食品の設計および最適製造条件の探索手法を確立することにある。

図 1-8 に示すように、「おいしさ」を客観的な事象であり、摂食場面において生起する感情の一つであるにとらえると、その誘発機構に関連する要因は、知覚的要因、認知的要因および要求的要因の3つに大別される(往住 1994)。知覚的要因とは、食品の有する内的属性、すなわち、外観、成分、構造に由来し、摂食時に人のさまざまな感覚器官によって味、香り、食感などとして知覚される外的な刺激である。認知的要因とは、製品の有する外的属性、すなわち、価格やパッケージなどの付加情報に由来し、消費時に人によって認知される外的な刺激である。要求的な要因とは、人の有する心理的・生

理的条件に由来し、例えば甘党、辛党の人が示す嗜好的なこだわりや、空腹時の人の嗜好、あるいは知識や習慣、体験などによって形成される個人の態度を通じておいしさの感じ方に影響する内的な刺激である。

しかしながら、数多くの成分を有する食品を扱う実践的な手法を確立するためには、食品の持つ物理化学的特性と人の感情とを同時に扱った上でそれらの相互関連性を検討する必要がある。そこで、食感性モデルは、おいしさに影響する要因を、食品の有する①内的属性および②外的属性と、人の有する③嗜好および④態度の4つの属性とし、おいしさが生じる過程をこれらの要因間における相互作用として記述している。すなわち、おいしさが生じる過程は、人が食品の味、香り、食感を知覚する経路と食品のイメージを認知する経路および知覚と認知の双方向における対応の経路によって構成されるということである。

知覚の経路とは、内的属性から知覚へ向けた経路のことである。食品の物理化学的特性は、主に味覚、触覚によって味、香りそして食感として知覚される。知覚された食品の「品質」は、人の好ましさの判断基準となる嗜好に基づいてその価値を判断され、結果としておいしさの感情が生起される。

一方で認知の経路とは、外的属性から認知へ向けた経路を指す。食品に付加された情報は主に視聴覚によって人の認識下に表象あるいは固有の事物として生じ、その食品のイメージとして認知される。その後、認知されたイメージは、人の好ましさの判断基準である態度に基づいた価値判断をなされた後に、おいしさの感情が生じる。

最後に、知覚と認知の双方向における対応の経路とは、知覚と認知の間の相互関連を示す経路のことである。人の摂食場面において、上述した知覚と認知の経路は相互に関連しあいながら常時、感情の変化を生じさせているものと考えられる。

このモデルの有用性は、食品そのものが保有している物理化学的な特性と人個人の持つ食嗜好性などといった心理的要因を抽出し、それらの相互関連性を明らかにし、さらには、目的とする製品設計や最適な製品設計条件の探索を可能としている点にあるといえる。また、食感性モデルにおける認知の経路（図 1-8 参照）に対して、異なる集団間の類似性に影響を及ぼす要因として考えられる個人の年齢、性別および料理経験や喫食経験を含んだ「個人属性」からの認知経路を付加した「修正食感性モデル」が新たに提唱されている（図 1-9）（Ueda et al., 2008）。

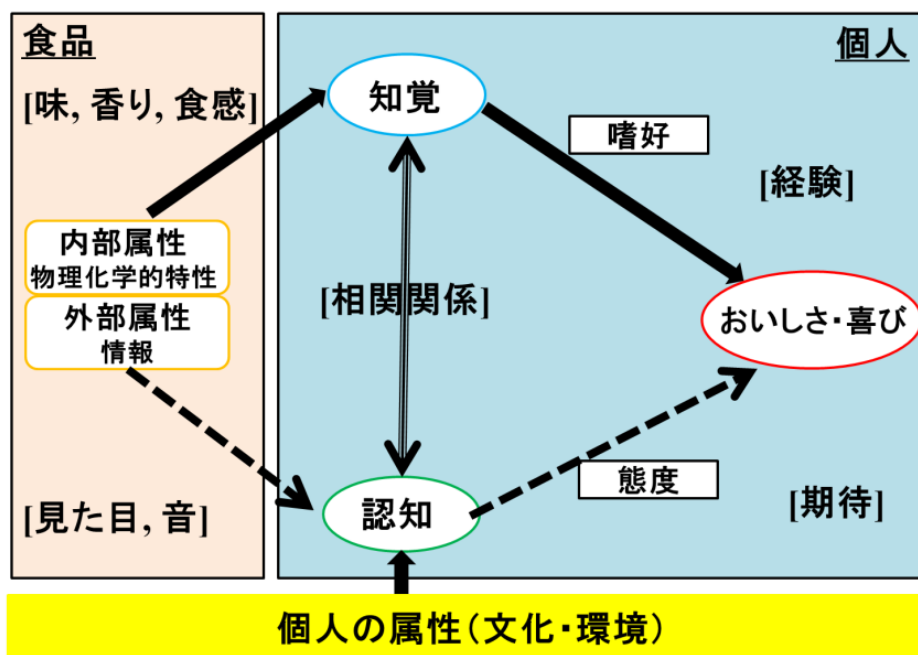


図 1-9 修正食感性モデル (Ueda et al. 2008)

1.3.2 食感性工学に基づく先行研究

食感性工学に基づいた先行研究はさまざまな観点から行われている。池田ら(2003)は2次多項式の説明変数にビター飲料の苦味および甘味成分を適用し、その目的変数に官能特性をあてはめて、化学成分と官能的な評価との関係性を定量化した。Ikeda et al. (2006) では、ごまドレッシングの香り成分について GC-Olfactometry (GC-O) を用いて計測し、官能評価結果との重回帰分析によって、butanethiol, prenyl mercaptane, 2-methyl-3-franthiol および dimethyl trisulfide などの硫黄臭と相関の高い香り成分を特性してた。また、Michishita et al. (2010)は、GC-Oによって計測したチルドカップコーヒーの香り成分と官能評価の結果をニューラルネットワークを用いて関連付けることにより、2-furanmethanethiol, 4-hydroxy-2, 5-dimethyl-3(2H)-furanone, 2-methylbutyric acid および 3-methylbutyric acid がロースト香の増減に寄与していると報告した。そのほかにも、官能特性に「おいしさ」を加え、「おいしさ」の最大化および最適設計を試みた先行研究もある。Ikeda et al. (2004)は緑茶飲料の味成分および官能評価データに対して ANN を適用してモデル化を行い、女子学生、女性社会人、男性社会人の別にそれぞれに好まれる味成分の最適配合設計を行った。さらには、同様の手法に則って、和風のドレッシングにおける最適な物性値の算出も行われている(川橋, 2007)。その後、食感性工学に基づく研究として、Shibata et al. (2008)は食感性モデルに基づいたデニッシュペストリーの食感の最適設計手法の開発を行った。その結果として、供試サンプルの選択から構築したモデルの検証までを含めた 6 つのステップを経ることによって食感性モデルに基づいた食品の品質最適設計法を提唱し、デニッシュペストリーの食感の最適設計のための変数

として6つの物性に関するパラメータを特定した。

1.3.3 食感性工学の手法

食感性工学において、機器計測による品質特性と人による官能評価のデータとを有効に関連付ける方法として多くの多変量解析手法が用いられている。その中でも、多変量解析にデータセットを適用することによって数学的に機器計測によって得たデータと官能評価で得たデータとの相互関連性を説明しようとするものが多い。以下に、近年、食品分析において頻繁に取り扱われるようになった partial least square regression(PLS)および artificial neural network (ANN)の概要について紹介する。

(1) Partial least square regression (PLS)

Partial least square regression (PLS)は、偏最小2乗回帰と和訳される回帰分析手法のひとつであり、主に計量化学分野で一般的に用いられている(Geladi, 1988; wold et al., 2001; Rosipal and Kramer, 2006)。計量化学の分野では、スペクトルの検量などというようにサンプルサイズと比較して変量となる波長数が圧倒的に多い場合や変数間での共線性が高いといった場合に有用とされている。近年では、回帰分析の精度を高めるためだけではなく、次元縮小もしくは関連因子の抽出などという用法でも使用されることが多い(橋本、田中 2010)。PLSは、データをそのまま使用せずに潜在因子を計算し、その潜在因子への回帰を行う手法である。このときの潜在因子を計算する際の重みは、潜在因子と目的変数との共分散が最も高くなるように計算し、潜在因子間は無相関の関係性を保つように逐次求められる。その後、求められた潜在因子の一部に対して最小2乗法によって回帰係数を推定する。以下に、最も代表的な Non-linear iterative partial least square (NIPALS, 非線形反復部分最小2乗法)アルゴリズムを示す。

$X: n \times k$, 説明変数 (予測因子), $Y: n \times m$, 目的変数 (応答) とするとき、

$$X = TP^T + E \quad (1-3)$$

$$Y = UQ^T + F \quad (1-4)$$

$$U_a = b_a t_a + h \quad a=1, \dots, A \quad (1-5)$$

(1-3)および(1-4) : X 変数と Y 変数の outer relation 行列、(1-5) : X および Y 行列の inner relation

このとき、

$T = (t_1, \dots, t_A)$ と $U = (u_1, \dots, u_A)$: X と Y の潜在因子スコア

P と Q : X および Y の応答負荷量行列

A : 潜在因子数

b_a : inner relation 行列の回帰係数

E および F : X および Y の残差行列

h : inner relation 行列内の残差ベクトル

上記のアルゴリズムを回帰モデルに十分な精度が得られるまで繰り返し行うことにより、モデル化を行う。PLS では、得られたモデルの目的変数の予測精度の評価にその重相関係数(R^2)を用いる。また、説明変数の選択とそれらの目的変数に対する寄与度が必要な場合にはステップワイズ PLS-VIP(Variable importance in projection)法 を適用し VIP 値とモデル係数(Weight of model; W)を閾値として用いる。この手法においては、先行研究で得られた見地から $VIP > 1.0$ を示す説明変数が特に重要であると判断することが多い (Wold et al., 1993, 2001; Chong and Jun, 2005; Jun et al., 2009)。

近年では、計量化学分野のみならず、PLS を食品成分の分析手法として使用する研究例も多い。食品からは多くの有機化合物により構成されるが、それらから得られる成分およびデータ間には多くの場合、強い相関関係があり多重共線性の問題も存在するために、従来の回帰分析手法のみではモデル化が不可能なことが多かった。そこで、食品の分析データに対して、PLS を適用することにより、相関性や多重共線性といった課題を解決することができるため、近年では食品研究に関わる多くの場面で PLS が使用されるようになった。Jack et al., (1993) は、チェダーチーズについて、消費者による官能評価とチーズの研究開発分野で主に計測されているパラメータを用いた物性計測を行い、主成分分析や PLS を解析手法として用いてそれらのデータセットから最も人の感じる食感を識別することのできるパラメータの探索を行った。Muir et al., (1997) は、工場で大規模生産されたチェダーチーズと酪農家の工房でつくられた手作りチェダーチーズのフレーバーおよび食感について、PLS を用いて比較研究を行った。その結果、手作りチーズにおいて未殺菌の生乳から作られたチーズが unclean/manorial なフレーバーに高い関連性を示すことが分かった。また、工場生産のチーズより手作りチーズの方がより多様なフレーバーおよび食感によってモデルが構築されることなどが分かった。そのほかにもチーズの品質評価について、PLS は近年頻繁に使用されている(Martin et al. 2002; Wouters et al. 2012; Jack et al. 1993, 1995; Pripp et al. 2006; Hough et al. 1996; Karoui et al. 2007)。

(2) Artificial neural network (ANN)

ANN は、人の脳内における神経系の学習パターンを模して造られた情報処理ネットワークおよび数理モデルのことを指す。ANN は、多変量の入力データセットの間に存在する非線形の関係性を近似する際に有用とされる数理的手法である。

一般的に用いられる階層型 ANN では、一般的な線形モデリングでの説明変数に相当する入力層、目的変数に相当する出力層、およびそれらの中に隠れノードを収納するための中間層を挟んだ、合計 3 層によって構成される階層式のモデル構造をとる。3 層の間はシグモイド関数で接続されており、そのことによって入力層の値から出力層の値を

予測することが可能となる。さらには、中間層におけるノード数を増加させることによって、モデルの柔軟性が増し、その結果、モデルの近似精度が向上する。このように、ANN の利点としては、あらかじめ多項式のようにモデルを特定せず、すなわち、中間層におけるノード数などを決定しておかなくても、任意の非線形関数へデータを近似することが可能となる点に特色があるといえる。また、多項式のように実験計画的にあらかじめデータをモデル化のために用意する必要がないことも利点といえる。しかしながら、ANN の弱点としては、モデルの柔軟性が非常に高いために入力したデータセットに対して過剰に近似が行われる、いわゆるオーバーフィットの可能性が生じることがあげられる。また、ノード数やオーバーフィットを防ぐためのオーバーフィットペナルティなどといった解析者によって恣意的に操作できる条件設定があり、パラメータの決定には多くの試行錯誤を繰り返さなくてはならないなどの点が弱点としてあげられる (Wilkinson and Yuksel 1997; Goyal 2012, 2013)。

1.3.4 食感性工学における先行研究の問題点

これまでに紹介してきた食感性工学における研究手法の多くは、緑茶やチルドカップコーヒーなどの飲料やドレッシングといった液状の食品に適用されてきた。液状の製品は、そもそも液状であるのでその構造や食感として感じられる製品のレオロジーを考慮する必要性が低い。そのため、その食品については考慮すべき物理化学的特性の数が少ないと考えることができる。また、発酵食品のように品質の変化が常時起こるようなことはなく、サンプルを揃えれば、安定したデータを得ることができる食品であると考えられる。他方、一般的な固形の構造・レオロジーを持つ食品の場合には、考慮すべき変数が増えることと考えられた。固形の構造を持つ食品の一例として、Shibata et al. (2008) はデニッシュペストリーに対して食感性工学を適用したが、デニッシュペストリーにおいても、その物理化学的特性の経時変化は少ないといえる。また、品質の経時変化の観点からデニッシュペストリーは、その変化のスピードが比較的遅いと考えられ、そのために安定したデータを容易に取得しやすいものと考えられた。

これらの観点から、これまでに品質の経時変化が激しい食品、すなわち、発酵食品に対して食感性工学に基づいた品質評価・設計の手法を考究した例はない。特に発酵食品の中でもナチュラルチーズについては、日本に由来からある食品ではなく、日本人におけるナチュラルチーズの嗜好がどのように形成されてきたのかについても不明な点が多い。そのため、ナチュラルチーズに関しては、官能評価および機器計測の両方のデータを適切に取得することが難しく、また、考慮すべきパラメータが膨大になることが予想された。そこで、食感性工学に基づきナチュラルチーズのおいしさ評価、設計法を開発することができれば、食感性工学における食感性モデルの知覚の経路に関する研究として、単一でしかも経時変化の少ない品質の評価だけではなく、複数で、常時変化する複雑系食品の品質評価にも適用可能であることを示すことができると考えた。

本研究の目的

本研究では、ナチュラルチーズのチェダー種を研究対象として、食感性工学に基づいて日本人による官能評価と香り機器分析および粘弾性の計測を実施し、消費者起点の「おいしさ」を実現するための品質評価・設計手法の開発を行った。具体的には、以下の4項目について考究することとした。

- (1) チェダーチーズに対する日本人の食文化を反映した官能評価用語を作成し、それらを使用した官能評価とともに消費者嗜好度調査を実施して、日本人によるチェダーチーズの品質評価と嗜好度との関係性を明らかにする。
- (2) 粘弾性計測パラメータと官能評価スコアの相互関係解析に基づいて、1) 高精度で官能評価スコアを予測する機器試験法の組み合わせを選択する方法と 2) PLS と ANN を併用した品質評価モデルの構築法を提唱する。
- (3) 香気分析データからその香りを構成する主要因子を抽出し、官能評価特性および嗜好度に寄与度が高い香気特性を特定し、香気特性と官能評価特性間の相互関連性を明らかにする。
- (4) 粘弾性特性および香気成分特性からなる品質特性に基づいて、嗜好度、すなわち「おいしさ」評価をモデル化し、日本人のチェダーチーズに対する嗜好度の構成要因をその品質特性から考究する。

1.4 本論文の構成

図 1-10 に、本論文の構成を示した。本論文は全 6 章からなり、官能評価による官能評価特性の導出(第 2 章)と、粘弾性特性の計測および官能評価特性を予測するための粘弾性試験法の組み合わせを選択する方法の提唱(第 3 章)、官能評価特性に寄与を示す香気成分の特定とそのモデル化手法の開発(第 4 章)、複数の品質属性の組み合わせによって「おいしさ」を評価・設計する品質評価モデルの構築(第 5 章)および結論と今後の展望(第 6 章)から構成した。具体的には、以下の通りである。

第 1 章では、日本においてナチュラルチーズの品質評価・設計に関する研究の必要性および重要性が高まっていることに関して記述するとともに、チーズの品質評価手法として、官能評価と粘弾性計測および香気成分分析に関する既往の研究をレビューした。また、本論文の基底理論となる食感性工学について既往の研究をレビューし、計測対象となる「品質」が常時変化する発酵食品の代表例として、食感性工学に基づいてナチュラルチーズを研究対象とする意義を述べた。

第 2 章では、ナチュラルチーズの中でもチェダーチーズを研究対象として、それらに対する日本人の嗜好形成を考慮して、新たに官能評価用語を選定した。その後、これらの用語と既存の標準的官能評価用語との比較を行った。さらに、官能評価結果に基づき、供試サンプルの品質ポジショニングマップを作成し、官能評価スコアと嗜好度の相互関係を考察した。最後に、本章で選定した評価用語による官能評価結果と嗜好度調査結果から、嗜好度に対して寄与の高い官能評価特性を明らかにした。

第 3 章では、チェダーチーズの粘弾性特性計測パラメータと官能評価スコアの相互関係解析に基づいて、高精度で官能評価スコアを予測する機器試験法の組み合わせを選択する方法と PLS と ANN モデリングを併用した食感評価モデルの構築法を提唱した。

第 4 章では、チェダーチーズに含まれる香気成分を同定し、人によって感知できる香気成分の香り強度と成分名を同定して香気成分特性とし、第 2 章で得られた官能評価特性および嗜好度との相互関連性をステップワイズ PLS-VIP 法により明らかにした。また、香気成分と嗜好度との相互関係性について ANN を用いてシミュレーションを行い、香気成分間、および香気成分群と嗜好度間における相互作用をモデリングした。

第 5 章では、第 2、3、4 章において得られた官能評価特性、粘弾性特性および香気成分特性を用いて、消費者起点のチェダーチーズのおいしさを評価・設計する品質評価モデルを構築し、その品質特性の寄与順位から日本人のチェダーチーズに対する嗜好の構成要因を考究した。

第 6 章では、本論文の結論と今後の展望をまとめた。

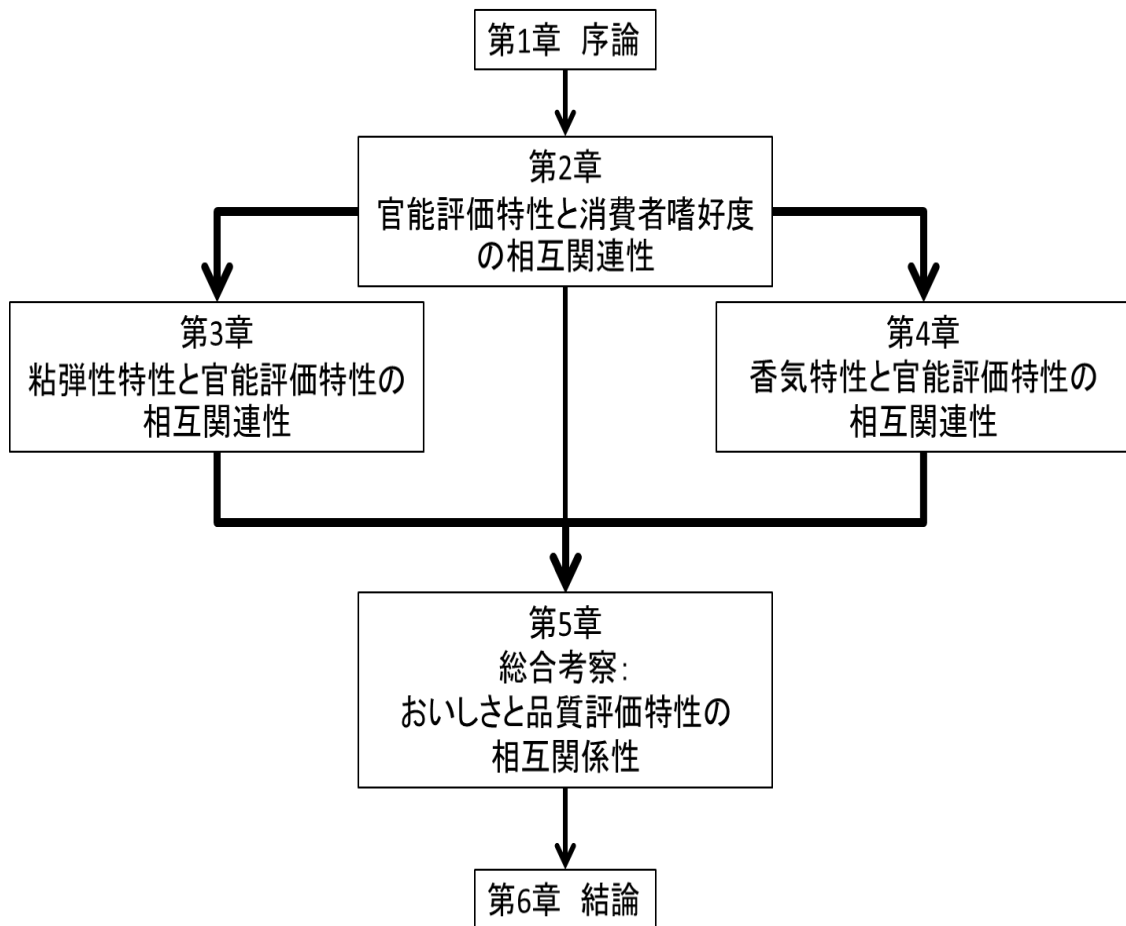


図 1-10 本論文の構成

第2章 分析型官能評価パネルによる評価用語と嗜好度に寄与する評価特性の探索

2.1 背景と目的

チーズをはじめとする乳製品の品質評価は、グレーディングやジャッジングと呼ばれる人による評価により行われる(Bodyfelt et al., 1988)。それらは、官能評価における分析型官能評価に分類される手法である。チーズについて分析型官能評価パネルによる官能評価試験を取り扱った既往文献は多数あるが、それらの報告中で使用される官能評価用語、その定義および評価尺度が異なるために、評価再現や異なる報告間での比較研究を行うことは困難であった。そこで Drake et al. (2001) が、240 サンプルのチェダーチーズを対象としてそのフレーバーに関する標準的な英語の官能評価用語を 17 語選定した。また、Drake et al. (2005)では、異なる地域間で実施された官能評価結果の共通点と相違点を調べるため、米国、ニュージーランド、アイルランドといった異なる国において独自に開発した官能評価用語を用いて同一サンプルを評価する調査を行った。その結果、異なる国で開発された官能評価用語には違いが見られたものの、十分に訓練された官能評価パネルが標準化された評価用語を使用すれば、相互比較に耐えうる評価結果を得ることができる結論した (Drake et al. 2005)。しかしながら、これらの例は、日本のようなアジアの国と比較して、チーズ食文化に馴染みの深い欧米の官能評価パネルを対象として行われた研究例であった。チーズ食に対する受容度や馴染みが欧米と日本では著しく異なるために、英語で作られた官能評価用語を日本人官能評価パネルに使用することは難しいと考えられた。また、日本語には食べ物のテクスチャを表す表現用語が 445 語あることが知られており、これらの用語は、言葉を使う人が属する社会、言葉を使う人の生活様式や嗜好を反映したものであると指摘されている(早川ら 2005)。そこで、ナチュラルチーズのように日本人の間においてまだ十分な共通理解の得られていない食品については、官能評価パネルが十分に内容を共通理解することのできる日本語の官能評価用語を新たに作成する必要があると考えられた。

日本人のチーズに対する嗜好は味や風味、テクスチャが比較的プレーンなプロセスチーズによって形成されたと考えられる(若林, 2010)。そのため、風味の強いナチュラルチーズに対しては抵抗感を持つ日本人も多い。また、そのような傾向は日本人に限らず見られ、例えば、羊乳を原料としたハードタイプのチーズに対する官能評価では、羊の種類と乳中体細胞数が影響し、特に腐ったような悪臭 (rancid) と刺激臭が強くなる傾向があるために消費者には好まれないことが報告されている(Revilla et al., 2009)。このように、消費者がチーズを選ぶ際に着目する重要な要素として、第一にその風味があげられる。特にチェダーチーズに関しては、主にその色調と風味によって区別している傾向があることが報告されている(Drake et al., 2008)。また、Drake et al., (2009) によると消費者の好みは、1 から 5 までの 5 段階評価において、ホエー臭は 1 もしくは 4 の評価、風

味に関しては 5 程度の評価を得るような極端なサンプルでないとその程度の差を識別することができないという。人の嗜好は千差万別ではあるが、それらの嗜好性はその人の生まれ育った周辺環境および食習慣の影響を強く受けるものと考えられる。そのため、日本人消費者のチーズ製品に対する嗜好の形成プロセスは、欧米の消費者のそれとは違うことが容易に想像された。しかしながら、チェダーチーズの官能評価および消費者嗜好度調査との結果に基づいて、日本人がチェダーチーズの品質を評価する際に着目する観点と消費者による嗜好性との相互関連性についての研究報告これまでになされていない。

本研究の目的は、チェダーチーズに対する日本人の食文化を反映した官能評価用語を作成し、それらを使用した官能評価とともに消費者嗜好度調査を実施して、日本人によるチェダーチーズの品質評価と嗜好度との関係性を明らかにすることにある。

2.2 供試材料と方法

2.2.1 供試サンプル

チェダーチーズの標準的な品質特性に基づいて品質評価モデルを構築するためには、市販用とプロセスチーズ原料用の両方から化学組成が均一な試料を供試サンプルとする必要があると考えた。このため、供試サンプルとして、市販用チェダーチーズ (No.3、9、10) およびプロセス原料用 (No.1、2、4、5、6、7、8) の 10 品を選んだ。表 2-1 にそれらの製造地域、製造年月日および熟成期間を示す。また、表 2-2 にこれらのサンプルの化学組成の質量パーセント濃度、ミネラル分、遊離アミノ酸、遊離脂肪酸、有機酸などの総含有量および pH を示した。

供試サンプルは、まず、約 20kg のチーズ塊から 200g 程度のチーズブロックを複数個切り出し、次に、それらの含水量と品温の変化による物性値変動を低減させるためにラップで覆って、5°C の恒温庫に 15 分以上保存して試験に供した。官能評価供試用サンプルには 15mm のサイコロ状に切り出して成形し、それぞれの試験に供試した。

表 2-1 供試サンプルの生産国・地域、製造日および熟成期間

No.	生産国/ 地域	製造日	熟成期間 **
1	Oceania	2010.11.24	5
2	USA	2011.03.17	2
3	Japan	2011.07.20	4
4	Oceania	2010.12.10	6
5	Oceania	2011.02.07	4
6	Oceania	2012.03.05	0
7	USA	2011.11.17	-
8	Oceania	2011.01.-*	5
9	Japan	-	-
10	Europe	2012.03.27	5

* 日にち不明 ** 単位; 月

表 2-2 供試サンプルの化学成分組成

供試 サンプル	化学成分組成									pH
	(Unit: wt%)					(Unit: mg/100g)				
	脂肪	タンパク質	炭水化物	灰分	水分	総量				
ミネラル						遊離 アミノ酸	遊離 脂肪酸	有機酸		
No.1	34.8	24.0	0.9	4.0	36.3	3094.7	715.3	68.6	1422	5.3
No.2	33.4	24.1	1.7	3.6	37.2	2991.4	668.6	48.6	1397	5.2
No.3	34.6	25.5	1.5	4.1	34.3	3245.7	4269.4	176.6	1551	5.3
No.4	37.1	23.3	1.3	3.8	34.5	3103.9	2219.0	71.4	1306	5.4
No.5	37.4	23.5	0.8	3.8	34.5	3180.5	3715.1	89.5	1409	5.2
No.6	34.9	26.4	4.2	1.8	32.7	3352.6	1005.7	132.4	929	5.5
No.7	38.0	24.9	3.7	0.3	33.1	2930.7	1698.1	64.7	1557	5.3
No.8	31.0	36.2	4.0	0.9	37.9	3024.8	1160.5	84.1	1429	5.4
No.9	32.4	24.8	3.7	2.3	36.8	2811.7	1116.8	78.9	1612	5.1
No.10	34.7	24.4	3.6	1.3	36.0	2846.6	1002.4	116.2	1456	5.0

2.2.2 分析型官能評価および嗜好度評価

(1) 分析型パネルの選定

本研究では、機器計測によって得られる計測パラメータと官能評価の対応関係を検討するため、民間乳業企業の研究所内で主にチーズの研究開発を行っている研究員 13 名（男性 10 名、女性 3 名）を官能評価パネリスト候補者として育成訓練を実施した。

本研究においては、官能評価パネルに必要なとされる能力の中でも特に、識別能力に関して育成を行った。訓練内容は、味の識別試験・製品の記述的表現の訓練・順位法による風味理解・識別の訓練を組み合わせてそれらを繰り返し実施した。また、これらの訓

練に加えて、香りの理解・識別の訓練も実施した。これは、評価パネル候補者にとって、チーズの粘弾性特性の把握よりも香気特性の方が難しいと考えられたことから、本研究で使用する評価パネリストには、より香気評価に適した人材を採用したいと考えたからである。本研究ではチェダーチーズの基本的な味構成は、一般的な食品と同様に、基本味とされる5味であると仮定した。そこで、味の識別試験は、基本味とされる甘味・塩味・酸味・苦味およびうま味の5味について、5味識別試験・濃度差識別試験を実施した。また、チェダーチーズの風味および香りの構成に寄与の高い香気成分である酪酸・ δ -decalactone および methional について、それら3種の香気成分の識別試験を風味・香りの強度を順位法による識別試験と称して実施した。このような訓練により習得した官能評価パネルの総合的な製品評価能力を育成し維持させるため、継続的な約3ヶ月の官能評価パネル訓練期間を経て、評価パネル候補者13名を育成した。育成訓練中に行った各種テスト・試験の結果はすべて評価パネル候補者本人に開示した。また、評価パネル候補者らには、自主訓練を随時行うことができるように、共用冷蔵庫内に5味試験の試験溶液などのサンプルを用意し、自主的な評価能力の向上と維持のための訓練を実施できるようにした。なお、本研究で育成した評価パネル候補者13名は、チーズの研究開発に携わる研究員であるため、製品の識別能力および製品の製造に関する知識は十分備えていると判断し、製品のトライアングルテストおよび製品の生成・製造に関するテストは実施しなかった。また、研究対象がチェダーチーズであり、特に咀嚼効率や咀嚼能力の高さを要求するものではないため、咀嚼効率・咀嚼能力についても訓練を行っていない。このような育成訓練を経た後に、最終的に、官能評価パネル候補者の中から、評価スコアの偏差が小さく、繰り返し精度および再現性のよい10名（男性9名、女性1名）の官能評価パネルを選出し、以後の官能評価に使用した。

(2) 官能評価用語の選定

官能評価用語の選定は、ISO11035: 1994 および ISO22935-2/IDF99-2 (ISO-IDF 2009)に示された手順を参照しながら、以下のように実施した。

具体的には、まず、本研究において供試した10品のサンプルの中からサンプルNo.1,2,3,4, 5 および 6 を官能評価パネルに提示し、それらを参考としたブレンストーミングおよび参考文献(Drake et al. 2001, 早川ら 2005)から用語を収集した後、KJ法(川喜田 1984)により得られた用語の中の類義語をグルーピングして用語を分類・整理し、827用語からなる第0次官能評価用語を得た。次に、得られた全ての用語の意味やイメージを評価パネル全員で共有化した。その結果をもとに、評価パネルによるディスカッションによって不適切用語の排除および重複用語のスクリーニング作業を行った。また、実際に評価する際、評価パネル間で評価基準値などを共有するため、官能評価用語一語一語に対して定義づけ作業を行い、1次官能評価用語106語を選定した(表2-3)。その後、本研究の供試サンプルであるチェダーチーズ10品を用いて予備官能評価を実施した。この評価は、連続した3日間に渡って実施し、供試サンプルに対し1日のうちに3

回評価をし、毎回の評価では 15 センチ線尺度法を用いてその再現性と繰り返し精度、安定性などを計測した。

表 2-3 1次官能評価用語 106 語

外観(12語)	香り(31語)		風味(30語)		味(9語)	食感(24語)	
マーブル状の、不均一な	パン様の酵母臭	クリーム、ミルク	ミルク風味	焦げ風味	甘味	かたさ	ねっとり感
黄色	お酒様の酵母臭	ヨーグルト臭	脂肪の光酸化風味	加熱風味	塩味	やわらかさ	口溶けのはやさ
白色	ベジマイト様の酵母臭	カゼイン臭	カゼイン風味	カラメル風味	苦味	ワックス様の食感	ウェット感
赤色	カビ臭	脂肪の光酸化臭	ホエイ風味	アンモニア様の風味	渋味	もろさ	クリーミーさ
離水	青草臭	酪酸臭	ブルーチーズ風味	青草様の風味	エグ味	弾力	グリース状の食感
油浮き	土	雑巾様のムレ臭	酪酸風味	配合飼料様の風味	旨味	gummy	mouth-coating
乾燥	フローラル	靴下臭	醤油風味	硫黄の風味	酸味	歯切れ	粗さ
ガスホール	乾草、干草	牛舎臭	パン様の酵母風味	獣脂様の風味	ピリピリした刺激味	砂状のざらつき	緻密さ
ヒビ、裂け目	フルーティ	ヤギ臭	お酒様の酵母風味	サイレージ様の風味	発泡様の刺激味	粒状のざらつき	粉っぽさ
結着	総合的な甘いにおい	獣脂臭	ベジマイト様の酵母風味	乳酸風味		結晶状のざらつき	乾燥した食感
ストーン	木	魚臭	ナッツ様の風味	酢酸風味		繊維状	
白斑	キャラメル	硫黄臭	マッシュルーム風味	ジアセチル風味		コルク状	
	ナッツィ	アンモニア臭	果実風味	金属様の風味		ペースト状	
	焦げ臭	酢酸臭	ポテト風味	紙様の風味		なめらかさ	
	ホエイ臭	金属臭	キャラメル風味				
		スカトール、糞便臭	燻製風味				

予備官能評価結果の解析には、統計ソフト JMP9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C., U.S.A) を用いた。具体的には、まず、官能評価結果にジャックナイフの距離法による分散の誤差推定を行い、9 データの外れ値を検出し以後の解析用データセットから除外した。次に、官能評価項目が適切に評価に使用できる項目であるかの信頼性を確かめるため、クロンバックの α 係数を算出した。その結果、標準化 α 係数はすべて 0.9 以上を示したため、1 次官能評価用語 106 語の信頼性が確認された (表 2-4)。

表 2-4 1次官能評価用語の信頼性

標準化したCronbachの α 係数			
セット全体	0.95		
除外した列	除外した列		
マーブル状の、不均一な	0.95	ナッツ様の風味	0.95
黄色	0.95	マッシュルーム風味	0.95
白色	0.95	果実風味	0.95
赤色	0.95	ポテト風味	0.95
離水	0.95	キャラメル風味	0.95
油浮き	0.95	燻製風味	0.95
乾燥	0.95	焦げ風味	0.95
ガスホール	0.95	加熱風味	0.95
ヒビ、裂け目	0.95	キャラメル風味	0.95
結着	0.96	アンモニア様の風味	0.95
ストーン	0.95	青草様の風味	0.95
白斑	0.95	配合飼料様の風味	0.95
パン様の酵母臭	0.95	硫黄の風味	0.95
お酒様の酵母臭	0.95	獣脂様の風味	0.95
ベジマイト様の酵母臭	0.95	サイレージ様の風味	0.95
カビ臭	0.95	乳酸風味	0.95
青草臭	0.95	酢酸風味	0.95
土	0.95	ジアセチル風味	0.95
フローラル	0.95	金属様の風味	0.95
乾草、干草	0.95	紙様の風味	0.95
フルーティ	0.95	甘味	0.95
総合的な甘いにおい	0.95	塩味	0.95
木	0.95	苦味	0.95
キャラメル	0.95	渋味	0.95
ナッティ	0.95	エグ味	0.95
焦げ臭	0.95	旨味	0.95
ホエイ臭	0.95	酸味	0.95
クリーム、ミルク	0.95	ピリピリした刺激味	0.95
ヨーグルト臭	0.95	発泡様の刺激味	0.95
カゼイン臭	0.95	かたさ	0.96
脂肪の光酸化臭	0.95	やわらかさ	0.96
酪酸臭	0.95	ワックス様の食感	0.95
雑巾様のムレ臭	0.95	もろさ	0.95
靴下臭	0.95	弾力	0.96
牛舎臭	0.95	gummy	0.95
ヤギ臭	0.95	歯切れ	0.96
獣脂臭	0.95	砂状のざらつき	0.95
魚臭	0.95	粒状のざらつき	0.95
硫黄臭	0.95	結晶状のざらつき	0.95
アンモニア臭	0.95	繊維状	0.95
酢酸臭	0.95	コルク状	0.95
金属臭	0.95	ペースト状	0.95
スカトール、糞便臭	0.95	なめらかさ	0.95
ミルク風味	0.95	ねっとり感	0.95
脂肪の光酸化風味	0.95	口溶けのはやさ	0.96
カゼイン風味	0.95	ウェット感	0.95
ホエイ風味	0.95	クリーミーさ	0.95
ブルーチーズ風味	0.95	グリース状の食感	0.95
酪酸風味	0.95	mouth-coating	0.95
醤油風味	0.95	粗さ	0.95
パン様の酵母風味	0.95	緻密さ	0.96
お酒様の酵母風味	0.95	粉っぽさ	0.95
ベジマイト様の酵母風味	0.95	乾燥した食感	0.95

予備官能評価結果に分散分析を適用した結果、有意水準 $p < 0.05$ を基準として、供試サンプルの差を評価することができる官能評価用語を 52 語採用した。その 52 語に対して、図 2-1 の示す手順に従って官能評価用語の抽出を行った。具体的には、まず相関分析を適用したところ、相関係数 $|R| \geq 0.70$ ($p < 0.05$) を基準として有意に高い相関関係を示す組み合わせが 34 語検出された。その後、官能評価パネルを招集して、相関分析結果から得た削除候補 17 用語の評価における必要性の有無を再度確認した。例えば、

香り属性の「ヨーグルト臭」と風味属性の「ジアセチル風味」が予備官能評価の結果において相関が高い($P < 0.05$)用語であるとされたが、官能評価パネルらの話し合いによりチェダーチーズの評価には重要な用語であるとして、香りで検知する diacetyl 香を「ヨーグルト臭」とし、口腔内で検知する diacetyl の風味を「ジアセチル」として評価用語として両方残すこととした。その結果、17組のうち評価項目として重複する可能性がある用語として14語削除し、残りの3語については評価における必要性が高い項目であるとして残留とし、最終的に表 2-5 に示すように38語からなるチェダーチーズの実用官能評価用語(以下、評価用語)を選定した。また、表 2-6 に示すように、評価用語38語はそれぞれその定義および標準物質・見本が設定され、評価パネルは官能評価用語定義書を十分に共通理解した上で官能評価を行った。

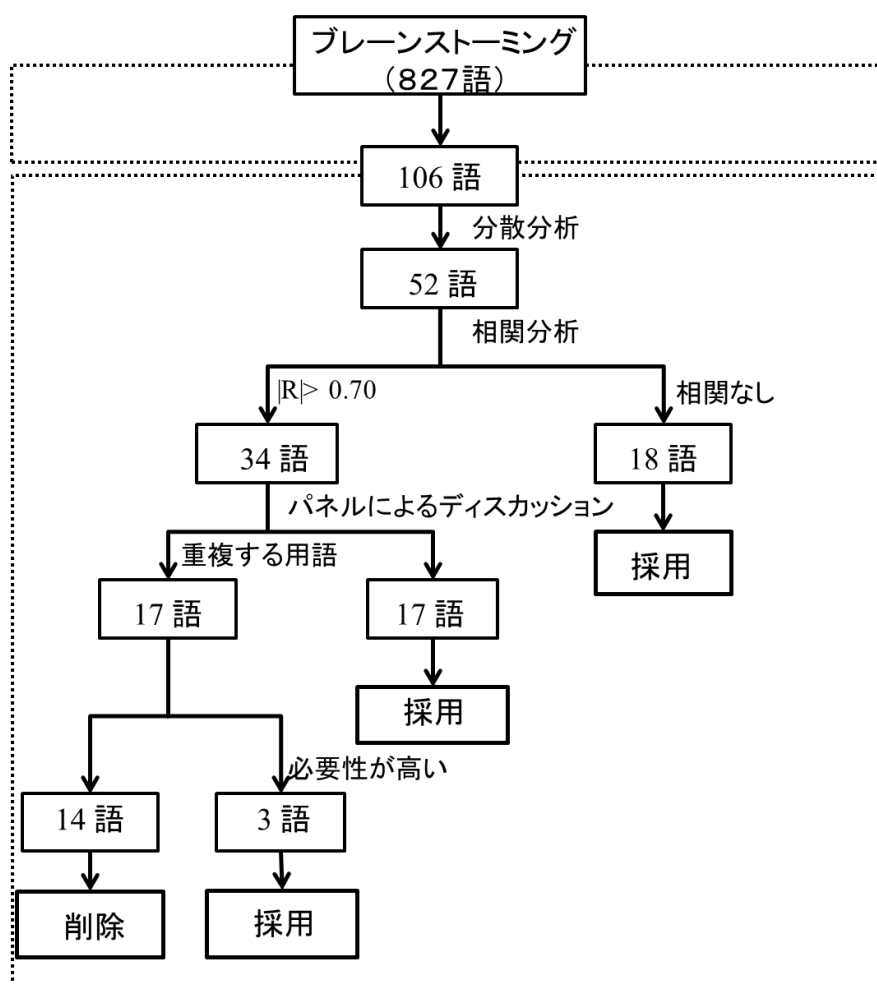


図 2-1 官能評価用語選定の流れ

表 2-5 実用官能評価用語 38 語

官能評価属性			
外観	香味(香り、風味、味)		食感
6語	22語		10語
黄色	フルーティ	加熱風味	かたさ
白色	ヨーグルト臭	乳酸風味	弾力
乾燥	ミルク風味	酢酸風味	歯切れの良さ
ガスホール	酪酸風味	ジアセチル	ざらつき
ヒビ、裂け目	醤油風味	甘味	ペースト状
ストーン	パン様の酵母風味	塩味	なめらか
	お酒様の酵母風味	苦味	ねっとり感
	ベジマイト様の酵母風味	渋味	口溶けのはやさ
	ナッツ様の風味	エグ味	粗さ
	マッシュルーム風味	旨味	乾燥した食感
	ポテト風味	酸味	

表 2-6 実用官能評価用語定義書

属性	種類	用語	定義	標準物質・見本
外観	色	黄色	黄色	
		白色	白色	
	表面	乾燥	乾いた表面	
	穴	ガスホール	球状のガスによる穴	
		ヒビ、裂け目	ヒビ、裂け目がある	
その他	ストーン	ところどころに結晶がある		
香味	香り	フルーティ	フルーツの香り	1% trans-2-hexenal, 0.1% ethyl butyrate, 20ppm ethyl hexanoate
		ヨーグルト臭	ジアセチルの香り	20ppm diacetyl
	風味	ミルク風味	乳脂肪の香り	40ppm δ dodecalactone
		酪酸風味	酪酸	20ppm 酪酸
		醤油風味	醤油	醤油(キッコーマン特選丸大豆しょうゆ)
		パン様の酵母風味	パン	パン(食パン Pasco超熟6枚切り耳無し)
		お酒様の酵母風味	日本酒	日本酒(月桂冠 月)
		ベジマイト様の酵母風味	ベジマイト、酵母エキス	ベジマイト
		ナッツ様の風味	ピーナッツ、ヘーゼルナッツなどのナッツの香り	0.01% 2-acetyl-pyridine (in PG)
		マッシュルーム風味	生のマッシュルームの香り	1% 1-octen-3-one (inPG)
		ポテト風味	ふかしたジャガイモ	methional
		加熱風味	加熱されたミルク	85℃30分加熱後の脱脂乳、UHTミルク(脂肪3.6%、10分加熱)
		乳酸風味	乳酸	0.085% lactic acid
	酢酸風味	酢酸	acetic acid	
	ジアセチル	ジアセチルの香り	20ppm diacetyl	
	味	甘味	基本味	1,3,4,5%スクロース、コンデンスミルク
		塩味	基本味	0.5% 塩化ナトリウム
		苦味	カフェインやキニーネによる基本味	0.02,0.04,0.08% カフェイン
		渋味	緑茶の渋味	タンニン
		エグ味	あくが強く、喉や舌を刺激するような味	ホモゲンチジン酸と臭酸およびその化合物
旨味		基本味	1% MSG	
酸味		基本味	0.08%クエン酸	
食感	歯	かたさ	堅固。砕くために正常圧以上の圧力を要するかたさ	
	弾力	弾力	弾力がある。曲げたときに容易に折れない	
		歯切れのよさ	かむときに抵抗が少なく、噛み切った後歯にくっつかない	
	舌	ざらつき	口の中でざらざらした感じ、砂状、粒状、結晶状の粒子。	
		ペースト状	舌で押すとべとべとする	モンレージャック
		なめらかさ	冷たいバター状	固形バター(森永バター)
		ねっとり感	粘着性がありべたつく、ねちゃつく	澱粉入りのフィリング
		口溶けのしやすさ	口腔で溶ける速度	生チョコ
		粗さ	小さな穴やでこぼこ、隙間がある	
		乾燥した食感	乾燥して瑞々しさが無い	

(3) 分析型官能評価法

評価用語 38 語による官能評価は 10 名の分析型パネル(男性 9 名、女性 1 名)を用い、供試サンプルの提示順をランダム化し、両端を固定した 0 から 15 cm の線尺度法により実施した。この評価は官能評価室内に設けたパネル用ブースの白い机の上にサンプルを供試して室温および蛍光灯条件下で実施し、同一サンプルを対象にして 3 回の繰り返しセッションを行った。また、それぞれのセッション毎に口腔内を洗浄するために、紙コップ内の洗浄水をパネルに供給した。パネルには、フィンガーテスト、匂い嗅ぎおよびサンプルを嚥下して評価することを許可した。

(4) 消費者の嗜好調査法

消費者の嗜好度、すなわち「おいしさ」評価は、日本の一般的な家庭においてチーズ製品の購入機会が多いと考えられる 30~50 代の主婦 59 名をパネルに選定して実施した。このパネルの選定にあたっては、事前アンケートにより調査目的とは極端に異なる食嗜好を有するパネルを除外した。また、実際の調査は分析型パネルと同様の環境下において実施し、ヘドニック法による 9 点尺度法で評価した。

2.2.3 統計解析

官能評価スコアと嗜好度は、JMP9.0 (SAS Inst., Inc., Cary, N.C., U.S.A) を用いて、分散分析、相関分析、主成分分析、Partial least square regression (PLS 回帰分析)およびニューラルネットワーク(ANN)によって解析を行った。

主成分分析は、データ間の相互関係を分析するために官能評価スコアに適用され、カイザー基準で固有値が 1.0 以上を示す主成分についてヴァリマックス回転を行った。

PLS 回帰分析において、説明変数に官能評価スコアを使用し、目的変数に嗜好度を使用して官能評価スコアの嗜好度への影響度を調べた。モデルの精度指標として重相関係数 (R^2) を使用し、構築されたモデルにおいて説明される Y の持つ情報の割合を示した。次に、ステップワイズ PLS-VIP 法を適用し、得られた変数重要度(Variable importance in projection ; VIP)と回帰係数 (Weight of model; W) を用いて、嗜好度に寄与する官能評価特性の変数選択を行った。実用的な観点から考えると、PLS の R^2 はステップワイズ PLS-VIP 法を適用することにより低下するが、特定した官能評価スコアの嗜好度に対する寄与順位を得ることの方がより重要性が高いと考えた。PLS-VIP 法を変数選択に使用する場合には、VIP>1.0 を示す説明変数が特に重要であるが(Wold et al., 2001; Chong and Jun, 2005; Jun, 2009)、本研究では JMP9.0 に設定されていた $VIP \geq 0.80$ 、および W が ± 0.1 程度を閾値として説明変数の絞り込みを行った (JMP9.0, Dunn et al., 1984)。

図 2-2 に知覚ネットワークからなる ANN モデルの構造を示す。この ANN モデルは入力層(X_1, X_2, \dots, X_i)と出力層(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)およびその間のノード数 3 の隠れ層(Z_1, Z_2, \dots, Z_j)により構成される。このモデルの入力層に官能評価スコア、出力層に嗜好度を適用し、それらの間の相互関係を解析するモデルを構築した。モデリングの過程では、

最大学習回数およびそのツアー数をそれぞれ 100 回と設定した。また、構築したモデルが学習モデルに過剰フィットすることを防止するためにオーバーフィットペナルティおよび収束基準をそれぞれ 0.001 および 0.00001 に設定し、構築したモデルの予測精度を評価する指標として R^2 および二乗平均平方根誤差(RMSE)を用いた。

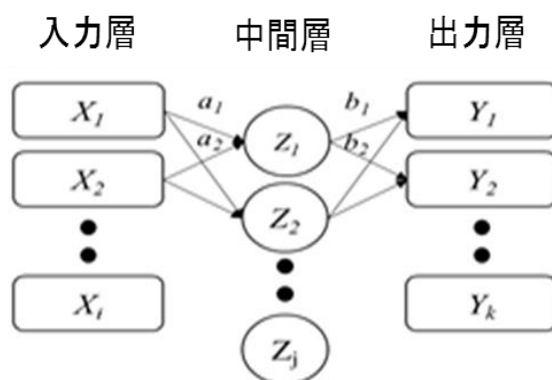


図 2-2 3層構造の ANN モデル例

2.3 結果および考察

2.3.1 チェダーチーズの標準的官能評価用語との比較

本研究において選定した 38 語の評価用語のうち、香り、風味および味に該当する 22 語の官能評価用語 (表 2-6) と Drake et al.(2001)で示された官能評価用語の定義を比較した結果を表 2-7 に示した (以後、「日本語の評価用語」および「英語の評価用語」と表示して区別する)。

表 2-7 香り、風味および味に関する 22 官能評価用語とその定義および標準物質

属性	官能評価用語	定義	標準物質・見本	Drake et al. (2001) の用語*
香り	フルーティ	フルーティーな香り	1 % trans-2-hexenal, 0.1 % ethyl butyrate, 20 ppm ethyl hexanoate	Fruity
	ヨーグルト臭	ジアセチルの香り	20 ppm diacetyl, acetoin	Diacetyl
風味	ミルク風味	乳脂肪の香り	40 ppm decadienal	Milkfat/Lactone
	酪酸風味	酪酸	20 ppm butyric acid	Free fatty acid
	醤油風味	醤油	醤油	
	パン様の酵母風味	パン	パン	
	お酒様の酵母風味	日本酒	日本酒	
	ベジマイト様の酵母風味	ベジマイト	ベジマイト	
	ナッツ様の風味	ピーナッツ、 ヘーゼルナッツ	0.01 % 2-acetyl-pyridine (in PG)	Nutty
	マッシュルーム風味	生のマッシュルーム	0.5 % 1-octene-3-one (in PG), 1.0 % 3-octanol (inPG)	
	ポテト風味	ふかしたジャガイモ	methional	
	加熱風味	加熱した牛乳	85度30分加熱のスキムミルク	Cooked
	乳酸風味	乳酸	0.085 % lactic acid	
酢酸風味	酢酸	acetic acid		
	ジアセチル風味	ジアセチルの香り	20 ppm diacetyl	Diacetyl
味	甘味	基本味の甘味	5.0 % sucrose	Sweet
	塩味	基本味の塩味	0.5 % sodium chloride	Salty
	苦味	基本味の苦味	0.08 % caffeine	Bitter
	渋味	収斂味	タンニン	
	エグ味	咽喉や舌に感じる 不快な刺激	homogentisic acid, oxalic acid	
	旨味	基本味のうま味	1.0 % MSG	Umami
	酸味	基本身の酸味	0.08 % citric acid	Sour

*:Drake et al. (2001)中の官能評価用語とその定義内容または標準物質・見本が一致したもの。これらの他、'whey', 'sulfur', 'brothy', 'cowy/phenolic'および'age'などの用語は、類似する評価用語やその定義がなかったために、実用評価用語からは除外した。

日本語と英語の用語表現の違いは見られるものの、「加熱風味」と‘cooked’、「ミルク風味」と‘milk fat/lactone’、「酪酸風味」と‘free fatty acid’、「ナッツ様の風味」と‘nutty’、「苦味」と‘bitter’、「塩味」と‘salty’、「甘味」と‘sweet’、そして「酸味」と‘sour’はその定義および標準物質が酷似していることが分かった。また、「ヨーグルト臭」と「ジアセチル風味」は、‘diacetyl’の香り項目と標準物質が一致した。同様にして、‘fruity’と‘umami’はその定義と標準物質の両方が表 2-6 と一致することが分かった。他方、‘whey’、‘sulfur’、‘brothy’、‘cowy/phenolic’および‘age’は日本語の官能評価用語には含まれず、その定義や標準物質が類似する用語もなかったため、評価用語には採録しなかった。具体的には、‘brothy’は分析型パネルによる用語の定義確認時にパネル間では共通理解を得られなかった用語であったために用語リストから削除した。さらに‘whey’、‘sulfur’、‘cowy/phenolic’ および ‘age’は、予備官能評価に使用した 106 語の用語リスト中には残されていたものの、予備官能評価の結果、サンプル差を 5% の有意水準で識別しない用語であることが分かったために削除した。このようにして実用用語を採録した結果、日本語の評価用語にのみ収録された用語は、「醤油風味」、「パン様の酵母風味」、「お酒様の酵母風味」、「ベジマイト様の酵母風味」、「マッシュルーム風味」、「ポテト風味」、「乳酸風味」、「酢酸風味」、「渋味」そして「エグ味」の 10 語であることが分かった。その中でも、「醤油風味」は、欧米で作成した評価用語における出現頻度の低い用語であった。また、日本語の評価用語では「酵母風味」に対して 3 つの定義（パン様、酒様およびベジマイト様）を採用したが、一方の英語の評価用語では「酵母風味」の定義を細分化していないことが分かった。さらに、‘astringency’は食感および風味属性の両方に関わる用語であるが、日本語の評価用語では「渋味」は味の一種であるとして香味属性に属する用語であるとして分類した。

これらのことから、チーズ食習慣の根付いた国や地域と比較的そのような食習慣の短い国や地域とでは、その食習慣の違いが官能評価用語の設定影響を及ぼす可能性が高いと考えた。特に、38 語の評価用語のうち、香味属性の「醤油風味」は、日本型の食習慣の傾向が表現された用語であり、他方、「パン様の酵母風味」、「酒様の酵母風味」および「ベジマイト様の酵母風味」は、評価パネルの食体験に基づいた評価用語とあると考えられた。

2.3.2 分析型パネルによる官能評価と消費者パネルによる嗜好度評価

分析型パネルによる評価スコアと消費者パネルによる嗜好度の平均値(AV)、標準偏差(SD)、分散分析、多重比較検定(A~F)などの結果をそれぞれ表 2-8 に示した。評価スコアおよび嗜好度の多重比較には Tukey-HSD 検定を用いてサンプルごとに A~F を付記し、重複文字でラベリングされたサンプルの組み合わせ間では有意水準 5% で差がないことを示し、また嗜好度には得点順位を示した。

表 2-8 分析型官能評価と消費者嗜好度の統計分析結果

評価属性	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.7		No.8		No.9		No.10		分散分析 のP値														
	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD	AV	SD															
外観	黄色	9.16	1.74	A	3.37	1.14	D	7.33	1.83	B	9.65	2.07	A	9.35	1.97	A	9.16	1.88	A	5.37	1.61	C	9.49	2.11	A	3.11	0.95	D	10.00	1.65	A	<0.001**			
	白色	5.20	2.11	D	11.40	1.24	A	6.97	2.04	C	5.02	2.20	D	5.12	2.18	D	5.33	2.21	D	9.43	1.59	B	5.24	2.12	D	11.65	1.08	A	4.74	1.83	D	<0.001**			
	乾燥	3.60	2.67	BC	3.55	2.79	BC	5.85	3.26	AB	4.05	2.73	ABC	6.04	3.31	A	3.64	2.82	BC	4.33	3.01	ABC	4.29	2.95	ABC	3.39	2.44	C	4.25	2.91	ABC	0.0016*			
	カズホール	7.53	0.20	B	7.50	0.02	B	8.14	1.01	A	7.85	0.21	B	7.85	0.88	AB	7.50	0.03	B	7.53	0.13	B	7.56	0.30	B	7.53	0.15	B	7.53	0.17	B	<0.001**			
	ヒビ、裂け目	7.53	0.14	B	7.58	0.31	B	10.11	1.66	A	7.79	0.69	B	9.52	1.50	A	7.70	0.48	B	7.91	0.74	B	7.65	0.62	B	7.57	0.37	B	7.69	0.41	B	<0.001**			
	ストーン	7.49	0.03	B	7.50	0.00	B	7.70	0.44	A	7.55	0.19	B	7.65	0.44	AB	7.50	0.02	B	7.54	0.15	B	7.50	0.00	B	7.50	0.03	B	7.51	0.08	B	0.0003**			
	フルーティ	3.28	1.86	BC	5.35	2.98	A	5.04	1.94	AB	3.88	2.09	ABC	3.48	2.05	BC	3.10	1.94	C	3.90	1.93	ABC	4.66	2.29	ABC	3.73	2.36	ABC	3.25	1.74	BC	<0.001**			
	ヨーグルト臭	2.86	1.88	AB	3.78	1.94	A	2.72	1.84	AB	2.01	0.65	B	2.06	0.99	B	2.38	1.29	B	3.30	1.74	A	2.87	1.65	AB	3.94	2.09	A	2.34	1.02	B	<0.001**			
	ミルク風味	3.76	2.10	BCD	6.09	2.46	A	3.33	1.77	D	2.84	1.41	D	2.43	1.03	D	3.61	2.61	CD	5.46	2.85	ABC	4.22	2.25	BCD	5.51	2.85	ABC	3.42	1.96	D	<0.001**			
	酸っぱい風味	2.97	1.86	BC	2.34	1.11	C	4.83	3.13	A	4.32	2.55	ABC	4.78	3.07	A	1.98	0.63	C	3.21	1.73	ABC	2.72	1.31	BC	2.66	1.65	C	2.66	1.14	C	<0.001**			
香味	醤油風味	3.03	2.15	B	2.24	1.44	B	5.73	2.23	A	5.94	1.91	A	5.63	2.74	A	2.19	1.10	B	3.29	1.94	B	2.97	1.90	B	2.10	0.78	B	2.53	1.30	B	<0.001**			
	パン種の酵母風味	7.82	0.44	A	8.19	1.02	A	7.77	0.44	A	7.93	0.66	A	7.98	0.75	A	7.76	0.48	B	7.76	0.48	B	7.51	0.07	A	7.86	0.58	A	8.00	0.83	A	8.04	0.90	A	0.3675
	お酒様の酵母風味	7.72	0.44	B	8.54	1.55	A	7.71	0.32	B	7.94	0.68	B	7.94	0.68	B	7.76	0.48	B	7.76	0.48	B	7.51	0.07	A	7.72	0.41	B	7.68	0.33	A	7.64	0.27	B	<0.001**
	パン種以外の酵母風味	7.67	0.57	C	7.55	0.18	C	7.73	0.41	BC	8.41	1.44	A	8.26	1.02	AB	7.51	0.06	C	7.64	0.36	C	7.56	0.21	C	7.56	0.25	C	7.66	0.58	C	7.66	0.58	C	<0.001**
	ナッツ様の風味	3.04	1.76	ABC	2.04	0.62	C	3.73	2.11	A	3.42	2.12	AB	3.97	2.61	A	2.31	1.12	BC	2.90	1.21	ABC	2.94	1.29	ABC	2.35	1.02	BC	2.39	1.00	BC	<0.001**			
	マッシュルーム風味	1.93	0.64	A	2.10	1.14	A	1.87	0.75	A	1.95	1.04	A	1.93	0.92	A	1.87	0.87	A	2.07	1.12	A	1.86	0.88	A	1.90	0.71	A	2.21	1.34	A	0.9067			
	ホウダイ風味	2.42	0.88	A	2.30	1.06	A	2.40	1.04	A	2.58	1.14	A	2.65	1.47	A	2.36	1.55	A	2.33	1.19	A	2.39	1.33	A	2.60	1.43	A	2.23	0.95	A	0.9426			
	加熱風味	1.94	1.31	AB	1.64	0.33	B	1.79	0.72	B	2.69	2.25	A	2.09	1.38	AB	1.65	0.37	B	1.67	0.31	B	1.77	0.63	B	1.67	0.42	B	1.81	0.70	B	0.0028*			
	乳酸風味	3.80	2.30	AB	4.48	2.37	A	3.69	1.81	AB	3.48	2.16	AB	4.23	2.32	A	2.20	0.88	B	4.55	2.28	A	3.73	2.02	AB	4.80	2.61	A	3.47	2.39	AB	0.0004*			
	酢酸風味	2.42	1.16	ABC	2.05	0.86	BC	3.26	1.75	A	2.42	1.20	ABC	2.92	1.63	AB	1.68	0.34	C	2.34	0.89	ABC	2.18	0.95	BC	2.61	1.55	ABC	2.31	1.19	ABC	<0.001**			
食感	シアセチル風味	2.90	1.77	BCD	3.94	2.02	AB	2.50	1.51	CD	2.35	1.05	CD	4.44	1.41	CD	1.91	0.86	D	3.41	1.76	ABC	2.92	1.75	BCD	4.29	2.33	A	2.34	1.29	CD	<0.001**			
	甘味	5.15	2.38	A	6.19	2.35	A	5.46	2.36	A	5.01	2.40	A	4.30	2.26	A	4.68	2.23	A	5.73	2.53	A	5.42	2.05	A	5.57	2.69	A	4.47	2.44	A	0.0574			
	塩味	6.17	2.52	CD	4.89	1.89	D	8.61	2.14	AB	7.49	1.37	BC	9.41	2.01	A	5.85	2.67	CD	6.11	2.00	CD	6.16	1.90	CD	5.66	2.52	D	5.86	2.31	CD	<0.001**			
	苦味	5.81	2.58	BC	5.29	3.00	BCD	4.69	2.01	BCDE	8.04	2.71	A	6.46	2.26	AB	2.71	1.56	E	4.74	2.62	BCDE	4.58	2.46	BCDE	3.50	1.95	DE	4.38	2.66	CDE	<0.001**			
	渋味	5.00	2.76	AB	4.68	2.70	B	4.84	2.05	AB	6.99	2.98	A	5.30	2.58	AB	2.47	1.29	C	4.62	2.64	BC	4.51	2.87	BC	4.09	2.64	BC	4.10	2.66	BC	<0.001**			
	エグ味	2.86	1.75	BC	2.64	1.65	BC	2.88	1.99	BC	5.03	2.83	A	4.04	2.25	AB	1.80	0.45	C	2.94	1.84	BC	3.06	2.21	BC	2.58	1.75	BC	2.78	1.94	BC	<0.001**			
	旨味	5.45	2.28	CD	3.83	1.85	DE	9.84	2.04	A	7.00	1.94	BC	7.90	2.54	B	3.70	2.06	E	5.24	1.92	CDE	5.35	2.13	CDE	4.06	1.82	DE	4.20	2.12	DE	<0.001**			
	酸味	5.62	2.66	A	5.57	3.14	A	5.79	2.07	A	5.38	2.08	A	5.99	2.00	A	3.16	1.68	B	6.45	2.97	A	5.21	2.19	AB	6.41	3.03	A	5.43	2.82	A	<0.001**			
	かたさ	6.57	1.85	DEF	5.43	1.91	F	8.12	1.76	BC	6.59	1.85	DEF	7.81	2.16	BCD	11.17	1.42	A	7.12	1.34	CDE	6.83	1.72	CDEF	8.75	2.00	B	6.21	1.90	EF	<0.001**			
	弾力	7.48	2.13	B	6.80	2.65	B	4.73	1.90	D	6.63	2.30	BC	4.86	1.86	CD	9.64	3.27	A	6.54	2.10	BC	7.65	1.68	B	7.85	2.46	ABC	6.93	2.16	B	<0.001**			
嗜好度	歯切のよさ	6.76	2.15	CD	5.86	2.26	D	8.89	1.96	AB	6.69	1.87	CD	8.07	2.30	ABC	9.69	2.54	A	6.66	2.07	CD	7.05	1.70	CD	8.04	2.18	ABC	7.23	2.40	BCD	<0.001**			
	ざらつき	3.37	2.08	C	2.83	1.89	C	6.93	2.64	A	4.77	2.55	BC	6.41	2.95	AB	7.27	3.32	C	4.51	2.63	C	3.92	2.26	C	6.57	2.72	ABC	6.81	3.11	AB	<0.001**			
	ベースト状	6.17	2.63	AB	7.93	2.43	A	4.09	1.83	CD	4.18	2.68	AB	5.33	2.69	BC	2.40	1.21	D	5.57	2.44	BC	6.55	2.47	AB	3.91	2.01	CD	6.02	2.82	AB	<0.001**			
	なめらかさ	8.57	1.72	AB	9.12	1.98	A	5.54	1.93	D	8.20	1.91	AB	6.27	2.23	CD	3.78	1.70	E	7.56	1.77	BC	8.03	1.70	AB	5.20	1.81	DE	5.90	2.33	CD	<0.001**			
	ねっとり感	7.64	2.70	ABC	8.84	1.80	A	5.08	2.38	DE	8.41	1.90	AB	6.15	2.64	CD	3.24	1.67	E	6.80	2.40	BC	7.65	1.92	ABC	4.58	2.15	DE	5.98	2.20	CD	<0.001**			
	口どけのよさ	7.18	1.55	A	6.89	2.63	A	7.31	2.21	A	7.51	1.96	A	7.90	2.21	A	4.40	2.57	B	7.29	1.97	A	6.96	1.42	A	6.45	2.12	A	6.36	2.06	A	<0.001**			
	粗さ	3.33	2.09	CD	3.00	1.95	D	7.34	3.05	A	4.13	2.81	BCD	6.82	2.88	A	5.96	3.74	AB	3.36	2.34	CD	3.79	2.53	BCD	5.43	2.98	ABC	5.79	2.96	AB	<0.001**			
	乾練した食感	2.88	2.18	C	2.29	1.53	C	5.88	2.68	A	3.47	2.66	BC	5.90	2.87	A	6.63	3.17	A	2.87	2.09	C	2.66	1.82	C	5.59	3.03	A	4.98	2.90	AB	<0.001**			
	嗜好度(おいしさ)	5.93	1.53	6 ^{AB} ***	6.24	1.21/79	3 ^A	6.02	1.8	4 ^{AB}	5.31	1.71	8 ^{AB}	5.51	1.88	10 ^B	5.51	1.88	9 ^{AB}	5.97	1.39	5 ^{AB}	6.27	1.52	2 ^A	6.39	1.22	1 ^A	5.75	1.53	7 ^{AB}	0.0012*			
	嗜好度順位																																		

AV:平均, SD:標準偏差, *, P<0.05, **, P<0.001, ***, 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。

香味属性に分類された評価用語「パン様の酵母」 ($p=0.37$)、「マッシュルーム」 ($p=0.91$)、「ポテト」 ($p=0.94$)などの風味および「甘味」 ($p=0.06$)では、サンプル毎の評価スコアに5%水準で有意な差が観られず、供試サンプルに共通して同程度に知覚される評価用語である可能性と、評価用語のサンプル識別能力が低い可能性と両方の可能性が考えられたため、これらの用語によりサンプル差を認知することは困難と考えられた。

評価スコアおよび嗜好度に相関分析を適用した結果、相関係数 $|R|>0.80$ を基準として相関の高い評価用語と嗜好度の組み合わせが741組中90組あることが分かった。これらの組み合わせの中で、評価属性が異なる項目間で高い相関が見られた組み合わせは例えば、外観「白色」－香味「ヨーグルト臭」 ($R=0.91$)および食感「弾力」－香味「酪酸風味」 ($R=-0.86$)のように29組あることが分かった。他方、嗜好度と高い相関を示した評価用語は、香味属性の「ヨーグルト臭」 ($R=0.86$)と「甘味」 ($R=0.83$)であったことから、これらの用語は嗜好度に寄与する官能評価特性を表していることが分かった。

表 2-9 に官能評価用語38語の評価スコアに因子分析を適用して得た6つの因子とその因子負荷量および寄与率を示した。F1には主に外観属性と香味属性の評価用語が含まれたが、いずれも前述した評価用語の相関分析において異なる評価属性の項目であるにも関わらず、高い相関を示す組み合わせが含まれていた。他方、F2には食感属性用語のみが含まれており、いずれの用語間においても相関が高いことを確認した。F3には $|R|>0.60$ の相関を持つ外観属性の「白色」、「黄色」と香味属性の用語が複数含まれたが、これらの用語は乳製品のおいしさに関する特徴を示す有用な用語群であることが分かった。F4には、「加熱風味」、「ポテト風味」、「エグ味」および「苦味」のように、チーズのディフェクト、すなわち欠味や不快な風味として認識される用語が含まれた(Morgan et al., 1976; Bodyfelt et al., 1988; Lemieux et al., 1989; Lemieux, 1994; Singh et al., 2003)。F5およびF6に含まれた「マッシュルーム」と「パン様の酵母」風味、および「お酒様の酵母風味」と「フルーティ」の間には $R=0.67\sim 0.70$ の相関がみられたものの、その寄与率が他の主成分と比較して低いことから評価用語としての重要度は低いと評価された。また、これら2因子軸には日本語の評価用語に特有の用語がそれぞれ分類された。

これらの因子分析結果より、官能評価用語はその評価属性に関わらず6因子軸に分類することが可能であることが分かり、それら因子軸に含まれた評価用語の共通点を基にそれぞれF1「外観と味」、F2「食感」、F3「乳製品のおいしさに関わる基本特性」、F4「ディフェクト」、F5「マッシュルームとパン様の酵母風味」およびF6「お酒様の酵母風味とフルーティ」とラベリングした。これら6つの因子軸は予め分類した官能評価属性とは異なる評価対象属性に分類されたが、これは官能評価では人の五感コミュニケーションを介して評価したスコアを提供したことを示していると推察した。通常、官能評価ではパネルに対して評価属性に分類した用語について独立に評価する訓練を実施しているが、個々の用語について完全に独立した用語として見なすには限界があり、すでに評

価パネリスト個人の潜在意識下で構成されている官能評価属性および用語間の相関を排除することは困難であると考えられた。したがって、評価属性および用語を用いて官能評価を行い、そのスコアについて因子分析することにより、パネリストがすでに保有している独自の官能評価体系を抽出することが可能であると考えられ、その抽出された官能評価体系を採用することにより、個人の五感コミュニケーション効果を含めた官能評価法を創出する可能性が残されていると考えられた。

表 2-9 38 語の評価スコアから得た 6 つの官能評価因子と因子負荷量

因子軸のラベル	属性	官能評価用語	F1	F2	F3	F4	F5	F6
F1:外観と味	外観	ストーン	0.96					
		ガスホール	0.95					
		ヒビ、裂け目	0.94					
		乾燥	0.92					
	香味	旨味	0.92					
		酢酸風味	0.89					
		酪酸風味	0.86					
		塩味	0.83					
		ナッツ様の風味	0.80					
	食感	醤油風味	0.76					
口どけのはやさ		0.64						
		弾力	-0.91					
F2:粘弾性特性	食感	なめらかさ		0.97				
		ねっとり感		0.95				
		ペースト状		0.90				
		粗さ		-0.79				
		かたさ		-0.86				
		歯切れのよさ		-0.89				
		ざらつき		-0.91				
		乾燥した食感		-0.95				
F3:乳製品のおいしさに 関わる基本特性	外観	白色			0.96			
		ジアセチル風味			0.94			
	香味	ヨーグルト臭			0.90			
		乳酸風味			0.81			
		ミルク風味			0.80			
		甘味			0.75			
		酸味			0.61			
		黄色			-0.96			
	F4:デフェクトとして働く フレーバー	香味	ベジマイト様の酵母風味				0.85	
			加熱風味				0.83	
ポテト風味						0.83		
エグ味						0.81		
苦味						0.70		
渋味						0.68		
F5:マッシュルーム風味 とパン様の酵母風味	香味	マッシュルーム風味					0.89	
		パン様の酵母風味					0.75	
F6:お酒様の酵母風味 とフルーティ	香味	お酒様の酵母風味					0.63	
		フルーティ					0.59	
分散			10.83	9.32	7.35	5.51	2.48	1.49
寄与率(%)			28.51	24.54	19.34	14.49	6.52	3.92
累積寄与率(%)			28.51	53.05	72.39	86.88	93.40	97.32

官能評価スコアの因子分析から分類された新たな官能評価属性に基づいて、F1 と 2 および F3 と 4 の因子得点による供試サンプルのポジショニングマップをそれぞれ図 2-3(a) および (b)に示した。

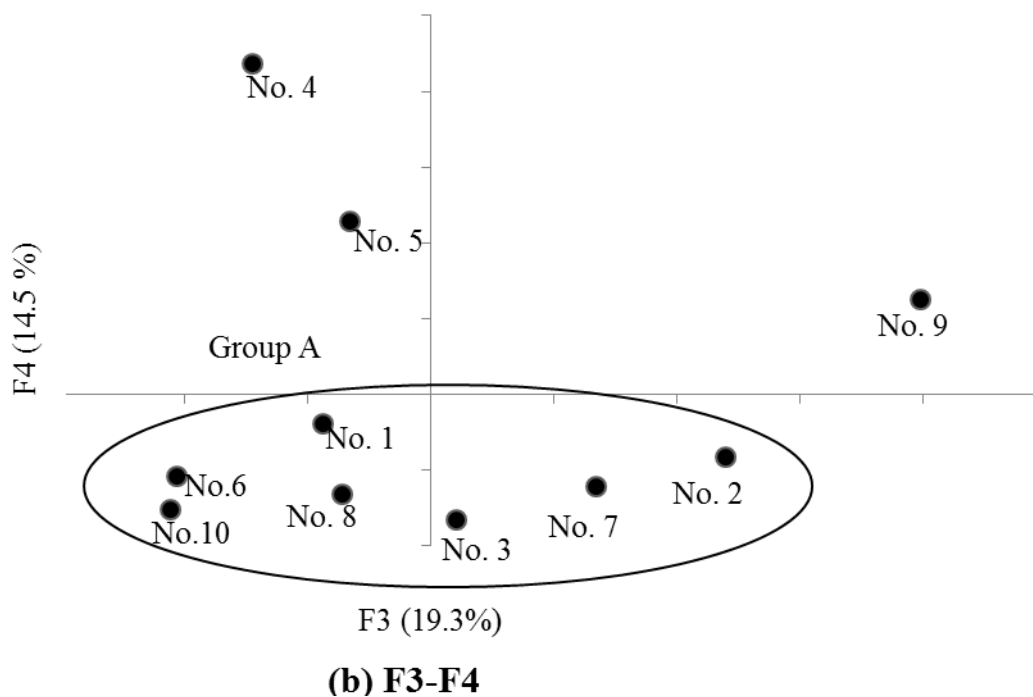
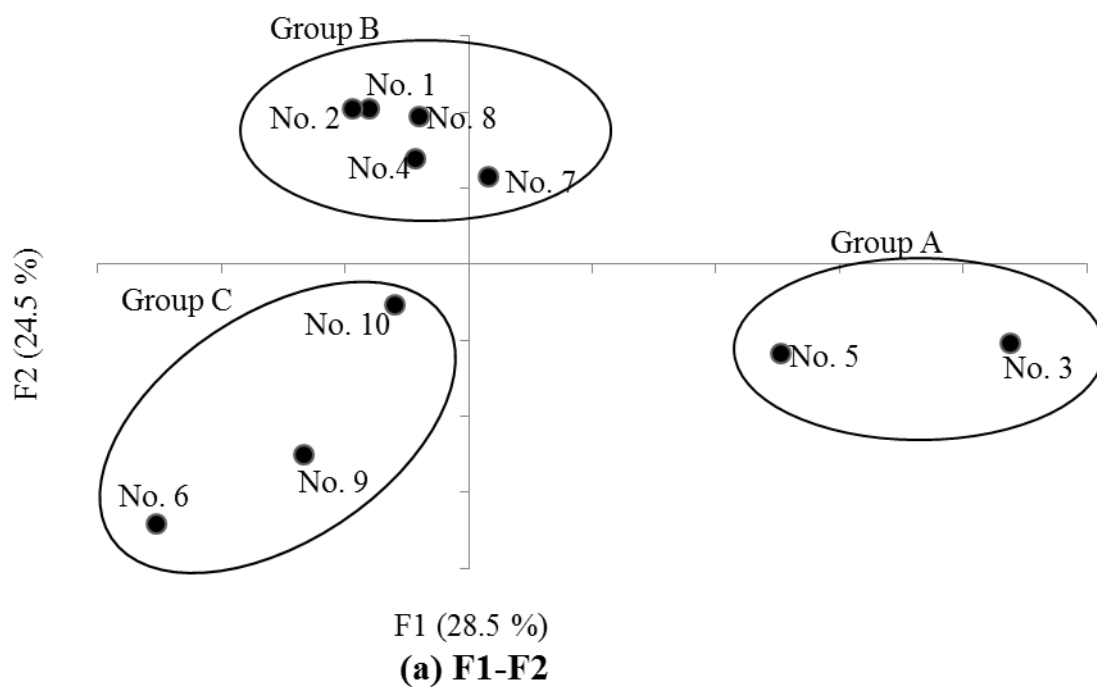


図 2-3 官能評価因子による供試サンプルのポジショニングマップ

図 2-3(a)に示したように、官能評価用語の因子得点に影響を受けるサンプルはグループ A、B、C に分けられることが分かった。グループ A は F1 の因子得点に影響を受け、食感属性用語の影響を受けるサンプルはグループ B と C に分けられた。図 2-3(b)のポジショニングマップに示したように、大部分のサンプルがグループ A に含まれ、F3 の評価用語に影響を受けるサンプルであることが分かった。サンプル No.9 はこの平面の第一象限にプロットされ、表 1-8 で示したように最高の嗜好度順位にあることが分かった。逆に、第 4 象限にプロットされたサンプル No.4 と 5 は、グループ A に比べても低い嗜好度順位を示した。これらのポジショニングマップから、嗜好度順位に影響を及ぼす主成分は F3 と F4 であることが分かった。したがって、F3 を「乳製品のおいしさに関与する基本特性」、また F4 を不快な風味すなわち「ディフェクト」とラベリングしたことには妥当性があると考えた。これらの結果を嗜好度に寄与する主成分得点の観点から評価すると、図 2-3(b)に示した F3 の貢献が最も高く、(a)に示した F1 と 2 の示す貢献度よりも強いことが分かった。したがって、F3 に含まれる評価スコアの嗜好度への貢献度は、例えば F1 の主成分得点の上位 4 位までを占める外観属性用語よりも高いことが分かった。

2.3.3 官能評価スコアから嗜好度を予測するモデリング

官能評価スコアと嗜好度との相互関係をステップワイズ PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた手法によって探索した。

PLS 回帰分析の説明変数に評価用語 38 語の評価スコアを用い、目的変数に嗜好度を用いたところ、潜在因子を 1 つ持ち、 $R^2=0.59$ を示す回帰式を得た。このとき、PLS-VIP の変数重要度を示す VIP が閾値 0.80 以上を示した官能評価特性は図 2-4 に示す 14 項目であった。図中では VIP を赤色で表示し、説明変数の目的変数に対する寄与方向を示した回帰係数(W)の値は青色で表示した。

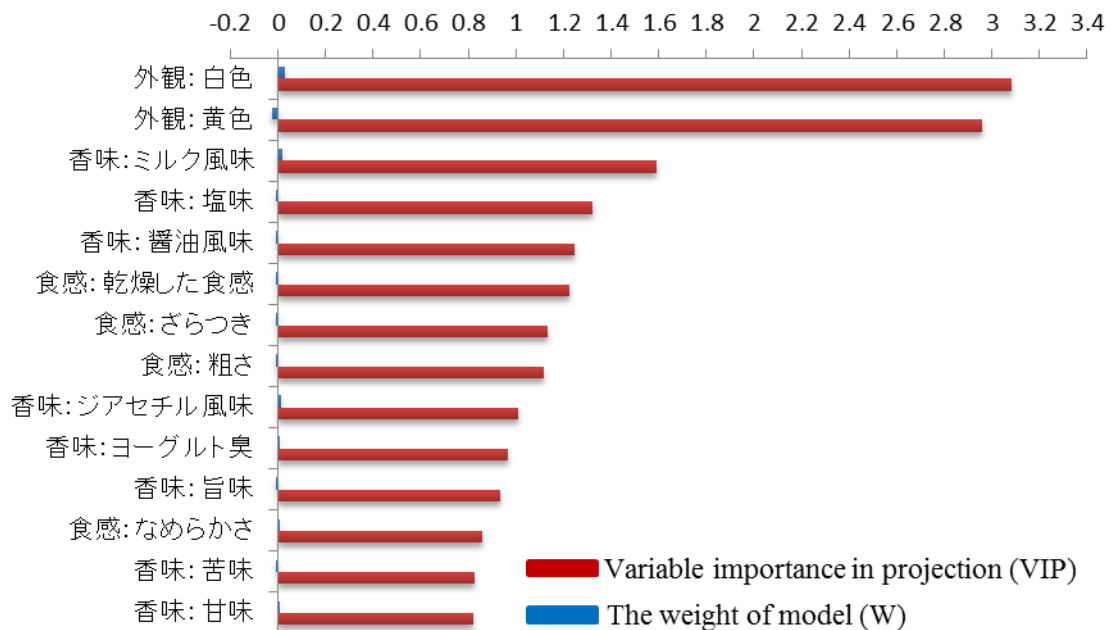


図 2-4 嗜好度に対して高い寄与を示す官能評価特性の寄与順位と寄与方向

図 2-4 に示したように、外観属性の「白色」および「黄色」は、他の評価用語と比較して顕著に高い寄与度を示し、評価用語の中でも、特に香味属性の評価用語が嗜好度に対して寄与を示す傾向があることが分かった。

図 2-4 中の 14 項目の説明変数グループに対して、評価用語の絞り込みのためにステップワイズ PLS-VIP を 2 回繰り返した結果、潜在因子を 1 つ持ち、 $R^2=0.58$ を示す回帰式が得られ、外観属性の「白色」および「黄色」、香味属性の「ミルク風味」および「醤油風味」、食感属性の「乾燥した食感」の 5 つの官能評価特性項目が、嗜好度に対して高い寄与を示す官能評価特性であることがわかった (図 2-5)。

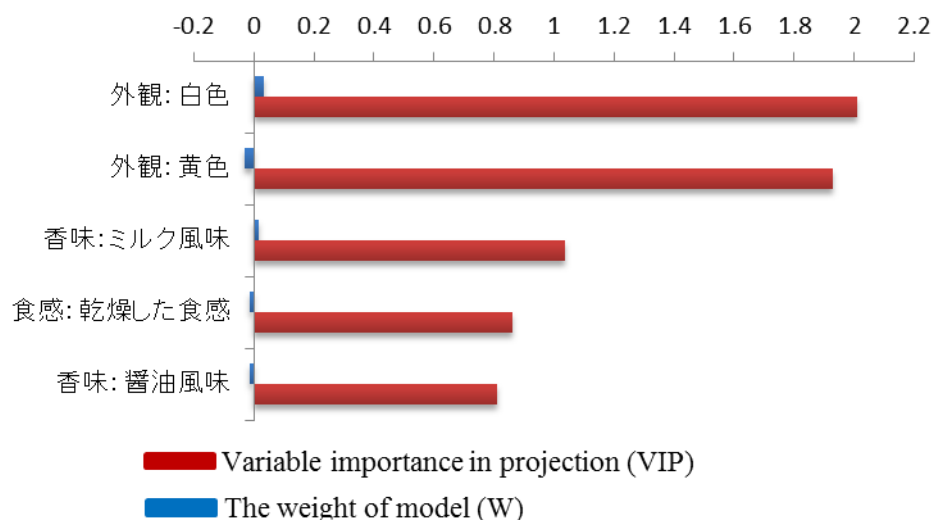


図 2-5 嗜好度に寄与する 5 つの官能評価特性

図 2-4 中では嗜好度への寄与度が第 4 位を示した香味属性用語の「塩味」は、最終的なステップワイズ PLS-VIP 結果 (図 2-5)ではその寄与順位を落とし、VIP>0.80 の閾値を超えなかった。また図 2-4 と図 2-5 では、香味属性の「醤油風味」と食感属性の「乾燥した食感」の嗜好度に対する寄与順位が入れ替わっており、「醤油風味」よりも「乾燥した食感」の方が嗜好度には影響が高い項目であることが分かった。図 2-5 中の W の正負号に着目すると、嗜好度に対して正方向に寄与する官能評価特性は「白色」と「ミルク風味」であり、他方、「黄色」、「乾燥した食感」および「醤油風味」は嗜好度に対して負の寄与を示すことが分かった。これら 5 つの評価用語は、嗜好度に対して高い寄与度を示すことから、日本人のチェダーチーズに対する嗜好性に高い影響を及ぼしている可能性が高い官能評価用語であると考えられた。すなわち、日本人はチェダーチーズの嗜好度を評価する際には、視覚を用いて「白色」および「黄色」といった色を評価し、嗅覚、味覚においては「ミルク風味」および「醤油風味」を重視し、口腔内における触覚では「乾燥した食感」を重視する可能性が高いと考えられた。また、これら 5 つの官能評価用語は、分析型パネルによる評価のように特性ごとに個別に評価・判断されているものではなく、消費者の無意識下における評価基準であると推察した。しかしながら、ここで得られた PLS 回帰式は、その決定係数が小さいために回帰式の目的変数の予測精度は不安定であった。これは、官能評価スコア 38 項目を個別に説明変数として PLS 回帰式に適用したことにより、その変数の分散が大きくなった結果、回帰式の予測精度が低下したためであると考えた。そこで、評価スコアの因子分析で得た 6 つの因子軸を PLS の説明変数として採用し、新たに嗜好度の PLS 回帰式の作成を行った。その結果、潜在因子を 1 つ持ち、 $R^2=0.79$ (自由度調整済 $R^2=0.76$) を示す比較的良好な回帰式を得た。また、そのときに得られた第 1 因子から第 6 因子までの VIP 順位は、第 3 因

子、第4因子、第2因子、第5因子、第1因子、第6因子の順であった。第3因子には、評価用語の「白」、「黄色」、「ミルク風味」が分類されており(表 2-9)、図 2-5 に示した評価スコアを説明変数として使用した PLS 回帰式において示された結果とも矛盾しないことが分かった。また、ステップワイズ PLS-VIP において選出された評価特性は、いずれも因子分析の結果から得られた評価用語の評価属性によらない新たな評価対象属性のラベリングの内容とも一致することが分かった(表 2-9)。

このように、官能評価スコアに因子分析を適用して評価用語の類似度が高い項目をグループングして変数を少なくし、その変数間の分散のばらつきをより少ない範囲にまとめて PLS 回帰分析の説明変数とすることによって、作成した回帰式の予測精度を向上させることが可能であることが分かった。

官能評価スコアと嗜好度の間における相互関係は、PLS 回帰分析およびステップワイズ PLS-VIP 法によって、官能評価用語の「白色」、「黄色」、「ミルク風味」、「乾燥した食感」および「醤油風味」の5つによる影響を強く受けると予測する回帰式を得た。しかしながら、官能評価スコアと嗜好度との間には直線的な関係性はないと考えられた。そこで、官能評価スコアと嗜好度との相互関係に想定される非線形関係をモデリングするために、それらに対して ANN モデリングを適用した。

まず、基本モデルとして、評価用語 38 語の評価スコアを入力層に代入し、出力層に嗜好度を適用した ANN モデルを構築した。このとき、モデルブースティングは 100 回実施し、その学習率は 0.001 とした。この ANN モデリングでは、 R^2c (学習モデルの決定係数)=0.96(0.93~0.99)、 $RMSEc=0.06(0.02\sim 0.08)$ および R^2v (検証モデルの決定係数) = 0.79(0.62~0.98)、 $RMESv=0.13(0.05\sim 0.19)$ の精度を持つモデルを構築した。この基本モデルの学習および検証モデルにおける予測精度が比較的良好であることから、38 語の評価スコアと嗜好度との相互関係は ANN モデルによって高精度でモデリング可能であることが分かった。

次に、ステップワイズ PLS-VIP によって嗜好度に対する寄与が高いとして選定された 5 語の評価用語の評価スコアを ANN の入力層にし、出力層に嗜好度を適用したモデルを構築した結果、 $R^2c=0.90(0.86\sim 0.96)$ 、 $RMSEc=0.10(0.06\sim 0.11)$ および $R^2v=0.86(0.83\sim 0.87)$ 、 $RMESv=0.13(0.12\sim 0.15)$ の精度を持つ ANN モデルを構築した。図 2-6~図 2-15 に、5 つの評価スコアと嗜好度とのすべての組み合わせについて、構築した ANN モデルに基づいた応答曲面をそれぞれ示した。

図 2-6 に外観属性の「白色」と「黄色」および嗜好度との相互関係を示す応答曲面を示した。図 2-6 中において、「白色」スコアを固定した場合には「黄色」スコアを高めれば嗜好度も高くなり、反対に、「黄色」スコアを固定すれば「白色」が高まるとともに嗜好度が高まるといった、「白色」と「黄色」の間の反比例関係が分かった。これは、PLS-VIP で算出した回帰係数 W の正負号が、「白色」と「黄色」との間で逆の符号を示したことに合致する結果であった。このことから、供試サンプルの表面色が嗜好度の

評価に影響をおよぼす可能性が高いことが分かった。

図 2-7 に外観属性「白色」と香味属性「ミルク風味」および嗜好度との相互関係を示す応答曲面を示した。この図 2-7 中では、「ミルク風味」スコアが高いほど嗜好度が高い傾向があり、「白色」スコアは「ミルク風味」と比較する嗜好度への影響力は弱い傾向が観られた。また、「白色」スコアが低いほど嗜好度が高まる傾向が観られたが、他方、「ミルク風味」スコアを固定して「白色」スコアのみを低下させても嗜好度を高める働きは小さいことが分かった。

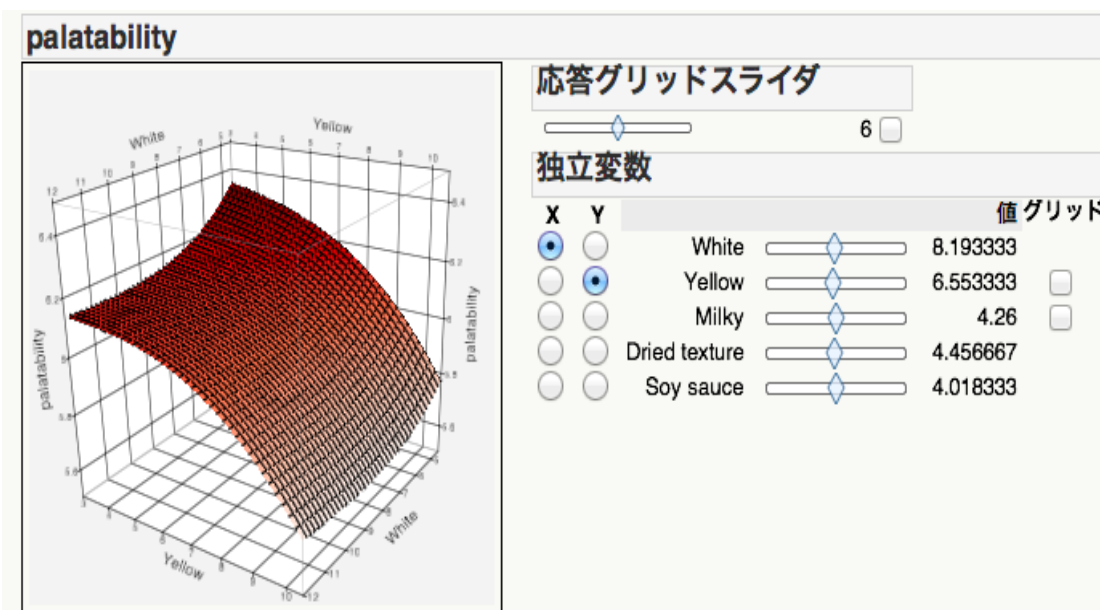


図 2-6 「白色」と「黄色」および嗜好度間の相互関係性

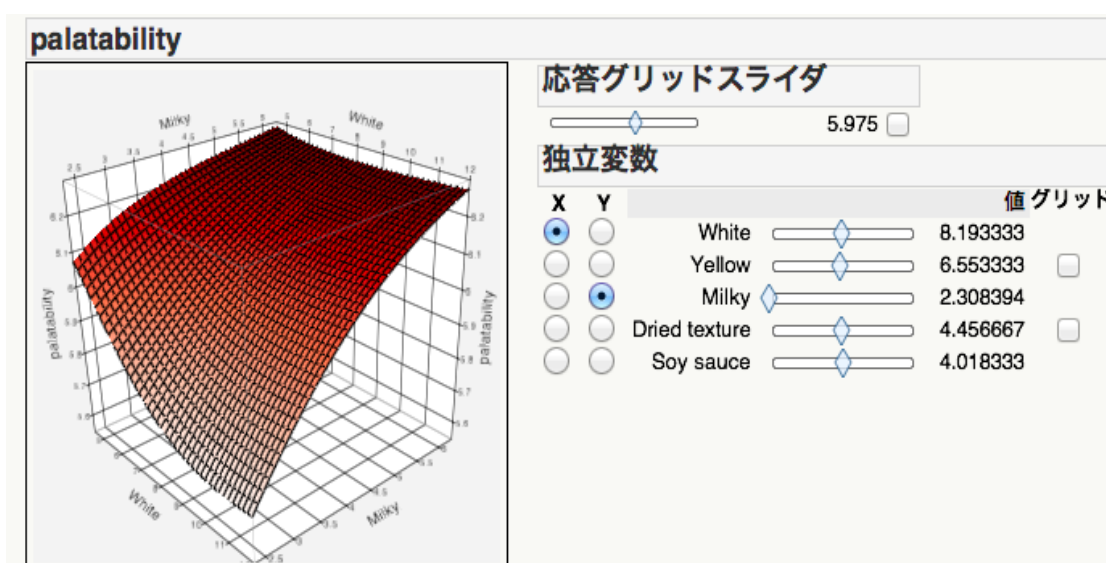


図 2-7 「白色」と「ミルク風味」および嗜好度の相互関係性

図 2-8 に外観属性「白色」および食感属性「乾燥した食感」および嗜好度との相互関係を示す応答曲面を示した。「白色」および「乾燥した食感」は、双方のスコアが低いときに嗜好度が最大値を示す傾向があることが分かった。また、「白色」スコアが 8 [-] 以下、「乾燥した食感」スコアが 5 [-] 以下の時に曲面の傾きが急になり、嗜好度が高まる傾向がより強くなることが分かった。さらに、図 2-9 は図 2-8 と同様の傾向を示し、外観属性の「白色」と香味属性の「醤油風味」のいずれものスコアが低ければ低いほど、嗜好度が高まる傾向があることが分かった。

図 2-10 に外観属性「黄色」と香味属性「ミルク風味」および嗜好度の相互関係を示した応答曲面を示す。他の官能評価スコア間との関係性とは異なり、この応答曲面図の中では嗜好度の最高点を示す位置が三次元空間のいずれの軸にも接しておらず、「ミルク風味」スコアは約 6.5[-]、「黄色」スコアが約 8.0[-]のとき嗜好度が 6.32[-]を示した。

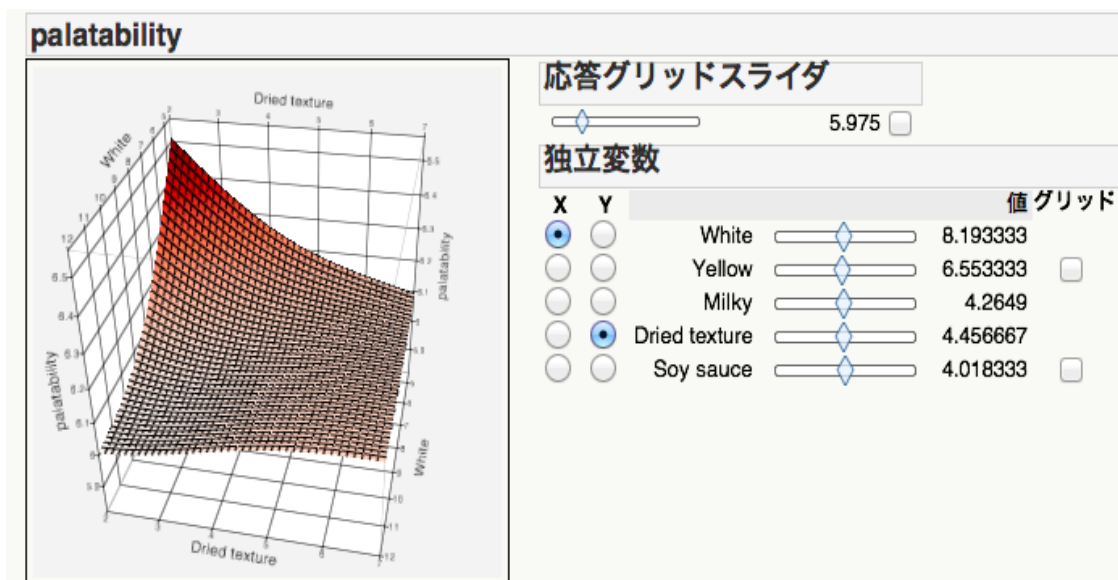


図 2-8 「白色」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性

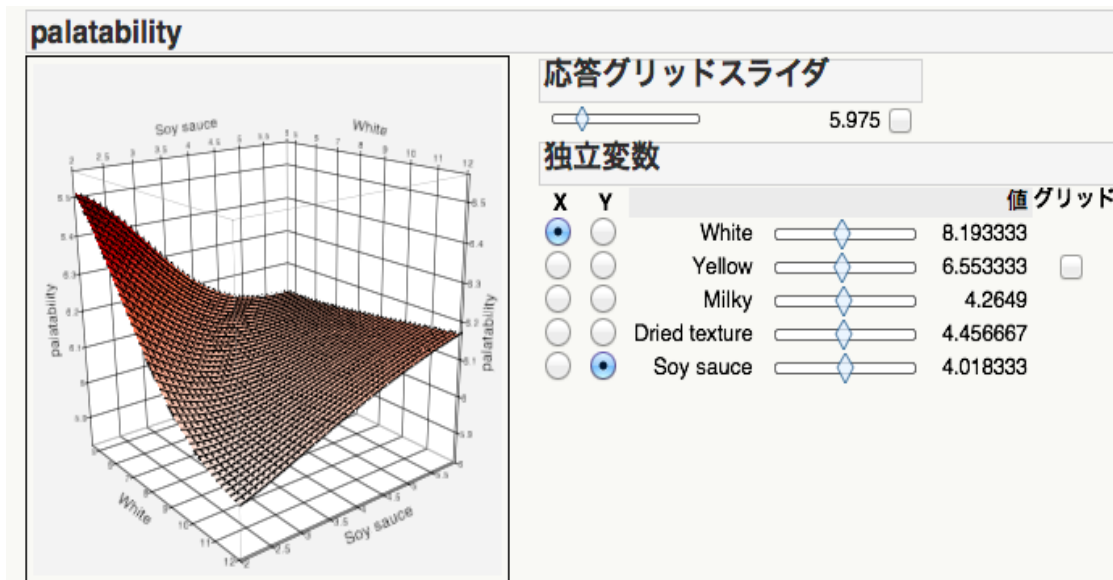


図 2-9 「白色」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性

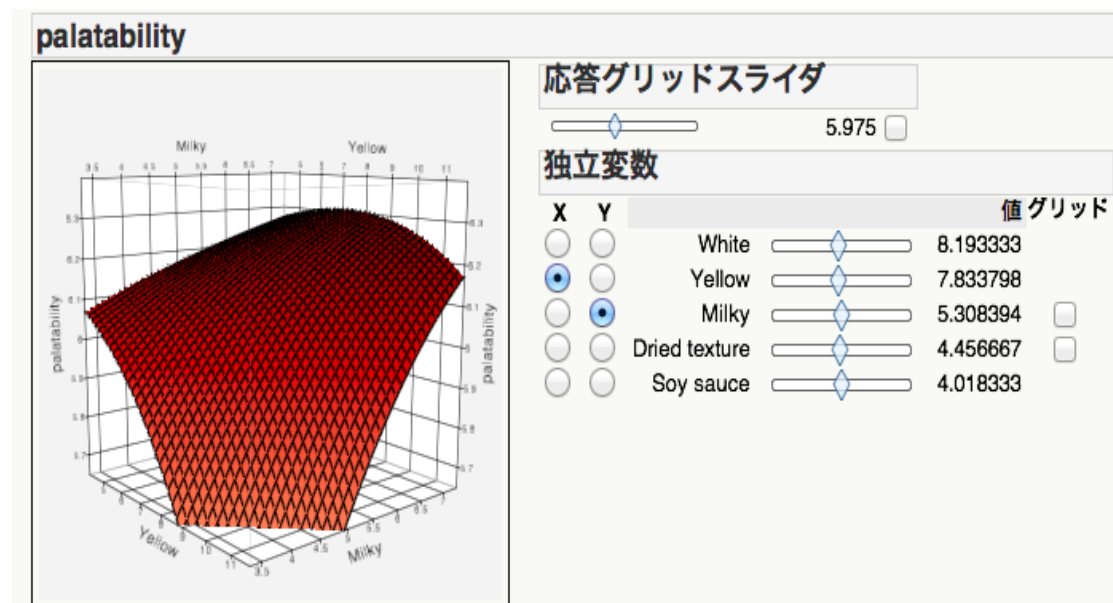


図 2-10 「黄色」と「ミルク風味」および嗜好度の相互関係性

図 2-11 に外観属性の「黄色」と食感属性の「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係を示した応答曲面を示す。これら評価スコアと嗜好度の相互関係は、「乾燥した食感」スコアによる影響よりも「黄色」スコアが低いことによる影響の方が大きいことが分かった。

図 2-12 に外観属性の「黄色」と香味属性の「醤油風味」および嗜好度の相互関係を示す応答曲面を示した。この応答曲面においては、「醤油風味」スコアが低く「黄色」ス

コアが高い領域においては嗜好度が伸びない傾向を持つことが分かった。他方、「醤油風味」スコアと「黄色」スコアの両方が低い領域において嗜好度は最も高まる傾向が観られた。

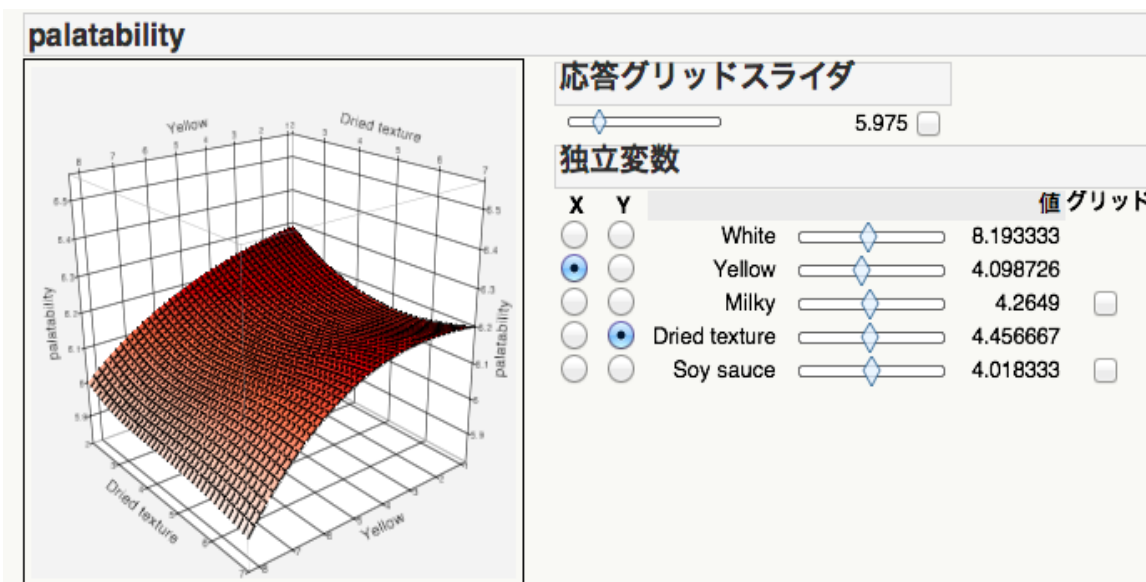


図 2-11 「黄色」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性

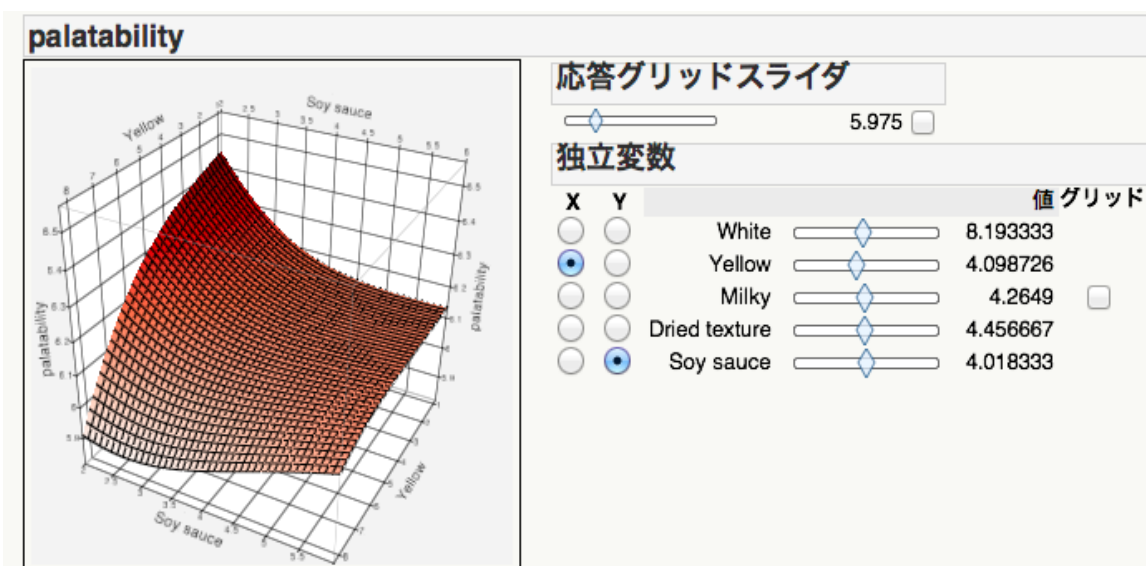


図 2-12 「黄色」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性

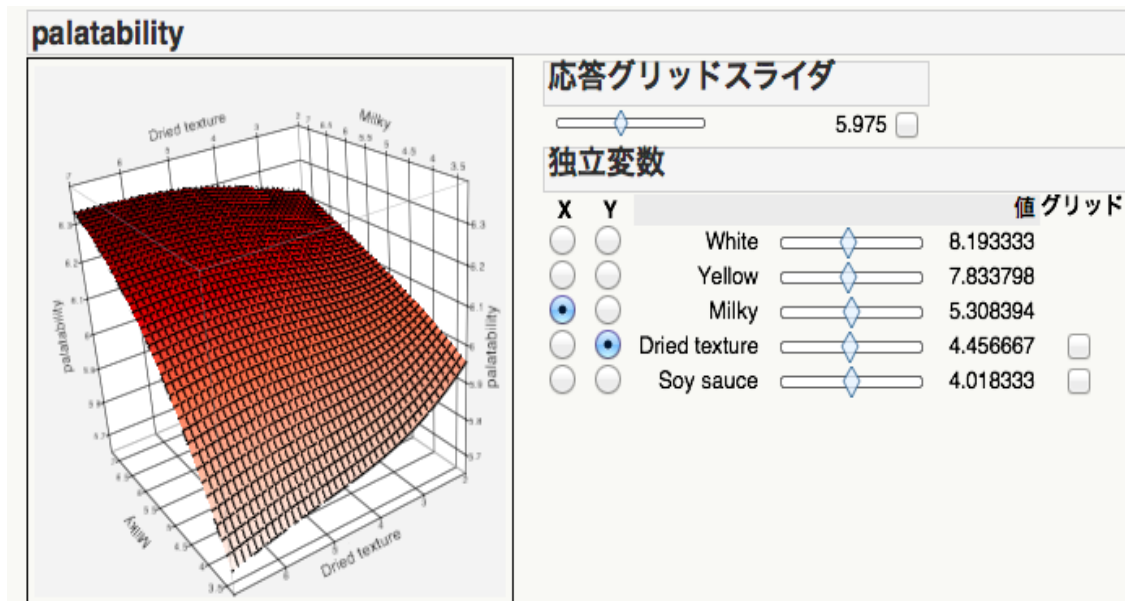


図 2-13 「ミルク風味」と「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係性

図 2-13 に香味属性の「ミルク風味」と食感属性の「乾燥した食感」および嗜好度の相互関係を示した応答曲面図を示す。嗜好度は「ミルク風味」と「乾燥した食感」の両方のスコアが高いほど高くなる傾向を持つことが分かった。「ミルク風味」はステップワイズ PLS-VIP においてその回帰係数 W の符号が正を示し、嗜好度に対して比例関係を持つ評価用語であったので、この応答曲面において表示された関係と合致した。他方、「乾燥した食感」は嗜好度に対して、ステップワイズ PLS-VIP では回帰係数 W が負を示したが、この応答曲面においてはそれとは異なる寄与方向を示した。これは、本研究において構築した ANN モデルが、個別の評価用語と嗜好度との相互関係を示すものではなく、5つの官能評価用語の評価スコアと嗜好度との複合的な相互関係性を示すことに起因したと考えられた。このことから、ANN モデリングにおいては、実際には5つの評価用語が相互作用を及ぼし合いながら嗜好度に寄与しており、個々の官能評価用語が及ぼす影響と複数個の用語がグループとなって及ぼす影響とは必ずしも一致しないことが分かった。

図 2-14 に香味属性の「ミルク風味」、「醤油風味」および嗜好度の相互関係を示す応答曲面を示す。この応答曲面では図 2-14 と同様の傾向が観られ、「醤油風味」が PLS-VIP の回帰係数 W においては嗜好度に対して負の寄与関係を示したのにも関わらず、ANN モデルでは嗜好度に対して正の寄与関係を示すことが分かった。

図 2-15 に食感属性「乾燥した食感」と香味属性「醤油風味」および嗜好度の相互関係を示した応答曲面を示した。「醤油風味」スコアが低く「乾燥した食感」スコアが高い領域と「醤油風味」スコアが高く「乾燥した食感」スコアが低い領域においては、嗜好

度が減少する傾向があり、他方、「醤油風味」と「乾燥した食感」のスコアが両方とも高い領域と「醤油風味」と「乾燥した食感」のスコアが両方とも低い領域では嗜好度が向上するといった関係があることが分かった。

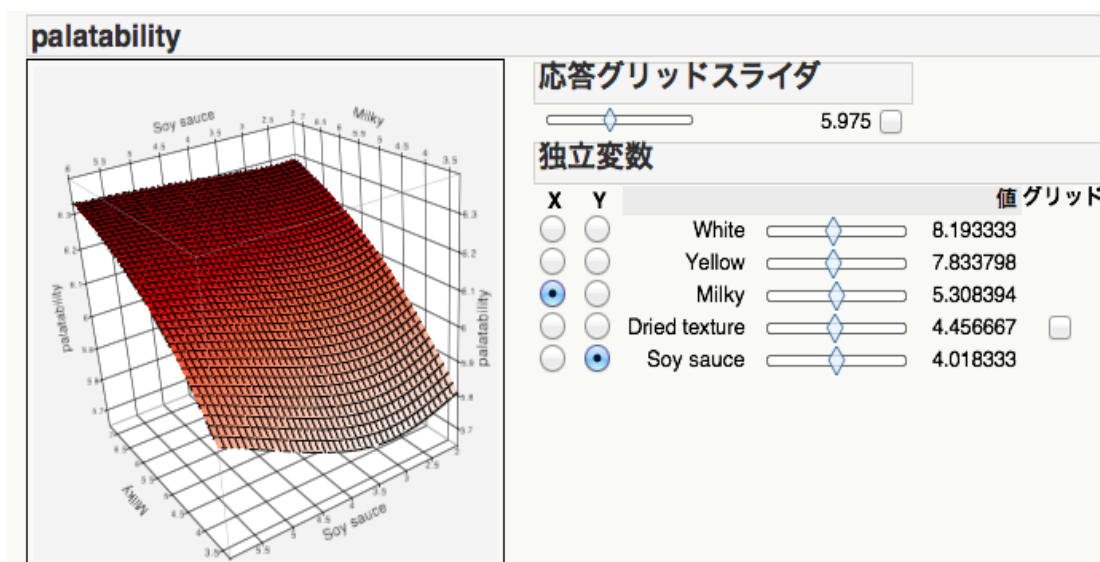


図 2-14 「ミルク風味」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性

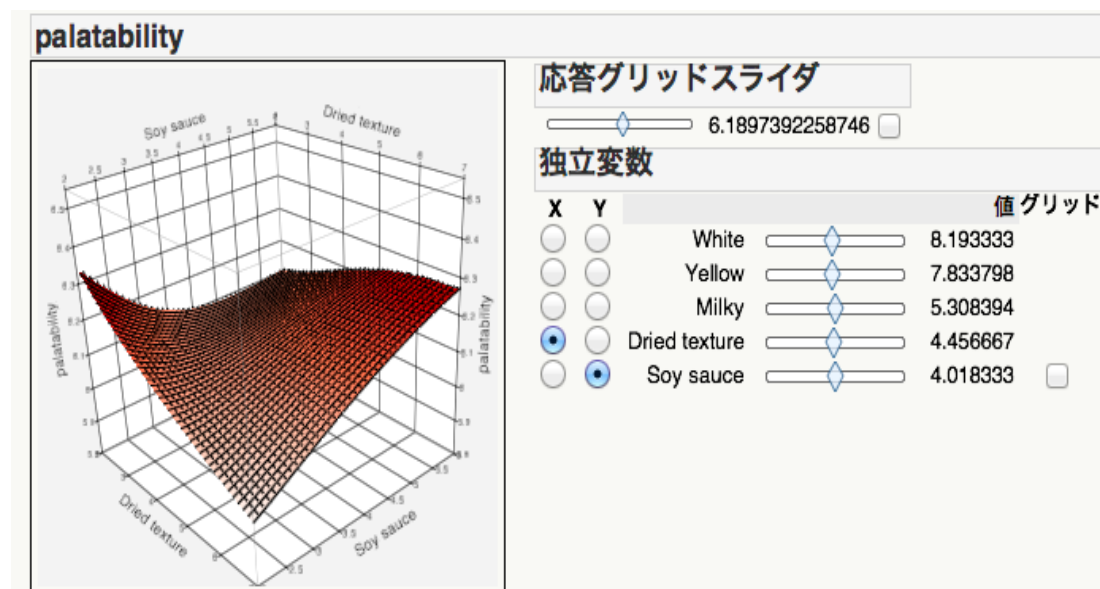


図 2-15 「乾燥した食感」と「醤油風味」および嗜好度の相互関係性

これらの応答曲面に示したように、PLS 回帰分析を用いて官能評価スコアから嗜好度を予測する回帰式を構築し、さらにステップワイズ PLS-VIP を用いて嗜好度に寄与する官能評価用語を特定した。また、評価スコアと嗜好度との間に存在する非線形の相互

関係に関して ANN を用いてモデル化した。その結果、官能評価用語の中には、嗜好度に対して正の相関を示してそのスコアが高まるものと負の相関を示してスコアが低下するものがあることが分かった。さらには、嗜好度に対して、個々の官能評価用語が及ぼす影響と複数個の用語がグループとなって及ぼす影響とは必ずしも一致しないことが分かった。

2.4 摘要

本章では、チェダーチーズに対する日本人の食体験を反映した官能評価用語を作成し、それらを使用した官能評価と消費者嗜好度調査を実施して、日本人によるチェダーチーズの品質評価における官能評価特性を探索し、それらと嗜好度との相互関係をモデル化することを目的とした。具体的な成果は以下の通りである。

1. 分析型官能評価パネル候補者 13 名による予備官能評価の結果から、チェダーチーズの実用官能評価用語を外観属性 6 語、香味（香り、風味および味）属性 22 語、食感属性 10 語の計 38 語を選定した。
2. 評価用語 38 語は、その評価属性に関わらず 6 因子軸に分類することが可能であり、それら因子軸に含まれた用語の共通点を基にそれぞれ F1「外観と味」、F2「食感」、F3「乳製品のおいしさに関する基本特性」、F4「ディフェクト」、F5「マッシュルームとパン様の酵母風味」および F6「お酒様の酵母風味とフルーティ」とラベリングした。
3. PLS 回帰分析を用いて分析型パネルによって評価した官能評価スコアから嗜好度を予測する回帰式を作成し、さらに、それに対してステップワイズ PLS-VIP 法を適用することにより、「白色」、「黄色」、「ミルク風味」、「乾燥した食感」および「醤油風味」の 5 つの官能評価用語が日本人の嗜好度に対して高い寄与を示すことを明らかにした。
4. 評価用語 38 語の評価スコアと嗜好度の相互関係および官能評価用語の「白色」、「黄色」、「ミルク風味」、「乾燥した食感」、「醤油風味」の評価スコアと嗜好度のそれぞれの間における相互関係について ANN モデルを用いて良好にモデリングした。
5. ANN モデリングで得られた応答曲面を解釈することにより、官能評価用語間における相互作用によってそれらが互いに影響し合いながら嗜好度へ寄与するために、個別の官能評価用語が嗜好度へおよぼす影響と複数個の用語がグループとなって及ぼす影響とは必ずしも一致しないことを示した。

第3章 チェダーチーズの粘弾性試験法に基づいた食感評価モデルの開発

3.1 背景と目的

第3章では、チェダーチーズの機器計測によって得られた粘弾性特性と官能評価特性との相互関係に基づいた食感評価モデルの構築法を開発した。

食感とは、食品が人の口腔内において咀嚼や舌による唾液との混合などの影響を受けて状態変化したもの、あるいはその変化の過程を知覚することによって生じる物理的刺激に由来する感覚である(Foegeding and Drake, 2007)。チーズの食感は、消費者の感じるおいしさ評価に重要な因子であることが知られている(AK and Gunasekaran, 1992; Jaros et al., 1997; Bugaud et al., 2001; Bugaud et al., 2001)。そのため、チーズの食感をコントロールすることは、チーズの品質制御における主要因の一つであるといえる。

チーズの食感とその品質評価に大きな影響を与える因子であることから、物理的な計測によって得た粘弾性特性と官能評価スコアとの相互関連性について、多くの先行研究がなされている(Lee et al., 1990; Lebecque et al., 2001; Coker et al., 2005; Foegeding and Drake, 2007; Stokes et al., 2013)。特に、主成分分析やPLSといった多変量解析手法を使用して、粘弾性特性と官能評価スコアを関連付ける報告が多い(Hough et al., 1996; Drake et al., 1999; Adhikarie et al., 2003; Donadini et al., 2012; Ochi et al., 2012)。

測定機器によってチーズの食感を計測する手法として、一般的には破断試験、クリープ試験およびテクスチャ試験が行われている。チーズの粘弾性計測項目の中で、最も計測目標とされることの多い粘弾性特性は、硬さもしくはその硬度である(Wium et al., 1997; Drake et al., 1999)。しかし、チーズの食感であるとして計測している粘弾性特性の定義やその測定条件が報告者によって異なるため、必ずしも一般性を持つ測定結果が得られているとは限らない。また、チーズの粘弾性特性については、レオロジーの理論に基づいて研究した報告例は少ないために、チーズの粘弾性特性と官能評価スコアとの相互関連性は系統的に把握されていない。そのため、両者の対応関係を粘弾性特性の計測原理に基づいてモデリングし、このモデルによって人のおいしさ評価に影響を及ぼす食感を粘弾性特性の値によって定量的に評価することができない現状にある。

本研究の目的は、チェダーチーズの粘弾性計測パラメータと官能評価スコアの相互関係解析に基づいて、1) 高精度で官能評価スコアを予測する機器試験法の組み合わせを選択する方法と 2) PLS と ANN を併用した品質評価モデルの構築法を提唱することにある。

3.2 供試サンプルと実験方法

3.2.1 供試サンプル

供試サンプルとしたチェダーチーズについては第2章(p.29~p.30)に記載した。

3.2.2 粘弾性試験装置と設定条件

供試サンプルの破断、クリープおよびテクスチャ試験に用いた試験装置（山電製クリープメータ、RE2-33005s 型）の構成図を図 3-1 に示す。この装置は粘弾性計測部、試料厚さ計、データ収録装置および制御用パーソナルコンピュータより構成されている。計測部では、試料台が一定速度で昇降して試料を圧縮すると同時に、プランジャー上部のロードセルによって荷重の経時変化を検出する機構となっている。円柱型プランジャーの直径と圧縮速度は、載荷開始直後から終了時までの荷重と歪みの経時変化を記録できる条件を予備実験により確認し、圧縮後のサンプル直径よりも大きい 55 mmφ と 0.5 mm/s をそれぞれ選択した。また、破断およびテクスチャ試験に必要な最大荷重は 200 N 以下であることを確認し、これらの試験には最大荷重 200 N のロードセルを用いた。クリープ試験では荷重-歪率曲線の初期に観察される線形性が保たれている範囲の載荷条件を用いて最大荷重を設定する必要があるため(Shibata et al., 2008)、この条件を満たす載荷条件は最大荷重 3 N、歪率 10 %であることを確認して最大荷重 20 N のロードセルを選択して用いた。これらすべての試験法の測定誤差を評価するために、それぞれの試験は同一サンプルにつき 3 回以上繰り返し測定した。これらの試験法には、測定曲線から粘弾性パラメータを推算する解析ソフトが提供されている。以下にこれらの推算法について述べる。

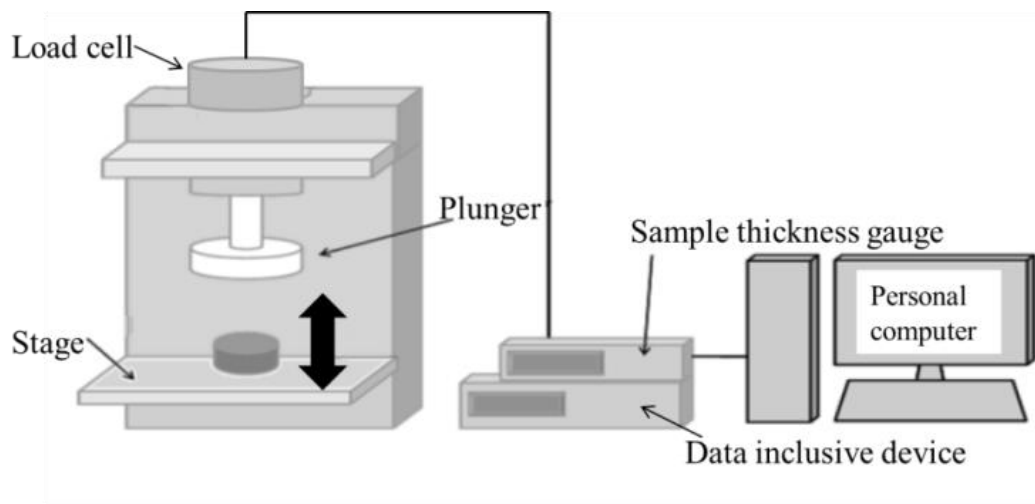


図 3-1 粘弾性試験装置の概要図

3.2.3 解析モデルによるパラメータの推算法

- a) **破断試験** チェダーチーズを対象として得られる典型的荷重-歪率曲線を図 3-5 に示した。この曲線の詳細な特性については後述するが、推算されるパラメータは曲線の変曲点から得られる破断荷重[N]、破断歪率[%]、最大荷重[N]および原点と破断

点に至る曲線で囲まれる面積から推算される破断エネルギー[J/m²]である。

- b) **クリープ試験** クリープ測定曲線(図 3-2(a))を 4 要素マックスウェル・フォークトモデル(図 3-2(b))で近似して得られる粘弾性パラメータは、瞬間弾性率 E_0 [Pa]、遅延弾性率 E_1 [Pa]、遅延粘性率 η_1 [Pa·s] および 永久粘性率 η_N [Pa·s]である(Sagara, 2009)。

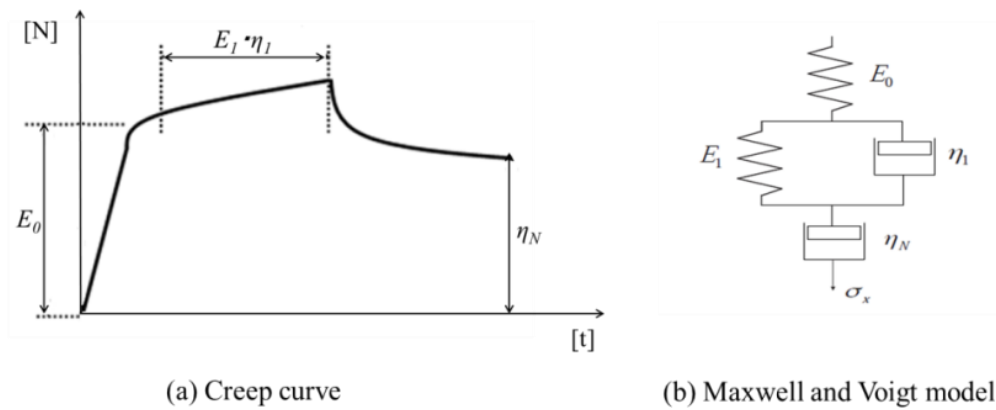


図 3-2 クリープ曲線とパラメータ推算モデル

- c) **テクスチャ試験** サンプル試片を 2 バイト圧縮することにより得られる荷重-移動距離曲線すなわちテクスチャプロファイル曲線(図 3-3)から推算されるパラメータは、最大荷重[N]、かたさ荷重[N]、かたさ応力[N/m²]、ガム性荷重[N]、ガム性応力[N/m²]、A1 エネルギー[J/m³]、A2 エネルギー[J/m³]、凝集性[-]および付着性[J/m³]である。

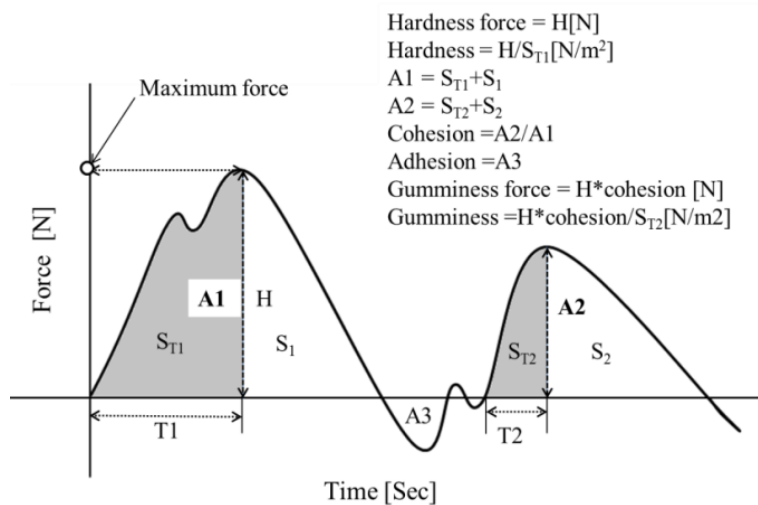


図 3-3 テクスチャプロファイル曲線と推算されるパラメータ

3.2.4 官能評価

官能評価の実施については第2章(p.30~p.37)に記述した。

3.2.5 統計解析

粘弾性パラメータおよび官能評価スコアのデータセットを対象にして、市販されている統計解析ソフト JMP10.0 Pro (SAS Inst., c., Cary, N.C., U.S.A)を適用して、主成分分析、PLS 回帰分析および ANN モデリングを行った。

主成分分析では、これらのデータセット間の相互関係を分析するために、カイザー基準の固有値が 1.0 以上を示す主成分についてヴァリマックス回転を適用し、データセットが顕著に分類される主成分数を求めた。

PLS 回帰分析では、説明変数に粘弾性パラメータ、目的変数に官能評価スコアおよび嗜好度を用い、それらの目的変数を精度良く説明できるパラメータの組み合わせを探索した。得られたモデルの目的変数の予測精度は重相関係数(R^2)で評価した。また、説明変数の選択とそれらの目的変数に対する寄与度が必要な場合にはステップワイズ PLS-VIP 法を適用し、VIP 値と回帰係数(W)を閾値として用いた。この方法により特定された変数とその寄与度は、ANN モデリングにおける入力データとして用いた。

図 3-4 に知覚ネットワークからなる ANN モデルの構造を示す。この ANN モデルは入力層(X_1, X_2, \dots, X_i)と出力層(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)およびその間のノード数 3 の隠れ層(Z_1, Z_2, \dots, Z_j)により構成される。このモデルの入力層に粘弾性パラメータ、出力層に官能評価スコアおよび嗜好度を適用し、それらの間の相互関係を解析するモデルを構築した。モデリングの過程では、最大学習回数およびそのツアー数をそれぞれ 100 回と設定した。また、構築したモデルが学習モデルに過剰フィットすることを防止するためにオーバーフィットペナルティおよび収束基準をそれぞれ 0.001 および 0.00001 に設定し、構築したモデルの予測精度を評価する指標として R^2 および二乗平均平方根誤差(RMSE)を用いた。

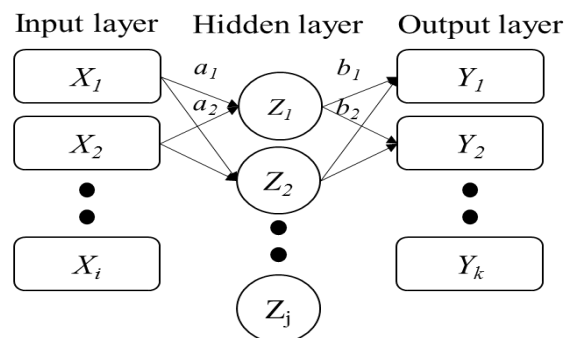


図 3-4 3層構造のニューラルネットワーク模式図

3.3 結果および考察

3.3.1 粘弾性パラメータと咀嚼回数との対応

a) 破断試験

サンプル試片の破断試験で得られた荷重-歪率曲線を図 3-5 に示した。これらの測定曲線の挙動はサンプル No.6 を除いて類似した傾向を示すことが確認された。いずれのサンプルでも試片の圧縮と共にその中央部が徐々に膨らみ、その表面に亀裂が生じ、測定曲線上に破断点に相当する変曲点を示した。破断点通過後も圧縮を継続し最大荷重点に到達すると、試片が薄い円柱平板状に変形して側面の割れが観測された。また除重した試片の表面に放射状の亀裂が生じていることが分かった。破断点の最小値はサンプル No.5 の荷重 34.6 N、歪率 20.8% であり、最大値は No.6 の 104.2 N、61.4% であった。また最大荷重点の荷重と歪率は、サンプル No.2 の 103 N、93.8% ~ No.6 の 191.6 N、93.3% の範囲にあった。特に、サンプル No.6 は他のサンプルと比較して顕著に高い破断点と最大荷重点を示し、固い食感を有することが分かった。これらの曲線の傾向から、供試サンプルは歪率 20.8~61.4% の範囲内で破断点を示し、歪率約 90% 以上で最大荷重点を示すことが分かった。

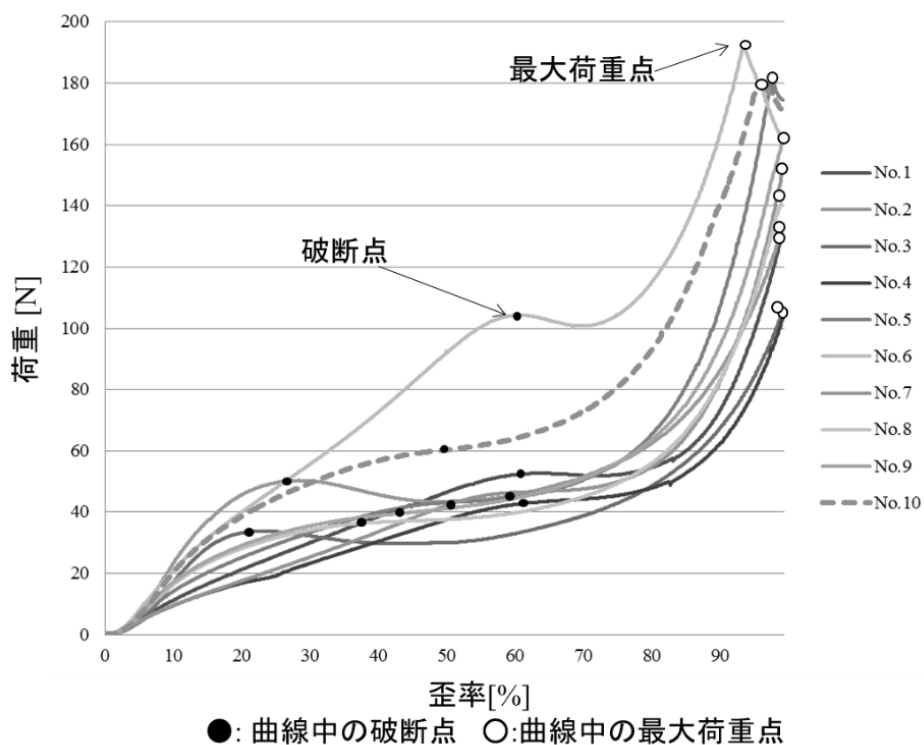


図 3-5 供試サンプルの荷重-歪率曲線

b) クリープ試験

サンプルの弾性率 E_0 [Pa]は436.4(No.2)~643.7(No.5)の範囲を示し(図3-6(a))、同様に弾性率 E_I [Pa](図3-6(b))は2,070(No.1)~5,475.9(No.10)、粘性率 η_I [Pa・s](図3-6(c))は1,970(No.1)~4,470(No.5)および粘性率 η_M [Pa・s](図3-6(d))は435(No.2)~2,080(No.3)をそれぞれ示した。

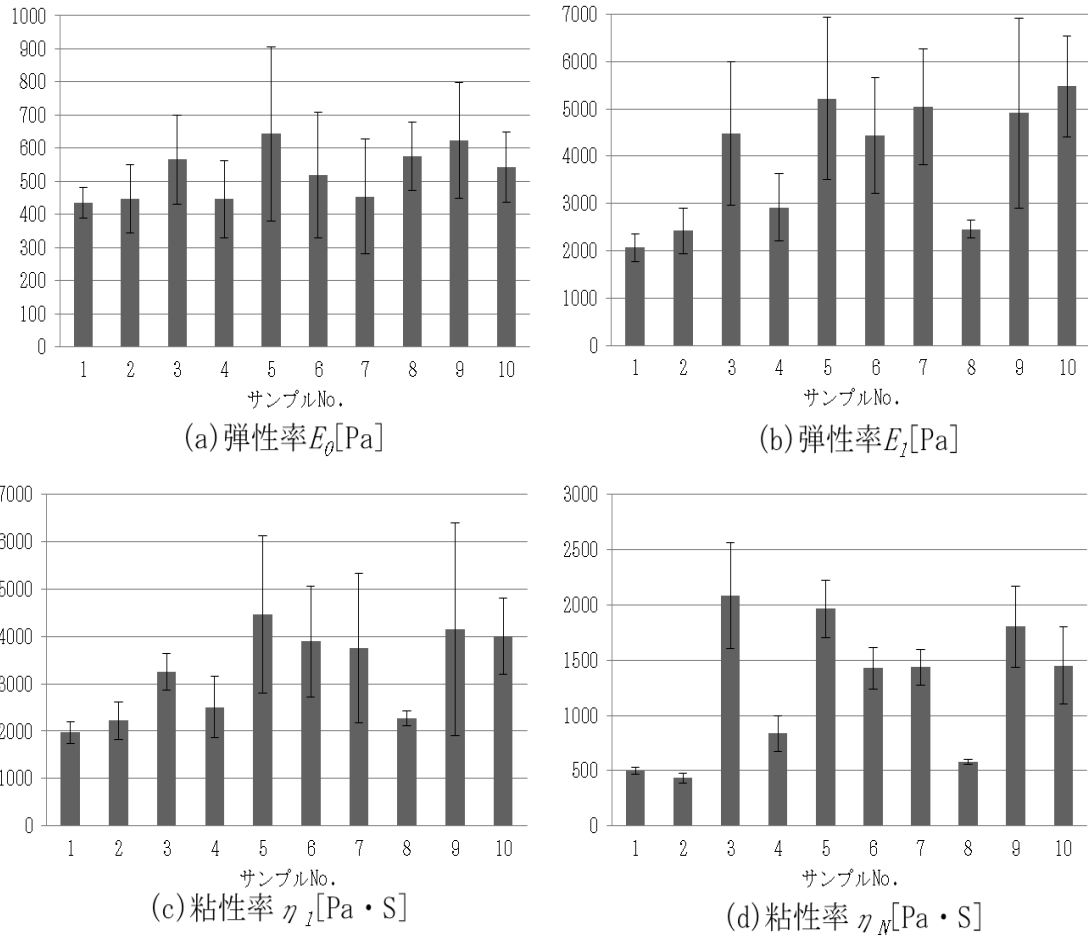
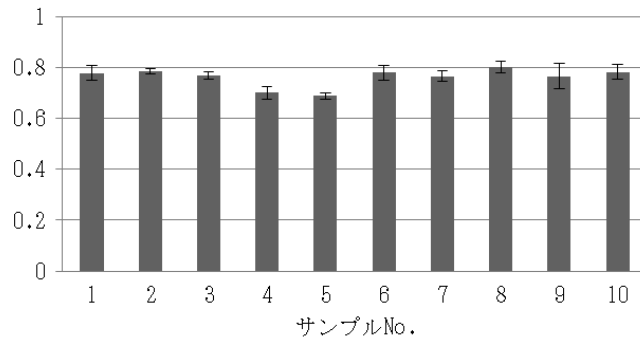


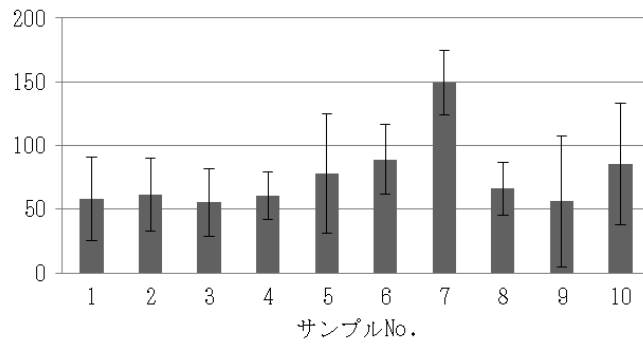
図 3-6 クリープ試験で得られた粘弾性特性パラメータ

c) テクスチャ試験

テクスチャプロファイルのうち、サンプルの凝集性は 0.69(No.5)から 0.80(No.8)の範囲内でサンプル間の差は顕著に観られなかった(図 3-7(a))。サンプル No.7 の付着性は最大値 149.5[J/m³]を示し、他のサンプルよりも高い値を示した(図 3-7(b))。



(a) 凝集性 [-]



(b) 付着性 [J/m³]

図 3-7 テクスチャプロファイルの凝集性と付着性

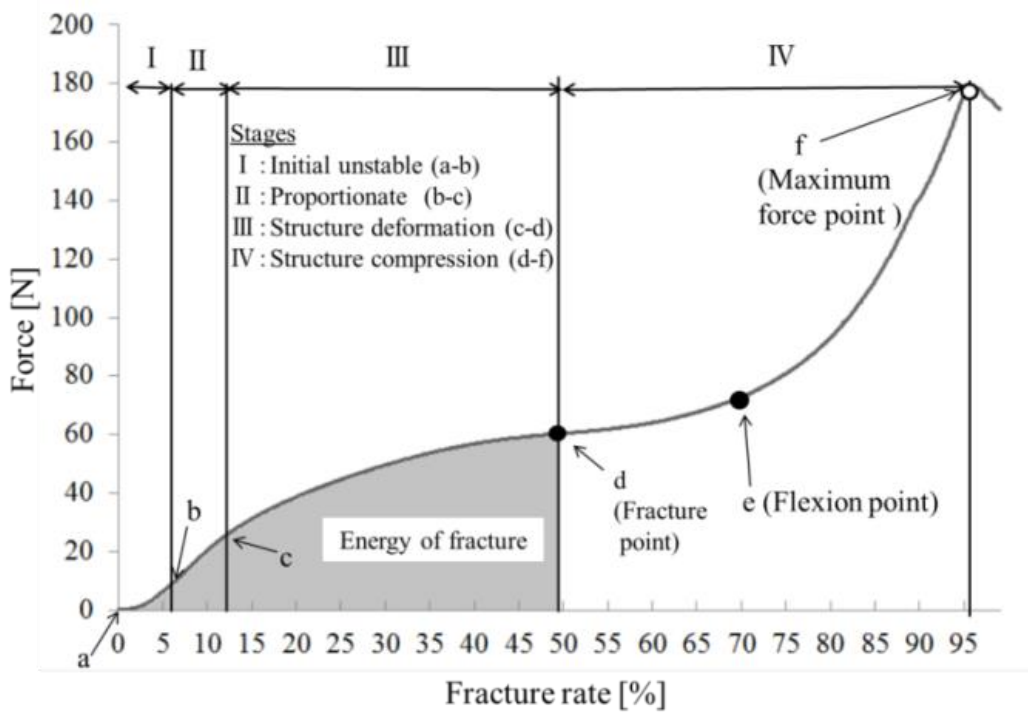


図 3-8 供試サンプルの典型的な荷重-歪率曲線

ここで、供試サンプルの変形挙動を歪率の変化から分析するために図 3-5 に点線で示したサンプル No.10 の曲線を選んで図 3-8 に転載し、その挙動特性を 4 段階(I ~IV)に分けて表示した。

この曲線の初期段階 I (歪率：0~5%)は、試片とプランジャーの表面接触角度のズレやサンプル表面の微細な凹凸との部分的接触の影響を受けていると考えられた。比例段階 II (歪率：5~10%)の曲線 b-c は直線近似できることから、試片は弾性的挙動を示していると考えられた。したがって、この段階の近似直線の荷重範囲からクリープ試験に必要な載荷荷重を算出した。構造変形段階 III (歪率：10~50%)では、試片が圧縮されて破断点 d に至る挙動を示している。曲線 d-f で示される圧密段階 IV (歪率：50~95%)では、破断点 d から次の変曲点 e を経て、最大荷重点 f に至る挙動を示し、組織の圧密が進み、その圧密速度は変曲点前後で急激に変化することを示している。

この曲線の挙動を人の口腔内における咀嚼運動と対応させて解釈すると、サンプルを歯で一回だけ噛んだ時、つまり 1 バイトしたときの変形挙動を示していると考えられた。すなわち、破断試験で得られる 4 つの粘弾性パラメータは、1 バイトによる食感と対応し、クリープ試験は図 3-8 に示した比例段階 II の曲線から得られる載荷条件を用いる試験法であるため、この試験法で得られるパラメータも 1 バイト初期の微小変形に対応すると推測された。このように、破断およびクリープ試験は試験条件が連動しており、さらに双方のパラメータの定義も一致することから、データ解析においては同じ変数カテゴリー内のパラメータとして扱えることが分かった。他方、図 3-3 に示すようにテクスチャプロファイル曲線は 2 バイトによる荷重経時変化曲線であり、この曲線から推算されるパラメータの定義は、これまで述べた 2 つの試験法のそれとは異なる。そのため、この試験法で得られるパラメータはデータ解析でも単独に取り扱う必要あると考えた。

3.3.2 粘弾性特性の主成分分析

粘弾性計測試験で得た粘弾性パラメータ 17 項目を、それらの類似性によって分類するために主成分分析を適用した。その結果、表 3-1 に示すようにパラメータは 3 つの主成分に分類でき、その累積寄与率は 89.8%であった。

VPC 1 にはテクスチャとクリープ試験のパラメータが分類された (寄与率 60.5%)。VPC 2 には破断試験のパラメータが分類されたがその寄与率は 20.4%であり、同様に VPC 3 にはテクスチャ試験の付着性が分類されその寄与率は 8.8%と低かった。この結果から、粘弾性パラメータ 17 項目は、破断試験のパラメータとその他の試験のパラメータに二分されることが分かった。

表 3-1 供試サンプルの3つの主成分負荷量

Viscoelastic parameters	Test method*	VPC1	VPC2	VPC3
Maximum force of texture test	T	0.99	-0.03	0.02
hardness force	T	0.99	-0.03	0.02
hardness	T	0.99	-0.03	0.02
energy of A1	T	0.99	0.02	0.09
gumminess force	T	0.98	0.05	0.08
gumminess	T	0.98	0.05	0.08
energy of A2	T	0.97	0.11	0.16
viscosity η_N	C	0.96	-0.03	0.09
viscosity η_I	C	0.85	0.09	0.39
elasticity E_I	C	0.83	0.00	0.47
elasticity E_0	C	0.63	0.02	-0.14
cohesiveness	T	-0.60	0.48	0.36
energy of fracture	F	0.04	0.99	0.01
breaking force	F	0.29	0.91	-0.10
muximum force	F	0.11	0.85	0.12
breaking rate	F	-0.53	0.83	0.03
adhesiveness	T	0.16	0.04	0.95
Variance		10.28	3.47	1.50
Percent (%)		60.49	20.44	8.84
Cumulative percent (%)		60.49	80.93	89.76

*: T, C and F for texture, creep and fracture test, respectively.

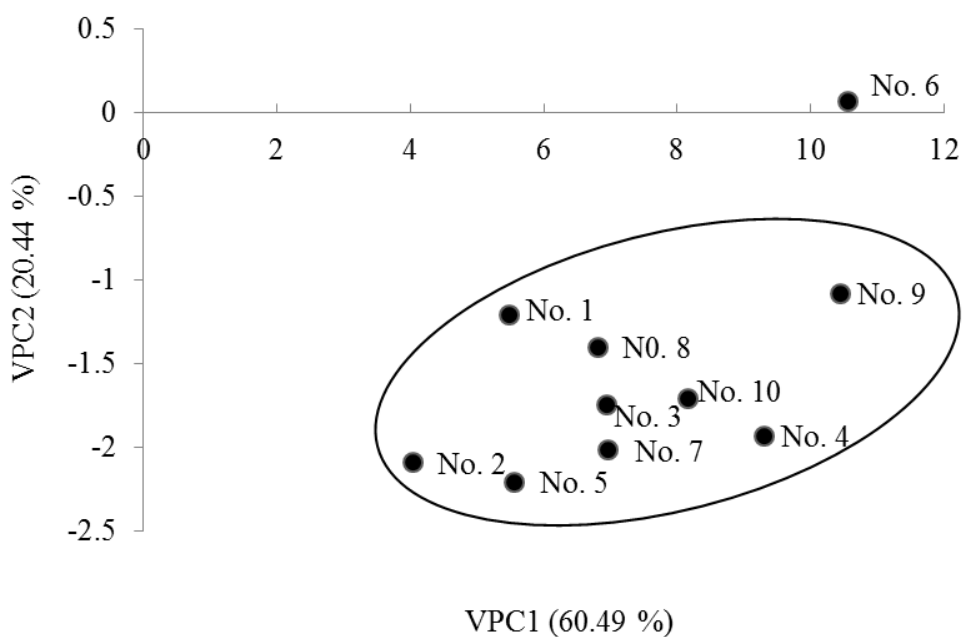


図 3-9 粘弾性パラメータによる供試サンプルのポジショニングマップ

供試サンプルの粘弾性特性を明らかにするために、図 3-9 に VPC1 と VPC2 に分類された供試サンプルの主成分得点によるポジショニングマップを示した。図中の円内に含まれる 9 サンプルは、VPC 1 に含まれるテクスチャとクリープ試験のパラメータで説明され、VPC2 の破断試験パラメータの主成分得点にはほとんど影響を受けないことが分かった。他方、円外にプロットされた No.6 は、VPC 1 と VPC2 双方の主成分得点に影響を受ける特異なサンプルであり、図 3-5 で示したように高い破断および最大荷重値に依存して他のサンプルと比べて固い食感を与えることが分かった。

3.3.3 官能評価スコア

官能評価結果については第 2 章(p.40～p.45)に記述した。

3.3.4 咀嚼過程における食感と粘弾性計測特性との対応関係

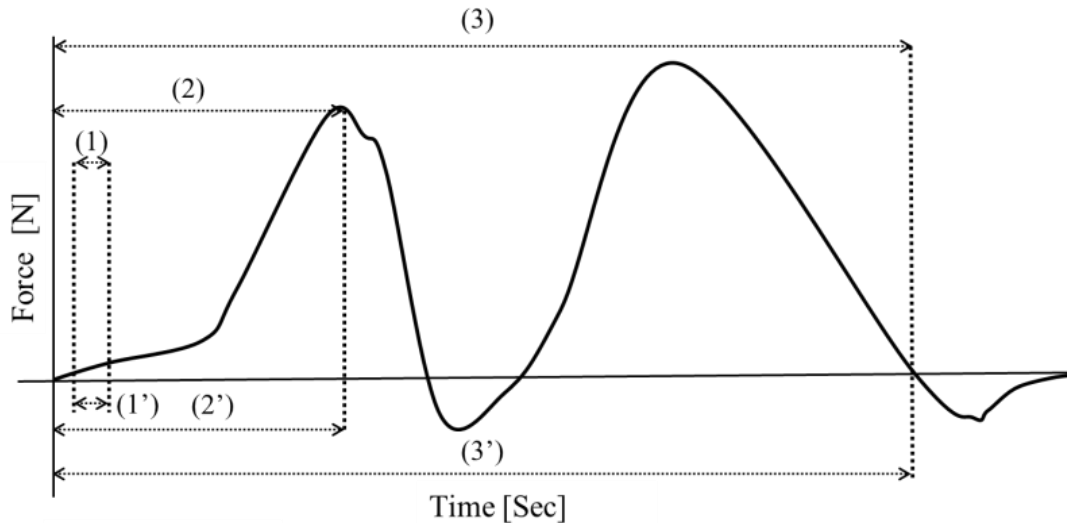
官能評価用語の中でも食感属性用語は、機器計測で得られる粘弾性パラメータと高い相関を示すことが予測された。そこで、粘弾性パラメータと食感用語スコアをデータベースとして両者の対応関係を咀嚼回数に基づいて整理することとした。図 3-10 に典型的な 2 バイト咀嚼による荷重経時変化曲線と粘弾性試験法の対応関係を示した。この曲線に従って人が感じる食感を図中の(1)、(2)、(3)の 3 段階に分類すると、3 つの試験法は(1')クリープ、(2')破断、(3')テクスチャ試験に相当することがわかる。したがって、この対応関係により粘弾性パラメータと人の口腔内で感じる食感変化との相互関連性を時系列的に説明可能であると考えた。

Typical force vs. time curve measured during two bites

(1) Small deformation shortly after first touch of sample

(2) Large deformation until first bite

(3) Large deformation until second bite



Instrumental test

(1') Creep test (2') Fracture test (3') Texture test

図 3-10 典型的な 2 バイト咀嚼による荷重経時変化曲線と粘弾性試験法の対応関係

この考え方にしたがって、粘弾性パラメータと食感評価スコアとの相互関連性を明らかにするためには、その評価スコアが図 3-10 の曲線中のどの段階で生じたのかを明確にし、その段階に対応する粘弾性試験法を選択する必要があると考えた。その手順を説明するためのフローチャートを考案して図 3-11 に示した。

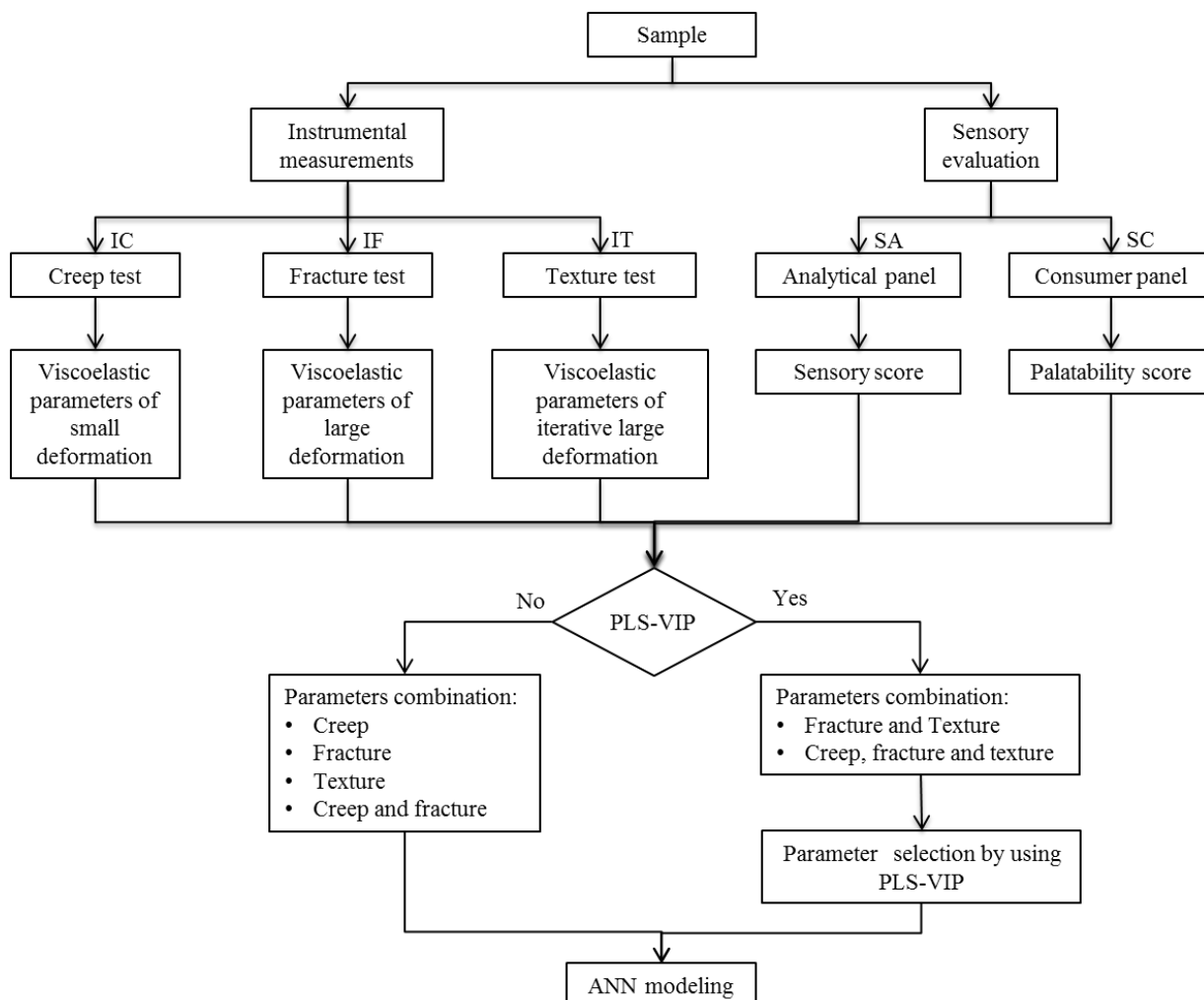


図 3-11 最適な ANN モデルの構築のための粘弾性試験法の組み合わせを PLS によって探索するフローチャート

図 3-11 に示すように、サンプル試片を 3 つの試験法(図中の IC、IF および IT)に供し、これらの試験法の異なる変形条件下で得られる粘弾性パラメータを選択することによって、粘弾性特性と食感との対応関係を明らかにする。ここで選択したパラメータの組み合わせによってはステップワイズ PLS-VIP 法による変数選択を行い、これらの変数を入力とする ANN モデリングを行う。この手順に従って機器計測パラメータと評価スコアとの相互関連性を明らかにするモデルを構築することにより、官能評価スコアの予測に最適なパラメータの組み合わせを求めることができ、機器計測による物性と官能評価で得たデータを適切に比較検討できるようになると考えた。そこで、次節からはこのフローチャートに従って供試サンプルの粘弾性パラメータと食感評価スコアおよび視高度の相互関連性について考察した。

3.3.5 食感評価スコアの予測に最適な粘弾性特性の探索法

フローチャート(図 3-10)に示した試験法と官能評価によって、食感評価スコアの予測に最適な試験法の組み合わせを PLS 回帰分析により探索した。3.3.1 で述べたように、説明変数としたパラメータのうち、テクスチャ試験で得られたパラメータを単独のカテゴリとして扱い、他の 2 つの試験法で得られたパラメータと区分した。これらの区分に含まれるパラメータを PLS 回帰分析の説明変数とし、目的変数の食感評価スコアを予測する回帰式を求めた。これらの中で最も高い予測精度を示す回帰式のパラメータの組み合わせを選択し、ANN モデリングによりパラメータ群と評価スコアとの相互関係を予測した。このようにして得られた ANN モデルは、粘弾性パラメータおよび食感評価スコア間の非線形関係やパラメータ間のシナジー効果を応答曲面により表示することが可能である。さらに、モデルに適用するパラメータの値を増減させることにより、現在実施されている粘弾性計測と官能評価などの結果を数値シミュレーションできると考えた。

表 3-2 に食感属性 10 語の評価スコアに関する PLS 回帰式の予測精度一覧を示した。それぞれの評価スコアについて、1)~3)に試験法を単独で使用した場合、4)~6)に組み合わせた場合を口腔内での食感経時変化(図 3-10)にしたがって示した。

表 3-2 PLS 回帰式の予測精度一覧表

Test methods of parameters	Number of parameters	Objective sensory terms	Number of PLS factor	R ² (R ²)*	RMSE	Degree of conformance**	Test methods of parameters	Number of parameters	Objective sensory terms	Number of PLS factor	R ² (R ²)*	RMSE	Degree of conformance**
1) Creep	4		1	0.28	0.19	0.78	1) Creep	4		1	0.63	0.59	0.88
2) Fracture	4		2	0.94	0.93	0.42	2) Fracture	4		2	0.82	0.79	0.71
3) Texture	9		1	0.44	0.37	0.85	3) Texture	9		1	0.63	0.58	0.89
4) Creep and fracture	8	Hardness	4	0.96	0.95	0.35	4) Creep and fracture	8	Smoothness	1	0.92	0.91	0.50
5) Fracture and texture	13		4	0.96	0.95	0.35	5) Fracture and texture	13		2	0.91	0.90	0.53
6) Creep, fracture and texture	17		2	0.90	0.89	0.36	6) Creep, fracture and texture	17		2	0.99	0.99	0.39
1) Creep	4		-***	-	-	-	1) Creep	4		1	0.56	0.51	0.94
2) Fracture	4		1	0.79	0.77	0.61	2) Fracture	4		2	0.81	0.78	0.75
3) Texture	9		-	-	-	-	3) Texture	9		3	0.86	0.84	0.66
4) Creep and fracture	8	Elasticity	1	0.86	0.84	0.53	4) Creep and fracture	8	Stickiness	6	0.99	0.99	0.18
5) Fracture and texture	13		5	0.97	0.96	0.28	5) Fracture and texture	13		8	0.99	0.99	0.03
6) Creep, fracture and texture	17		2	0.92	0.91	0.41	6) Creep, fracture and texture	17		8	0.99	0.99	0.02
1) Creep	4		3	0.57	0.51	0.61	1) Creep	4		-	-	-	-
2) Fracture	4		2	0.87	0.86	0.49	2) Fracture	4		1	0.69	0.65	0.48
3) Texture	9		3	0.82	0.80	0.47	3) Texture	9		4	0.82	0.80	0.40
4) Creep and fracture	8	Crispsness	4	0.97	0.97	0.20	4) Creep and fracture	8	Melability	1	0.71	0.67	0.47
5) Fracture and texture	13		3	0.94	0.93	0.30	5) Fracture and texture	13		2	0.81	0.78	0.41
6) Creep, fracture and texture	17		4	0.97	0.97	0.20	6) Creep, fracture and texture	17		2	0.81	0.78	0.41
1) Creep	4		1	0.74	0.71	0.77	1) Creep	4		1	0.68	0.64	0.78
2) Fracture	4		3	0.75	0.72	0.76	2) Fracture	4		-	-	-	-
3) Texture	9		1	0.68	0.64	0.82	3) Texture	9		3	0.87	0.85	0.56
4) Creep and fracture	8	Graininess	1	0.87	0.85	0.60	4) Creep and fracture	8	Roughness	1	0.72	0.68	0.75
5) Fracture and texture	13		1	0.76	0.73	0.75	5) Fracture and texture	13		1	0.73	0.69	0.74
6) Creep, fracture and texture	17		2	0.89	0.87	0.56	6) Creep, fracture and texture	17		1	0.76	0.73	0.71
1) Creep	4		1	0.44	0.37	0.87	1) Creep	4		1	0.67	0.63	0.81
2) Fracture	4		2	0.85	0.83	0.63	2) Fracture	4		3	0.79	0.76	0.71
3) Texture	9		3	0.78	0.76	0.72	3) Texture	9		1	0.73	0.69	0.77
4) Creep and fracture	8	Paste-like	3	0.96	0.96	0.33	4) Creep and fracture	8	Dried texture	2	0.89	0.87	0.55
5) Fracture and texture	13		2	0.90	0.88	0.54	5) Fracture and texture	13		1	0.81	0.78	0.69
6) Creep, fracture and texture	17		2	0.90	0.89	0.52	6) Creep, fracture and texture	17		3	0.96	0.95	0.35

*:R² adjusted for the degrees of freedom. **: +, ++, +++ and + mean the best, second and third of conformance, respectively. ***: unable to construct PLS model

食感評価スコアは、複数の試験法を組み合わせ(4)~(6))使用したときに最も高い予測精度を示す傾向があった。それらの試験法の組み合わせの傾向を a)~c)に分類して述べた。

- a) **すべての試験法の組み合わせ** 「ざらつき」、「なめらかさ」および「乾燥した食感」は、すべての試験法で得られたパラメータを使用した場合に最も予測精度が高く($R^2=0.89, 0.99$ および 0.96)、これらの食感に対しては、供試サンプルの初期圧縮で生ずる微小変形とその後の咀嚼による大変形に関するパラメータが複合的に作用していると考えられた。
- b) **任意に選んだ試験法の組み合わせ** 「かたさ」、「弾力」、「歯切れのよさ」、「ねっとり感」および「ペースト状」では、2~3種の試験法を任意に組み合わせれば、 $R^2=0.96\sim 0.99$ の範囲で高精度の予測が可能であることが分かった。すなわち、これらの評価スコアの予測にはパラメータの種類を厳選するよりも、少なくとも2つの試験法を組み合わせることにより高い予測精度を得られることが分かった。例えば、「かたさ」と「弾力」は4)もしくは5)の組み合わせで最も高い予測精度を示した。これは2)の場合の予測精度 $R^2=0.94$ がクリープとテクスチャ試験をそれぞれ単独で使用した場合の $R^2=0.28\sim 0.44$ と比較して顕著に高く、破断試験のパラメータの重要性が分かった。他方、「歯切れのよさ」、「ねっとり感」および「ペースト状」の評価スコアは、いずれも単独試験1)の場合の予測精度が、同様に2)と3)を使用した場合と比べて顕著に低いことから、この3語の予測精度に対するクリープ試験の重要性は低いと考えられた。
- c) **テクスチャ試験の単独使用** これまでの試験法の組み合わせでその予測精度について言及できなかった「口溶けのはやさ」と「粗さ」は、テクスチャ試験を単独で使用した場合に、それぞれ $R^2=0.82\sim 0.87$ の範囲で高い予測精度を示したが、これはどちらの用語についても咀嚼の繰り返しによる試片の大変形を計測したテクスチャ試験のパラメータとの親和性が最も高くなったためであると考えられた。特に「口溶けのはやさ」は、試験法の組み合わせ5)および6)の場合でも $R^2=0.81$ を示しており、テクスチャ試験単独で計測した場合と複数の試験法を組み合わせた場合との差は観られず、計測作業の簡素化のためにはテクスチャ試験のみを選択できると考えられた。

これまで述べた PLS 回帰式の予測精度に関する考察から、上記 a)で述べたすべての試験法の組み合わせを採用した場合にはテクスチャ試験のパラメータが混在するため ANN モデリングの入力パラメータを PLS-VIP 法で選択する必要があると考えられた、他方、b)の組み合わせ法の中で、クリープ試験と破断試験の組み合わせを用いると直接 PLS-VIP 法の適用なしに ANN モデリングが可能となることが分かった。

3.3.6 クリープ試験と破断試験の組み合わせによる食感の ANN モデリング

粘弾性パラメータによる「かたさ」スコアの予測に最適な試験法は、クリープ試験と破断試験を組み合わせる方法であり、これらの試験法で得られるパラメータは直接 ANN モデリングの入力データとして使用できることがわかった。その典型例として、「かたさ」スコアを予測するために、クリープ試験と破断試験で得られるパラメータ(パラメータ数:8)を ANN の入力層に適用し、「かたさ」スコアを出力とした ANN モデリングを実施した。モデルの構築にあたっては、学習セットに対するオーバーフィットペナルティを 0.001 に設定し、モデリング毎に出力される決定係数を用いてモデルの安定性を確認した。その結果、得られた ANN モデルでシミュレートした破断荷重 E_f および「かたさ」スコアの応答曲面 ABCD を図 3-12 に示した。このモデルの予測精度は $R^2c=0.96$ および $R^2v=0.83$ であり、底面座標の両パラメータの値が高くなるにつれて「かたさ」スコアも高く評価される傾向を示した。また、この応答曲面の範囲内においては破断荷重が 105 N、弾性率 E_f が 45×10^5 Pa のとき「かたさ」スコアの極大点(LMP: Local Maximum Point)7.65 を示した。両試験法の計測方法より、これらの粘弾性パラメータの定義は同一であるため、このモデルによって「かたさ」スコアを破断荷重と弾性率 E_f の値の操作によってコントロールできる可能性を示した。

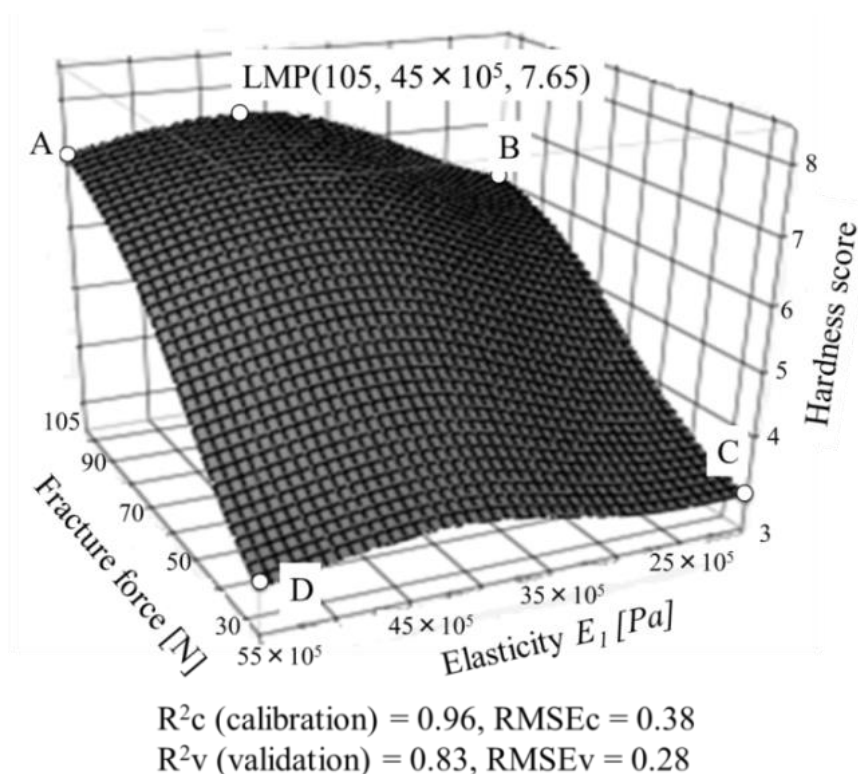


図 3-12 ANN モデリングにおける破断荷重[N]、弾性率 E_1 [Pa]および「かたさ」スコアの相互関係を示した応答曲面

3.3.7 すべての試験法のパラメータによる食感の ANN モデリング

PLS-VIP による変数選択が必要な試験法の組み合わせにより得られる「なめらかさ」スコアのモデリングについて述べる。PLS-VIP を変数選択に使用する場合には、VIP>1.0 を示す説明変数の選択が一般的に行われているが(Wold et al. 1993, 2001; Chong and Jun 2005; Jun et al. 2009)、本研究では JMP10.0Pro のデフォルトとして推奨されている $VIP \geq 0.80$ および $W = \pm 0.1$ を閾値として採用した。

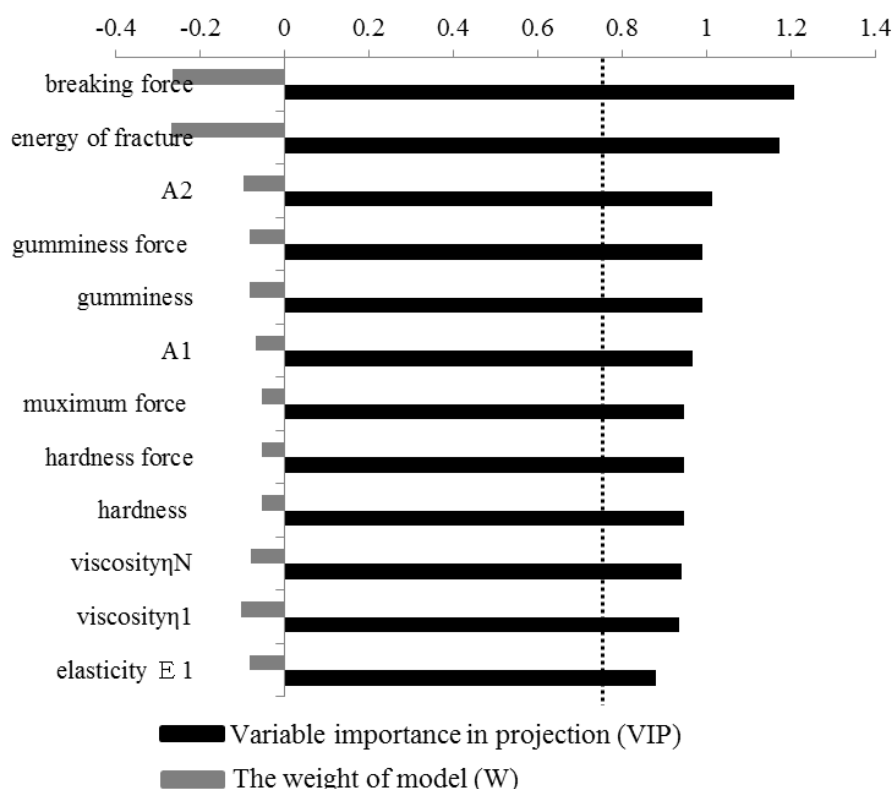


図 3-13 ステップワイズ PLS-VIP の第 3 試行で得た「なめらかさ」スコアに高い寄与を示す粘弾性パラメータ

ステップワイズ PLS-VIP を目的変数「なめらかさ」スコアに適用した結果、図 3-13 に示すように、第 3 試行時に 12 個のパラメータが「なめらかさ」に影響を及ぼすパラメータとして選択され、それらの寄与度の順位が明らかになった。このような変数選択の結果から、「なめらかさ」スコアには破断荷重と破断エネルギーのように供試サンプルの破断試験から得られるパラメータと共にガム性荷重および応力のようなテクスチャ試験から得られるパラメータが寄与することがわかった。

変数選択で得られた 12 個のパラメータを ANN の入力層に適用し、それらのパラメータと「なめらかさ」スコア間の非線形モデルを構築したところ、その予測精度 $R^2c=0.98$

および $R^2v=0.93$ が達成された。構築したモデルのうち、破断荷重、かたさ荷重および「なめらかさ」スコアの相互関係を示した応答曲面を図 3-14 に示した。

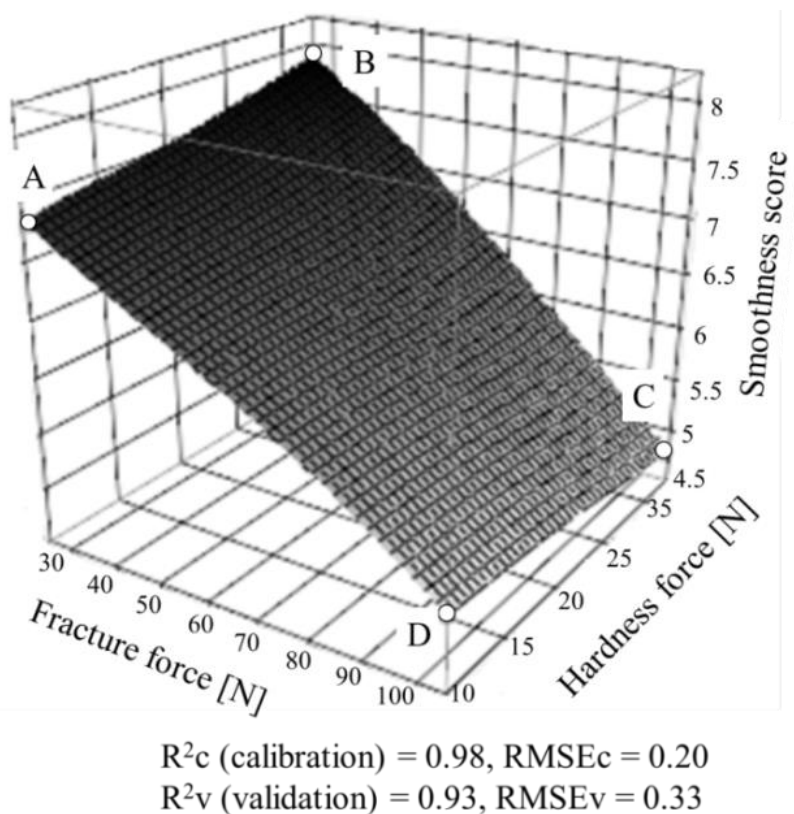


図 3-14 ANN モデリングにおける破断荷重[N]、かたさ荷重[N]および「なめらかさ」スコアの相互関係を示した応答曲面

得られたモデルの解釈を行うために、テクスチャ試験のパラメータを他の試験法のパラメータと同様の変数カテゴリーとみなすと、この応答曲面では破断荷重 30 N、かたさ荷重 4.5 N のときに点 B が「なめらかさ」の極大スコア 7.73 を示すことがわかった。このように PLS-VIP の適用法については、テクスチャ試験のパラメータを単独で使用することは可能であるが、定義の異なる他の試験法のパラメータと組み合わせて予測に使用する場合には、その利用法に留意する必要があると考えられた。

以上の考察から、PLS-VIP を使って ANN モデルを構築する場合には、シミュレーションのパラメータ選択に同一の変数カテゴリーの中に含まれる粘弾性パラメータを使用する必要があると考えられた。

3.4 摘要

本章では、チェダーチーズの粘弾性計測パラメータと官能評価スコアの相互関係解析に基づいて、高精度で官能評価スコアを予測する機器試験法の組み合わせを選択する方法と PLS と ANN を組み合わせた手法による食感評価モデルの構築法を提唱した。具体的な成果は以下の通りである。

1. クリープ、破断およびテクスチャ試験法を咀嚼回数によって変化する食感を測定する機能により分類した。
2. 試験法単独またはその組み合わせによって区分された粘弾性パラメータを説明変数、食感評価スコアを目的変数とする PLS 回帰分析式を求め、それらの回帰分析式の中から最も高い予測精度を示す回帰式の説明変数と目的変数の組み合わせを選択して、食感評価スコアの予測に最適な粘弾性試験法の組み合わせの探索手法を示した。
3. 得られた最適な粘弾性試験法の組み合わせに対して ANN モデリングを適用して粘弾性パラメータと特定の食感評価スコアとの相互関係を応答曲面によりシミュレーション可能とし、これらの方法の有効性を確認した。

第4章 PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた方法を用いた官能評価特性に寄与する GC-Olfactometry 香気成分の特定

4.1 背景と目的

第4章では、チェダーチーズの重要な品質特性のひとつである香気成分特性について、それらと官能評価特性との相互関係をモデリングし、官能評価特性に寄与する重要な香気成分を探索する手法を開発した。

第2章においてチェダーチーズの嗜好度に寄与する品質特性には、香味属性の評価用語の方が多くことが分かった。実際に、香りと風味は食品のおいしさに影響する重要な因子の一つであり、チーズの香り研究では gas chromatography-olfactometry (GC-O) が頻繁に使用される。例えば、GC-O によって計測した香気成分と官能評価スコアのデータセット間の関係(M E Carunchia Whetstine et al., 2005, 2006)やその統計解析結果(Kim et al., 2011; Thomsen et al., 2012)を考察した研究が行われている。しかしながら、チーズの風味については多くの研究がなされているにも関わらず、そのほとんどにおいて風味に関わる化学的な情報は限られたものしか得られておらず、また、モデルチーズなどの単純物質の混合によって特徴的な風味を再現するような風味も明らかになってはいない(Fox et al., 1995; Fox and Cogan, 2004; Pariment and McGorin, 2000; McGorin, 2001; Singh et al., 2003)。このような現状では機器分析と官能評価によって得られたデータセット間のすべての関係を検討することはほぼ不可能である。そのためにナチュラルチーズの官能評価特性と関係のある重要な香気成分の特定が困難な現状にある。そこで、官能評価特性に対して寄与を示す特定の香気成分を探索する手法の開発が必要であると考えた。

他方、計量化学の分野では、スペクトルデータなどの膨大な情報量の中から重要な変数を探索するような研究が頻繁に行われている。例えば、観測した変数間に直接観察することのできない潜在的な共通因子があることを仮定して、変数間の相互関係から、新しい因子群を探索する手法として因子分析がしばしば利用される(Roy and Pratim, 2009; Brown, 2009; Saurina, 2010)。だが、チーズを含む有機物から得たデータセット中の変数は、しばしば高い共線性を持つという問題がある。そこで、Partial Least Square regression (PLS)は、最も重要な因子を抽出してそれらが属するカテゴリーに関連づけることによって、共線性の問題とデータ量の削減を解決するために有効な方法であるとして知られている。しかしながら、PLSはその線形性を前提にする性質のために、しばしばほかのいくつかの非線形回帰モデルと併用して、最終的な識別力のある結果を導くことが多い(Bhandare et al., 1993; Wang et al., 1999; Wang et al., 2003; Ciosek et al., 2005)。一般的に非線形性を持った現象に対する評価が高まる中で、An artificial neural network (ANN) は、解釈が扱いやすく膨大な非線形問題を持つモデリング方法として最も有効な候補であるとされている(Borggaard and Thodberg, 1992)。さらに ANN は、GC-O で計測した香り

成分の強度値に対しても有効に適用されている(Ikeda et al., 2006; Michishita et al., 2010)。しかしながら、これらの先行研究では、GC-O で得た香り強度値の生データを ANN モデリングに適用したわけではなく、因子分析などによって加工したデータセットを適用しており、それぞれの香気成分が目的変数とした官能評価データに対してどのような作用を示すかを解明した研究は数少ない。

本研究の目的は、チェダーチーズを対象として、GC-O で計測した香り強度値の生データに基づいてチェダーチーズの総合的な香りを構成する因子を特定し、さらに PLS-VIP によって官能評価スコアに寄与度が高い香気成分を特定し、そして ANN を用いて香気成分と官能評価スコア間の相互関連性をモデル化することにある。

4.2 供試材料と方法

4.2.1 供試サンプル

供試サンプルについては第 2 章(p.29~p.30)に記載した。

4.2.2 香気分析機器

(1) 香気成分抽出

供試サンプルから香気成分を抽出するために、SAFE 法(a solvent assisted flavor evaporation)を利用した。供試サンプルを 2.0×2.0 cm 程度のサイコロ状に切り、液体窒素で凍結後、ブレンダーで粉砕した。その試料粉末に dichloromethane を 300 mL 加え、内部標準物質として 3-heptanol を 20 μ g および 4-octanol を 1.0 μ g 添加した。その溶液を 8 時間浸漬させてソックスレー法(Engel et al. 1999)により香気を抽出した後、ろ過した(200 mL)。ろ液は SAFE 装置を用いて蒸留し、香気成分を含む留分を得て、それらを乾燥後、1.0 mL まで濃縮し、GC-MS および GC-O の検液とした(Onishi et al., 2011)。

(2) GC-MS

GC-MS 分析は、ガスクロマトグラフ (7890A, Agilent Technologies) と質量検出器 (5975inert, Agilent Technologies, CA, USA) を連結した装置を使用した。溶融シリカキャピラリーカラム (DB-WAX, 60 m×0.25 mm, 0.25 μ m film thickness, Agilent Technologies) を分離カラムとして使用し、キャリアガスとして用いたヘリウムガスは注入口圧 25 psi (初期流速 1.6 mL/min) の定圧とした。カラムの温度プログラムはまず 50 °C で 2 分間保持し、その後、3 °C/min で 220 °C まで昇温した後、この温度で 75 分間保持した。注入口温度は 250 °C に維持し、インジェクションポートの熱による影響を最小に押さえるためにスプリットモード (50 psi; 60 s) で検液を 1 μ L インジェクションポートに注入した(Michishita et al. 2010)。

(3) GC-O

GC-O 分析装置は、ジクロロメタンを用いた順次希釈法 (希釈率 3 倍および 9 倍) を

用い、検出器 (FID) を装備したガスクロマトグラフ (6890, Agilent Technologies) およびチャームアナリシスシステム (CharmAnalysis®, DATU, NY, USA) (Acree et al 1984) から構成される。使用したカラムは、溶融シリカキャピラリーカラム DB-WAX(15 m×0.32 mm×0.25 μm film thickness, Agilent Technologies)で、キャリアガスとして用いたヘリウムの流速は 3.2 mL/min で一定とした。オープン温度は 40°Cから毎分 6 °Cで 230 °Cまで昇温し 20 分間保持した。注入口温度は 225 °Cで検液 1.0 μL をスプリットレスの注入モードカラムに注入した。GC-O 分析は、GC 装置から流出した香気成分を含むガスを加湿空気とともに訓練されたスニッファーが検知することにより分析した。スニッファーは、流出した香気成分をその特徴に基づいて、予め選定した香調用語 14 語にそれぞれ分類した。

GC-O によって分析された香気活性は、チャームバリュー (CV) に変換され記録した(Acree and others 1984)。CV は香り強度のインデックスであり、香りの持続時間と希釈倍率の積分により以下の式に従って算出される。

$$CV = \int_{peak} F^{n-1} di \quad (4-1)$$

ただし、 F :希釈因子、 n :希釈回数、 di :持続時間

香気成分の同定は、マススペクトルと標準物質の GC における Kovats の Ri 値の一致により行った。GC-O 分析によってのみ検知された香気成分は、その Kovats の Ri 値と香調用語によって暫定的に同定を行った(Onishi et al., 2011)。

4.2.3 官能評価

官能評価の実施については第 2 章(p.30~p.37)に記述した。

4.2.4 解析方法

香気成分および官能評価スコアからなるデータセットは、JMP10.0 Pro (SAS Inst., Inc., Cary, N.C., U.S.A) を用いて、分散分析、相関分析、因子分析(因子 analysis: FA)、PLS 回帰分析、An artificial neural network (ANN)によって統計解析を行った。

因子分析では、最尤法による共通因子分析法を用いて、GC-O によって得た香調用語ごとの 14 の Total aroma intensity 値から、これらの因子間に潜在する共通因子を探索した。因子軸の回転は、カイザー基準で因子固有値が 1.0 以上を示す因子数についてヴァリマックス回転によって行った。変数群に因子分析を適用することにより算出される因子得点を記録し、供試サンプル毎のポジショニングマップを作成した。

PLS において、説明変数に GC-O で得た CV を使用し、目的変数に官能評価で得た官能評価パネルの評価スコアを使用して香気成分の官能評価スコアへの寄与度を調べた。

次に、PLS-VIP によって官能評価特性に寄与する香気成分の変数選択を行った。JMP11.0Pro に設定されていた $VIP \geq 0.8$ 、また W は ± 0.1 程度を閾値として説明変数の絞り込みを行った (JMP10.0, Dunn et al., 1984)。

選択した香気成分と官能評価スコア間の関係性を明らかにするために ANN モデリングを適用した。このネットワークは、3 層の特性知覚ネットワークからなる。入力層と出力層との間に一層構成の隠れ層を持ち、予測誤差の重みを計算するアルゴリズムの要素にはエラーバックプロパゲーション法を用いた。それぞれのネットワークにおける入力層には、PLS-VIP において選定した香気成分を適用した。隠れ層の数は、学習モデルの精度向上に基づく最小数の 3 つに決定した。出力層のノード数は、目的とした官能評価特性の数と同数とした。ANN モデルは、最大で 100 モデルを繰り返し構築試行し、そのツアー数は 100 回とした。オーバーフィットペナルティは 0.001 に設定し、収束基準は 0.00001 とした。構築したモデルの予測精度の評価には、決定係数(R^2)および二乗平均平方根誤差(RMSE)を使用した。

4.3 結果および考察

4.3.1 供試サンプルの香気特性

GC-MS 分析では、供試サンプルから合計 98 香気成分を検出し、そのリテンション・インデックス(R_i)および香気濃度と成分名をそれぞれ同定した (表 4-1)。表 4-2 に示すように GC-O 分析では、供試サンプルから合計 43 香気成分が検知され、そのうち 15 香気成分が Singh et al. (2003) が示したチェダーチーズの香気成分と一致した。GC-MS 分析によってその香気成分量が分かり、かつ、GC-O 分析においてもその香気強度が分かっていた香気成分は acetic acid, butyric acid, decanoic acid, diacetyl, hexanoic acid, p-cresol, phenylacetadehyde, γ -dodecalactone, δ -decalactone, (Z)-6-dodecen-4-olide, methional and 2,5-dimethyl -4-hydroxy-3(2H)furanone の 12 香気成分であった。

表 4-1 GC-MS 分析による供試サンプルの 98 香気成分の香気濃度値

Peak no.	香気成分/供試サンプルNo.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
1	diacetyl	5.27*	1.09	3.13	0.86	1.43	0.57	10.78	0.84	0.36	0.90
2	2-pentanone	2.09	0.82	3.72	3.80	4.53	2.66	3.22	0.58	2.08	1.29
3	valeraldehyde	1.86	0.58	1.35	1.44	2.58	0.78	0.84	1.48	0.58	5.60
4	methyl butyrate	0.49	0.30	0.85	0.52	0.62	0.60	0.64	0.24	1.27	0.95
5	3-methyl-3-buten-2-one	1.45	1.11	1.02	1.42	1.30	0.29	0.36	0.25	0.13	0.30
6	α -pinene	0.58	0.11	0.17	0.83	1.46	1.60	0.28	0.80	0.06	0.18
7	ethyl butyrate	1.67	8.87	2.34	4.39	4.09	1.82	0.89	4.20	4.34	1.76
8	hexanal	0.70	1.25	0.84	0.61	0.55	2.59	1.91	1.09	1.43	1.28
9	isobutanol	0.19	N.D.**	N.D.**	0.19	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**
10	beta-pinene	0.66	0.36	0.37	1.30	1.95	0.45	1.09	0.59	0.10	0.92
11	2-pentanol	0.12	0.06	0.14	N.D.**	0.03	N.D.**	N.D.**	0.43	N.D.**	N.D.**
12	ethyl valerate	N.D.**	0.15	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**
13	butanol	0.17	0.30	N.D.**	0.11	2.85	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**
14	myrcene	0.06	3.41	0.74	0.15	0.36	0.09	1.21	0.35	0.02	0.92
15	3-penten-2-ol	3.41	2.40	5.25	3.51	2.87	2.99	1.87	3.68	2.64	1.59
16	2-heptanone	5.87	2.74	13.90	7.65	16.10	5.44	6.20	3.21	6.62	4.30
17	methyl hexanoate	0.71	0.34	1.20	0.66	0.69	0.92	0.34	0.71	0.31	0.87
18	3-methyl-2-butenal	N.D.**	0.03	N.D.**	0.33	0.18	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**
19	limonene	3.36	4.67	5.47	3.68	4.04	8.12	48.92	17.41	1.01	43.49
20	isoamyl alcohol	N.D.**	0.21	0.48	0.34	1.21	0.08	1.13	N.D.**	0.41	9.58
21	ethyl hexanoate	2.50	8.02	1.84	2.98	2.96	0.55	0.99	4.85	1.68	0.35
22	3-methyl-3-butenol	1.95	0.49	1.22	0.83	0.47	0.52	1.29	0.84	1.71	0.94
23	amyl alcohol	1.43	0.43	0.51	1.56	1.57	1.01	0.89	1.71	0.25	4.58
24	p-cymene	0.14	0.11	0.09	0.15	0.43	5.51	0.90	2.00	0.08	0.79
25	acetoin	1233.00	480.02	1088.84	104.46	279.43	166.68	161.98	148.07	56.54	215.22
26	acetol	39.27	7.58	15.58	14.07	20.00	8.47	44.93	11.71	12.28	10.31
27	methyl lactate	1.26	1.58	2.76	1.34	2.21	0.94	2.13	1.00	1.54	1.87
28	2,6-dimethylpyrazine	3.28	3.20	0.33	0.53	0.14	2.32	1.13	4.61	0.79	1.40
29	ethyl lactate	0.49	6.51	0.83	0.65	1.80	0.11	2.57	1.19	2.70	0.50
30	3-hydroxy-3-methyl-2-butanone	0.57	9.41	16.54	0.20	0.87	0.38	5.87	0.37	6.30	8.51
31	hexanol	0.50	1.24	1.53	0.25	5.61	0.27	0.60	0.48	0.65	0.44
32	2-hydroxy-3-pentanone	0.65	3.96	4.85	0.29	0.85	0.25	6.11	0.51	0.75	7.17
33	2-nonanone	1.80	1.71	7.75	1.98	5.06	1.82	2.06	2.41	2.54	1.50
34	nonanal	0.30	0.42	0.28	0.15	0.13	0.31	0.38	0.54	0.43	0.57
35	trimethylpyrazine	0.49	0.77	1.03	0.05	0.04	0.17	0.18	0.33	0.16	0.21
36	ethyl octanoate	0.37	3.67	0.97	0.49	0.43	0.16	0.25	2.27	0.64	0.17
37	acetic acid	34.48	19.57	417.22	45.76	139.77	25.77	98.71	29.65	74.53	115.39
38	methional	0.32	0.82	N.D.**	1.67	0.44	N.D.**	0.09	N.D.**	0.03	0.19
39	α -copaene	N.D.**	N.D.**	N.D.**	0.01	0.05	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**	N.D.**
40	benzaldehyde	0.43	0.35	1.25	0.77	0.17	0.30	0.62	1.17	0.24	1.22
41	tetrahydro-2-methylthiophen-3-one	N.D.**	0.31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.13	N.D.	0.43	0.29
42	2-(methylthio)ethanol	0.21	0.07	N.D.	0.20	0.17	N.D.	0.36	N.D.	1.65	0.16
43	propionic acid	2.03	1.27	3.15	1.29	1.73	0.89	1.81	0.96	1.05	1.84
44	2,3-butanediol	8.29	2.39	1736.53	2.90	20.65	2.40	2.65	33.75	174.35	21.88
45	octanol	0.26	0.23	4.55	0.20	0.49	0.17	0.21	0.28	1.71	0.48
46	2,3-butanediol	3.31	1.89	536.14	266.89	165.03	204.47	251.25	366.88	240.47	232.41
47	dimethyl sulfoxide	0.54	3.17	N.D.	0.75	N.D.	0.12	0.05	0.08	0.29	0.02
48	2-undecanone	0.61	0.55	2.65	0.47	0.79	0.79	0.65	0.97	1.12	0.49
49	β -caryophyllene	0.05	0.11	N.D.	0.10	0.42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
50	γ -valerolactone	0.32	0.19	0.57	0.17	0.14	0.21	0.19	0.22	0.17	0.17
51	butyric acid	408.65	419.05	1338.98	584.13	703.92	394.45	412.24	449.27	535.03	616.33
52	ethyl decanoate	0.58	4.33	1.50	0.68	0.34	0.14	0.21	2.29	0.77	0.11
53	phenylacetaldehyde	1.63	2.79	6.24	2.88	0.55	1.53	3.37	4.32	0.81	3.04
54	furfuryl alcohol	0.25	0.06	0.44	0.62	0.43	0.04	0.25	0.12	0.14	0.44
55	nonanol	0.18	0.08	0.33	0.06	N.D.	0.12	0.13	0.28	0.15	0.19
56	isovaleric acid	0.68	0.74	1.69	0.46	1.23	0.23	1.07	0.63	0.19	1.16
57	methionol	0.03	0.15	N.D.	2.09	0.23	N.D.	0.06	N.D.	N.D.	5.27
58	valeric acid	5.11	6.93	16.36	5.15	5.19	4.00	5.65	8.16	6.84	6.30
59	2(5H)-furanone	0.27	0.33	0.25	0.13	0.12	0.26	0.29	0.40	0.26	0.19
60	2-acetyl-2-thiazoline	N.D.	0.04	0.03	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	0.01	N.D.	N.D.
61	δ -hexalactone	1.93	2.28	4.94	1.41	1.09	2.22	1.26	1.76	2.04	1.15
62	tridecanone	0.36	0.37	1.51	0.15	0.24	0.22	0.16	0.26	0.32	0.12
63	hexanoic acid	220.15	238.34	751.24	212.21	195.83	217.27	170.26	330.72	220.36	197.91
64	benzyl alcohol	0.27	0.70	0.62	0.23	0.20	0.53	1.31	2.34	0.18	1.36
65	dimethyl sulfone	81.43	81.35	119.39	43.88	31.26	20.46	43.10	36.92	54.08	35.08
66	phenethyl alcohol	0.14	0.40	0.53	0.07	0.16	0.03	0.26	0.08	0.17	0.53
67	heptanoic acid	1.63	2.79	6.24	0.97	0.73	1.04	1.85	3.11	2.01	1.50
68	benzothiazole	0.18	0.17	0.12	0.04	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
69	maltol	0.42	2.90	7.69	0.30	0.15	0.23	0.37	0.71	0.96	1.03
70	δ -octalactone	1.40	1.54	4.19	0.92	0.58	1.71	0.46	1.48	1.46	0.67
71	phenol	0.03	0.06	0.06	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
72	2-pentadecanone	0.21	0.22	0.71	N.D.	N.D.	0.24	0.10	0.25	0.14	0.12
73	2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	0.19	0.69	2.07	N.D.	0.09	0.09	0.06	0.08	1.79	0.10
74	ethyl myristate	0.10	1.19	0.54	0.11	0.07	0.03	0.04	0.58	0.18	0.03
75	octanoic acid	38.95	56.26	233.07	28.84	20.18	83.59	31.68	96.53	55.24	54.55
76	p-cresol	0.10	0.05	0.22	0.05	0.07	0.17	0.06	0.98	0.02	0.02
77	2-ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone	0.35	0.26	2.08	N.D.	N.D.	0.12	N.D.	4.33	1.51	N.D.
78	4-hydroxy-5-methyl-2(3H)-furanone	0.41	7.57	8.22	N.D.	0.76	3.80	0.25	0.47	12.62	0.51
79	γ -decalactone	0.04	0.16	0.23	N.D.	N.D.	0.05	0.11	0.08	0.12	0.02
80	nonanoic acid	1.80	2.52	5.39	0.75	0.71	1.04	0.74	2.21	1.79	0.84
81	lactic acid	N.D.	N.D.	33.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
82	δ -decalactone	4.11	8.43	17.27	2.65	1.32	4.22	4.24	5.42	6.57	3.09
83	(E)-dec-8-en-5-olide	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.12	0.18	0.09	0.11	0.07
84	decanoic acid	26.57	32.73	153.09	12.42	6.65	45.42	13.31	55.39	31.36	27.74
85	glycerol	N.D.	0.18	1.49	N.D.	N.D.	0.11	0.22	0.31	0.17	0.18
86	δ -undecalactone	0.03	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	0.08	30.10	0.11	0.04
87	9-decenoic acid	2.19	2.31	16.09	1.09	0.53	4.67	1.15	3.79	2.50	2.03
88	3-ethyl-4-methyl-2,5-pyrrolidinedione	0.19	0.82	0.81	0.24	N.D.	0.24	0.16	0.45	0.17	0.14
89	undecanoic acid	0.49	0.59	1.41	N.D.	N.D.	0.37	N.D.	0.35	N.D.	0.17
90	γ -dodecalactone	0.45	1.16	2.04	0.24	0.11	0.63	0.45	0.62	1.20	0.23
91	(Z)-6-dodecen-4-olide	N.D.	0.67	0.90	N.D.	N.D.	0.07	0.29	0.11	0.67	0.05
92	benzoic acid	26.67	37.42	84.66	19.12	13.56	13.94	13.08	30.10	18.62	21.03
93	δ -dodecalactone	1.30	1.98	5.25	0.34	0.20	1.99	1.72	2.62	2.72	1.18
94	lauric acid	6.88	6.31	26.10	2.82	1.70	6.61	1.85	6.93	4.25	12.28
95	δ -tetradecalactone	0.62	0.85	1.98	1.14	N.D.	0.53	0.27	29.06	0.39	0.21
96	myristic acid	3.11	3.67	13.13	1.05	0.81	2.91	N.D.	2.75	0.82	1.05
97	tetradecenoic acid	N.D.	N.D.	1.66	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
98	plamitic acid	7.33	8.05	18.45	3.40	1.81	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
IS	3-heptanol	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	total	2216.33	1529.29	6781.06	1413.30	1696.94	1271.80	1385.61	1773.13	1578.13	1704.02

*: Unit; mg/100g, Determined by the ratio of the peak area of internal standard (added 20 μ g for cheese 100g). Response factor was 1.00.
 **: ND; not detected

表 4-2 GC-O 分析による供試サンプルの 43 香気成分の香気強度と香調用語

検出順	香調用語	香気成分	Ri	Charm Value									
				No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
12	acidic/cheesy	acetic acid	1430	18	0	131	20	103	0	83	14	27	78
20		butyric acid	1616	1264	1268	7504	1538	1921	1165	1284	1246	1562	2336
24		hexanoic acid	1840	77	98	354	73	25	81	45	106	86	50
38		decanoic acid*	2269	22	51	99	0	0	60	10	66	35	20
Total Acidic/cheesy				1381	1417	8088	1631	2049	1306	1422	1432	1710	2484
33	animal	p-cresol	2069	33	15	59	0	25	51	14	338	0	0
41		3-methylindole*	2458	154	146	2109	48	343	501	91	328	96	149
Total Animal				187	161	2168	48	368	552	105	666	96	149
2	buttery	diacetyl	1030	789	46	156	45	127	29	1477	48	22	48
Total Buttery				789	46	156	45	127	29	1477	48	22	48
1	cacao-like	2-/3-methylbutanal*	1027	21	16	0	893	244	63	344	48	42	166
Total Cacao-like				21	16	0	893	244	63	344	48	42	166
28	caramel	unknown12	1943	0	30	77	0	0	0	0	0	0	0
30		2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone	2019	1084	6053	9094	28	650	533	621	865	8214	564
31, 32		2-ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H)furanone and 4-hydroxy-5-methyl-3(2H)furanone*	2051	2482	2135	5697	20	376	1104	530	10349	3949	170
36		4,5-dimethyl-3-hydroxy-2(5H)furanone*	2173	111	194	1030	40	210	200	341	675	108	180
Total Caramel				3677	8412	15898	88	1236	1837	1492	11889	12271	914
9	cereal	2-acetyl-1-pyrroline*	1326	0	0	0	0	0	0	22	0	0	7
22		2-acetyl-2-thiazoline	1732	0	259	236	0	0	159	24	57	36	0
Total Cereal				0	259	236	0	0	159	46	57	36	7
7	fatty/metallic	1-octen-3-one*	1298	59	75	38	9	11	16	153	47	41	135
15		unknown7	1495	529	422	201	145	277	359	964	1341	863	867
16		(E)-2-nonenal*	1521	534	1125	633	2041	293	693	894	1956	371	1401
18		unknown8	1600	0	29	0	0	103	0	47	0	0	41
23		2,4-(E,E)-decadienal*	1791	14	111	0	0	0	0	152	9	40	15
29		trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal*	1985	22	66	63	12	208	48	776	240	102	22
Total Fatty/ metallic				1158	1828	935	2207	892	1116	2986	3593	1417	2481
4	floral/fruity	unknown1	1076	0	0	0	29	0	0	0	151	18	0
21		phenylacetaldehyde	1626	16	18	27	18	12	8	17	19	6	17
25		geraniol*	1846	39	0	45	37	8	8	42	44	41	20
26		unknown10	1866	0	0	0	0	0	143	0	0	0	0
34		ethyl cinnamate *	2105	0	0	0	0	0	4038	23	0	0	0
37		o-aminoacetophenone*	2189	39	31	70	33	0	0	61	232	0	0
43		phenylacetic acid*	2548	0	11	105	27	0	0	23	84	0	0
Total Floral/ fruity				94	60	247	144	20	4197	166	530	65	37
5	green	unknown2	1104	13	23	26	7	21	13	0	0	0	18
10		unknown4	1367	0	0	0	0	0	0	0	13	0	89
17		2,4-(E,E)-octadienal*	1572	26	0	0	44	10	0	0	51	9	94
6		unknown3	1145	0	0	0	0	0	0	0	47	0	72
Total Green				39	23	26	51	31	13	0	111	9	273
13	milky	unknown6	1432	69	51	0	41	27	239	140	465	57	157
35		δ-decalactone	2160	126	242	274	42	14	150	132	174	227	44
39		γ-dodecalactone	2345	96	182	184	42	23	96	92	132	210	35
40		(Z)-6-dodecen-4-olide	2364	87	4887	6234	29	12	542	2253	566	4796	323
Total Milky				378	5362	6692	154	76	1027	2617	1337	5290	559
14	potato-like	methional	1439	356	1236	295	7110	871	240	347	55	265	395
Total Potato-like				356	1236	295	7110	871	240	347	55	265	395
3	sulfur	dimethyl disulfide*	1075	43	26	24	0	1948	0	60	0	0	14
8		2-methyl-3-furanthiol*	1311	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0
11		unknown5	1424	13	5	0	0	18	0	0	0	0	0
19		unknown9	1605	12	14	29	0	0	0	0	0	0	0
Total Sulfur				68	45	89	0	1966	0	60	0	0	14
42	vanilla	vanillin*	2532	84	15	61	52	0	0	47	0	0	0
Total Vanilla				84	15	61	52	0	0	47	0	0	0
27	woody	unknown11	1934	0	14	46	0	0	10	0	19	14	14
44		3-phenylpropionic acid*	2608	20	24	131	0	105	13	0	26	10	0
Total Woody				20	38	177	0	105	23	0	45	24	14
Total aroma intensity				8252	18918	35068	12423	7985	10562	11109	19811	21247	7541

*:GC-O分析でのみ検出した香気成分

GC-O 分析によって得た CV に常用対数を適用して、供試サンプル No.2,4,5 および 6 の香気構成を示すレーダーチャートを作成した (図 4-1)。Sample No.2 は 14 の香調用語のすべての香りを有しており、供試サンプルに共通する香気は、Acidic/cheesy, Caramel and Fatty/ metallic の 3 種の香気であることが分かった。Sample No.4, 5, 6 の香りは、それぞれ一つの香り成分によって香気特性が支配されていることが分かった。No.4 は香気強度総量の 57.2% を potato-like 香の methional に支配されていた。同様にして、No.5 は sulfur 香の dimethyl disulfide に支配され、No.6 は floral/ fruity 香の ethyl cinnamate に支配されていた。これらの 3 つの供試サンプルは、全体的な香気構成においての大部分を単一の香り成分の香りによって占められていることから、他の供試サンプルとは区別して取り扱う必要があると考えた。

それぞれの香調用語の CV 間に相関分析を適用した結果、いくつかの香調用語間で高い相関関係 ($p < 0.05$) があった。具体的には acidic/ cheesy と woody ($R = 0.85$)、animal と woody ($R = 0.88$)、caramel と milky ($R = 0.80$) および cacao-like と potato-like ($R = 0.90$) に高い相関関係があることが分かった。

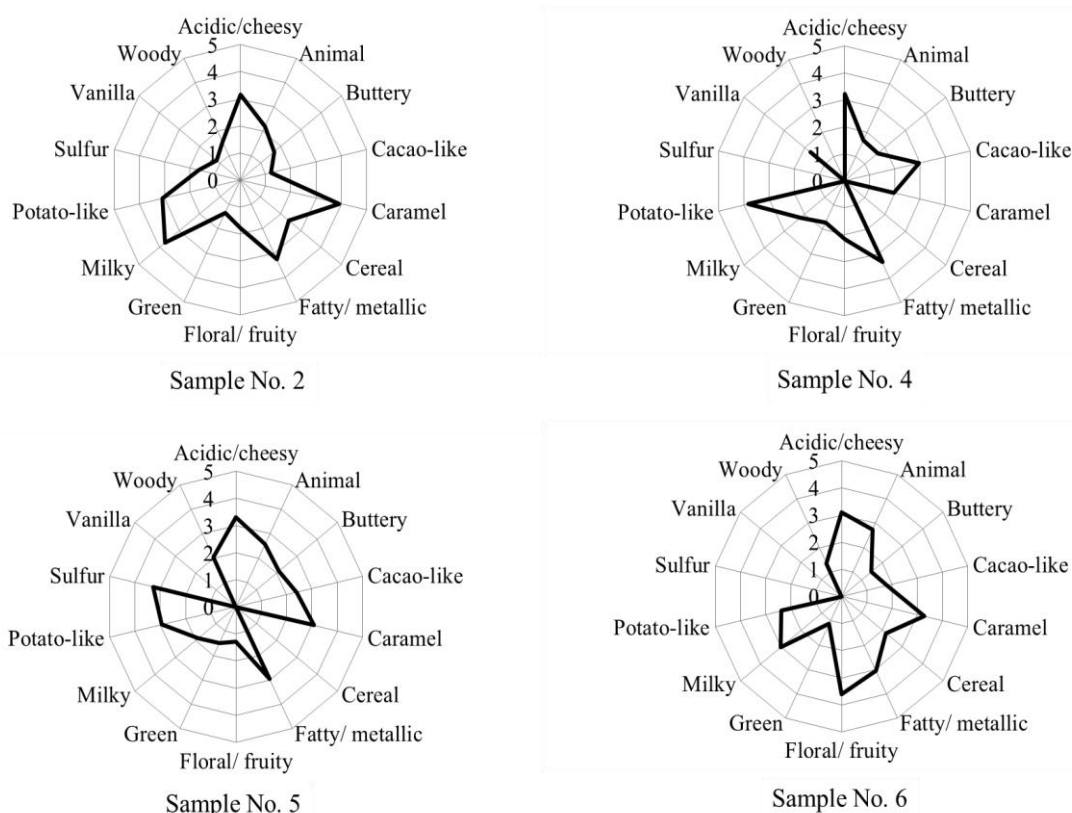


図 4-1 供試サンプルの香調用語による香気構成

4.3.2 嗜好度と香調用語における相互関係

表 4-3 に示すように、因子分析において香気成分の 14 の香調用語は 6 つの香気特徴因子にそれぞれ分類され、その累積寄与率は 91.7% であった。因子 1 には acidic/cheesy、animal および woody が分類された。因子 2 および因子 4 にはそれぞれ milky、caramel、cereal、green および buttery、vanilla が分類された。因子 3 には、potato-like および cacao-like といった香調用語間での相関が高いものが分類されたが、表 4-2 の Total aroma intensity から、因子 3 はほぼ供試サンプル No. 4 を示すことが分かった。同様に、因子 5 はサンプル No.5、因子 6 はサンプル No.6 の影響を反映した因子であった。

表 4-3 チェダーチーズの 14 香調用語を分類した 6 つの香気特徴因子

香調用語	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
Acidic/cheesy	0.95					
Animal	0.92					
Woody	0.84					
Milky		0.88				
Caramel		0.71				
Cereal		0.70				
Green		-0.58				
Potato-like			0.99			
Cacao-like			0.89			
Buttery				0.90		
Vanilla				0.84		
Sulfur					0.82	
Fatty/ metallic					-0.74	
Floral/ fruity						0.96
分散	3.20	2.54	2.14	1.81	1.75	1.40
寄与率 (%)	22.84	18.15	15.30	12.90	12.53	9.98
累積寄与率(%)	22.84	40.98	56.28	69.18	81.71	91.69

以上の結果から、因子 1 と 2 以外の他の因子は特定のサンプルによる影響を受けた因子であるので、一般的なチェダーチーズの香り特徴因子を示すものは因子 1 と 2 のみであることが分かった。そこで、それらの 2 因子軸の因子得点による供試サンプルのポジショニングを図 4-2 に示した。図中では、香気構成が特定の香気成分や香調に支配されていないサンプルを黒丸で示し、反対に、特徴的な一つの香気成分に支配されるものを白丸で示した (表 4-2 参照)。供試サンプルは因子 2 (milky、caramel、cereal、green(-)) の因子得点が高いほど、嗜好度も高くなる傾向があった (表 2-7 参照)。例えば、供試サンプル No.2 は嗜好度が 3 番目に高く評価されたサンプルであり、因子 2 の因子得点は供試サンプルの中で最も高い。他方で、供試サンプル No.5 の嗜好度は最も低く評価さ

れ、因子 2 の因子得点は 2 番目に低かった。しかしながら、供試サンプル No.3 のように、因子 1 (acidic/cheesy、animal、woody) の因子得点も因子 2 と同様に高いと嗜好度は低く評価されることが分かった。このことから、嗜好度の増加に対して特に強い相関を持つ香调用語は、milky、caramel、cereal であり、反対に嗜好度の減少に相関するのは acidic/cheesy、animal、woody であると考えられた。

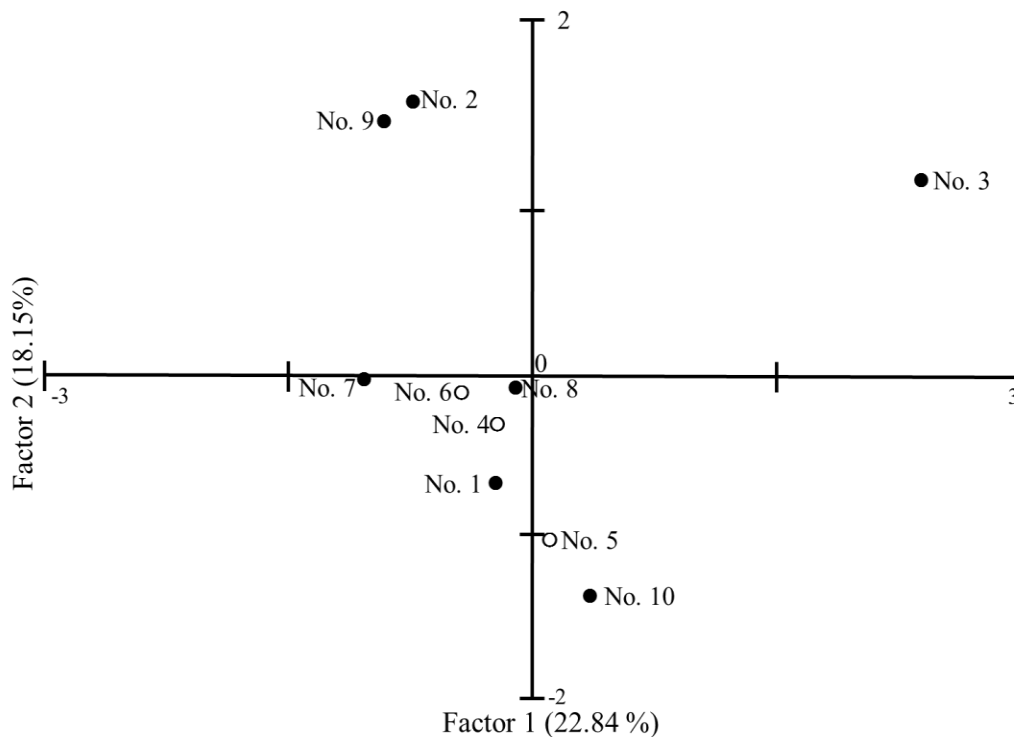


図 4-2 香気特徴因子 1 および 2 によるサンプルポジショニングマップ

4.3.3 香気成分と官能評価特性との相互関係の探索

GC-O 分析によって得た香気成分の CV から、官能評価特性の評価スコアを予測し、モデリングすることができれば、供試サンプルの香りによって官能評価の結果を予測可能となると考えた。そこで、香気成分の CV と官能評価特性との相互関係を PLS および ANN を用いて探索してモデル化することとした。チェダーチーズの標準的な香気構成に基づいた標準モデルを得るため、3 つの供試サンプル(No.4、5、6)についてはデータセットから除外し、残りの 7 つを PLS モデリングおよび ANN に使用した。

香味属性の 22 語評価用語の評価スコアをそれぞれ目的変数とし、43 の香気成分の CV を説明変数とした PLS は、官能評価スコアの「ヨーグルト風味」、「マッシュルーム風味」、「ジアセチル風味」および「渋味」について、それぞれ $R^2 = 0.99$ 、 0.99 、 0.99 および 0.80 の予測精度を示す PLS の構築することに成功した。次にステップワイズ PLS-VIP を適用して、これら 4 つの官能評価特性の評価スコアに対して高い寄与度および寄与順位を示す香気成分を選定した結果と、選択した香気成分を ANN の入力層に適用して得られたモデルによって示された香気成分と評価スコアとの相互関係をそれぞれ図 4-3～図 4-10 の応答曲面に示した。

香味属性「ヨーグルト臭」

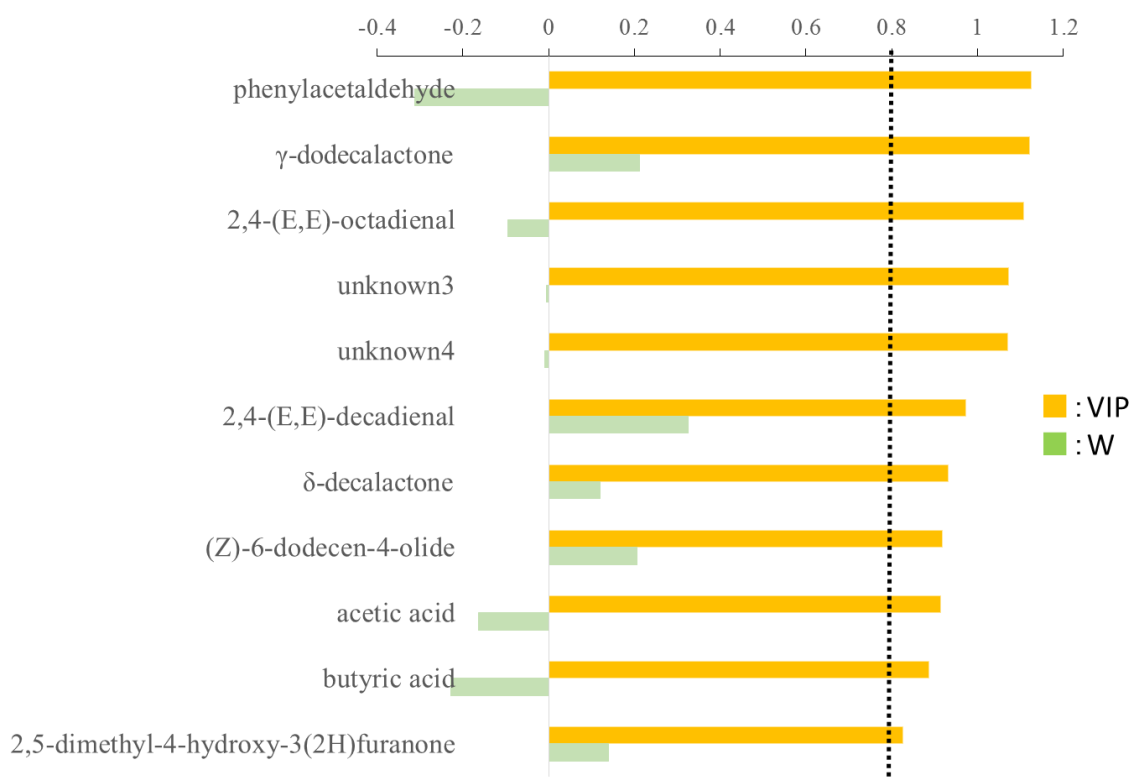


図 4-3 「ヨーグルト臭」に対して高い寄与度を示す香気成分の変数重要度(VIP)およびモデル係数(W)

「ヨーグルト臭」スコアは、ステップワイズ PLS-VIP を 4 回試行した結果、図 4-3 に示すように 11 個の香り成分が寄与を示すことが分かった。 γ -dodecalactone や acetic acid、Butyric acid などの香り成分はヨーグルトに含まれる香り成分として知られている (Routray and Mishra, 2011)。

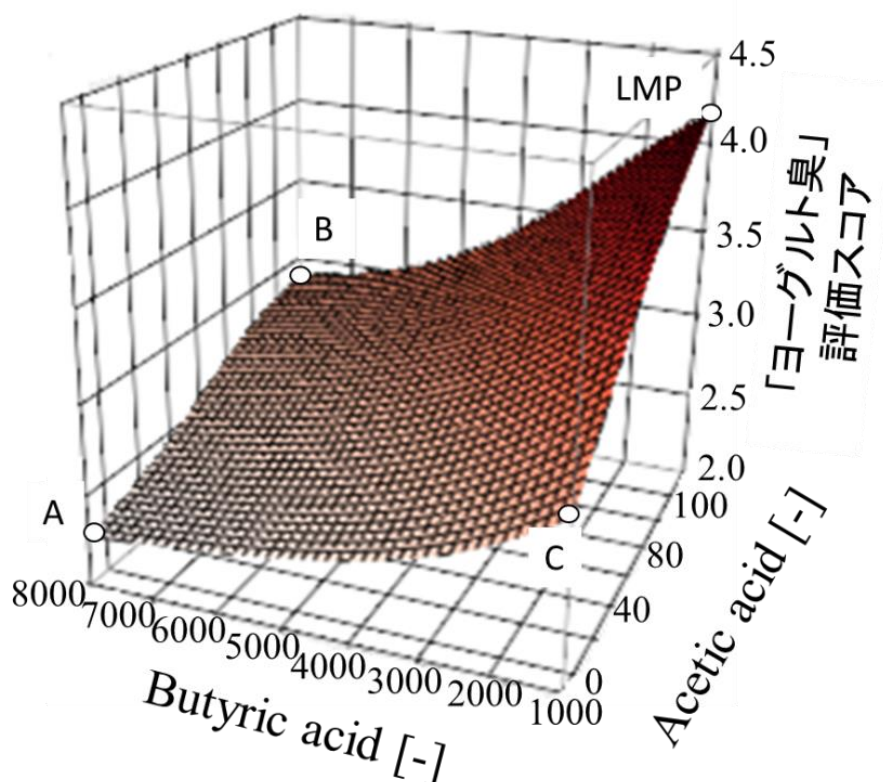


図 4-4 ANN モデリングによって得られた butyric acid と acetic acid および「ヨーグルト臭」スコアの相互関係を示す応答曲面

PLS-VIP で選定された 14 個の香り成分中の butyric acid、acetic acid および「ヨーグルト臭」の相互関係を示す応答曲面を図 4-4 に示す。「ヨーグルト臭」スコアの極大値 (LMP: Local Maximum Point) 5.28 は、Butyric acid が 1,000 [-]、acetic acid が 120 [-] のときに達成されることが分かった。両香り成分はどちらも PLS-VIP の結果では「ヨーグルト臭」スコアに対して負の W 値を示す香り成分であったが、図 4-4 に示した応答曲面の範囲内では、butyric acid のみが負の寄与を示すことが分かった。これは、香り成分が有する「ヨーグルト臭」スコアに対する寄与方向が、ANN モデリングにおいて他の香り成分との相互作用の影響を受けて見かけ上変化した結果であると考えられた。

香味属性「マッシュルーム風味」

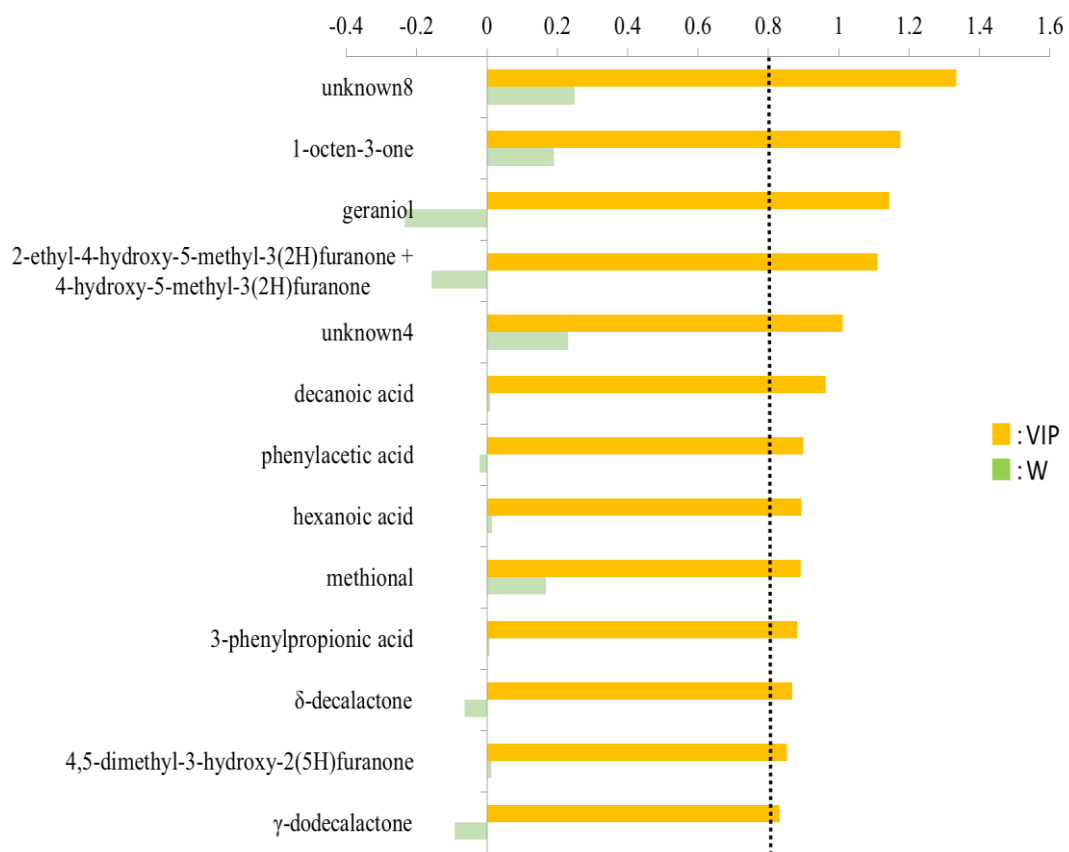


図 4-5 「マッシュルーム風味」に対して高い寄与を示す香气成分の変数重要度 (VIP)およびモデル係数(W)

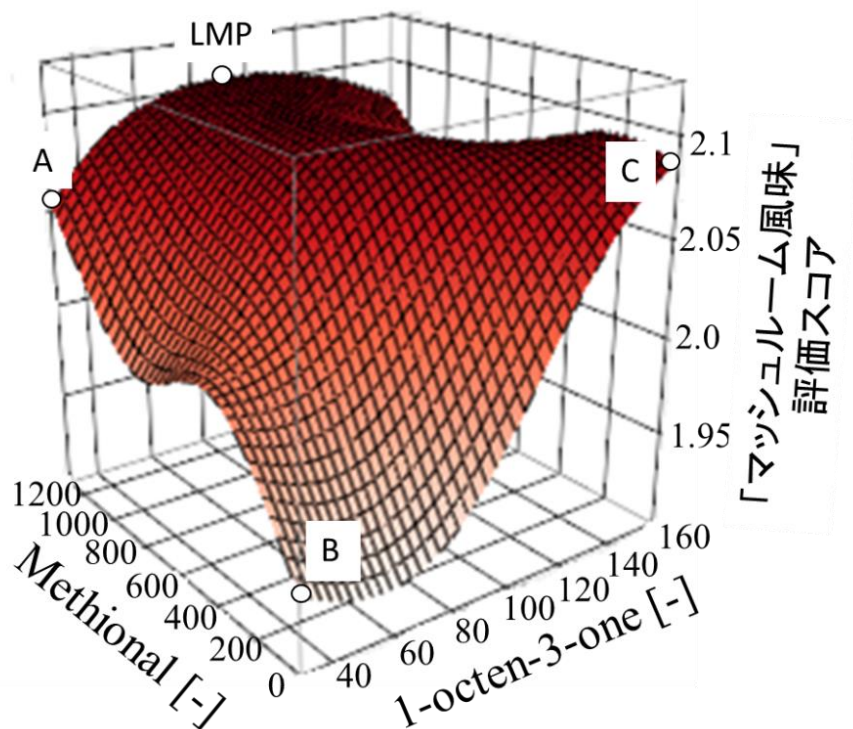


図 4-6 ANN モデリングによって得られた methional と 1-octen-3-one および「マッシュルーム風味」スコアの相互関係を示す応答曲面

「マッシュルーム風味」スコアは、ステップワイズ PLS-VIP を 6 回試行した結果、図 4-5 に示すように、13 個の香気成分による寄与が高いことが分かった。これら 13 個の香気成分を ANN の入力層に代入して出力層とした「マッシュルーム風味」スコアとの相互関係をシミュレーションするモデリングを行った結果から得られた methional、1-octen-3-one および「マッシュルーム風味」スコアの応答曲面を図 4-6 に示した。この応答曲面は複雑な形状を示し、methional が 1,250 [-]、1-octen-3-one が 81 [-] のとき「マッシュルーム風味」は極大値 2.13 を達成し、これらの香気成分と「マッシュルーム風味」間の非線形関係を示した。ただし、この応答曲面に表示された関係が保たれるのは「マッシュルーム風味」スコアの範囲が 1.90~2.15 を示すときのみであり、より高いスコア領域においてはこの応答曲面とは異なる相互関係は生じる場合があると考えられた。

香味属性「ジアセチル風味」

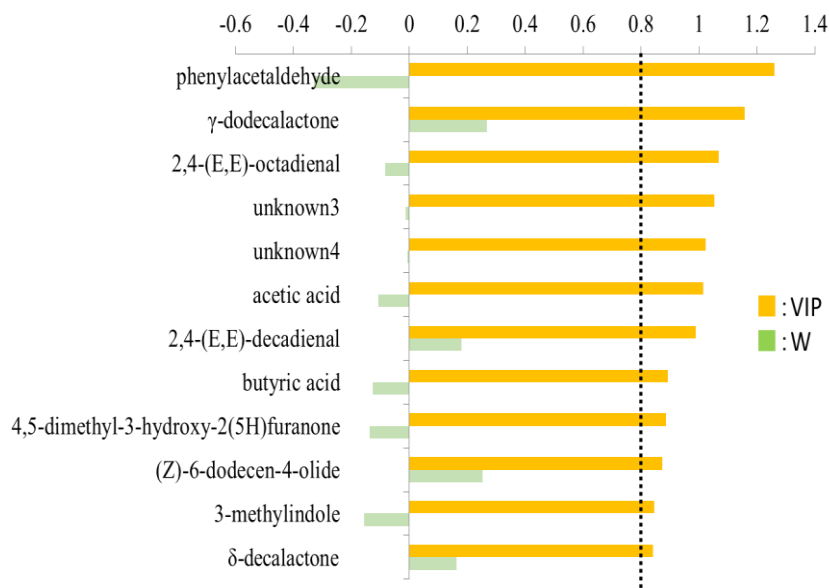


図 4-7 「ジアセチル風味」に対して高い寄与を示す香気成分の変数重要度(VIP)とモデル係数(W)

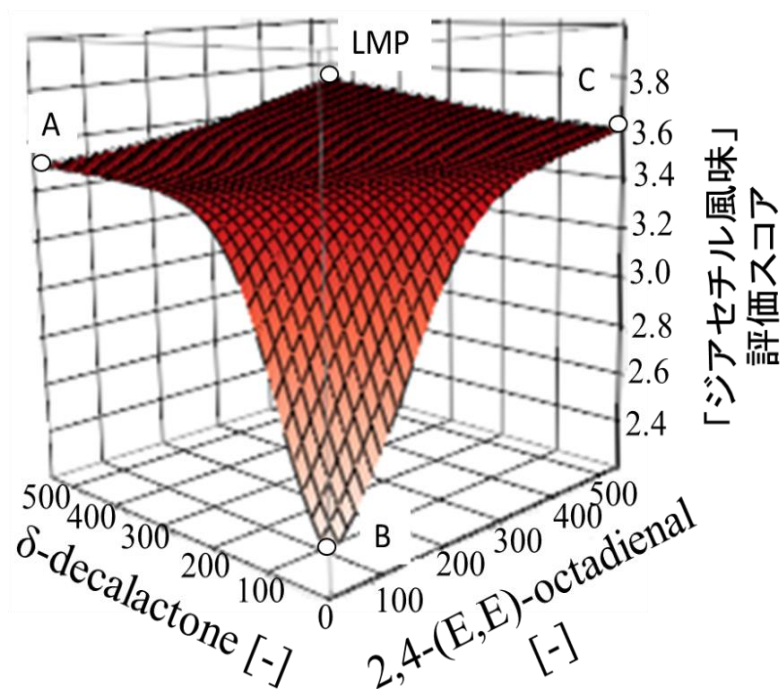


図 4-8 ANNモデリングによって得られた δ -decalactoneと2,4-(E,E)-octadienalおよび「ジアセチル風味」スコアの相互関係を示す応答曲面

「ジアセチル風味」スコアは、ステップワイズ PLS-VIP を 7 回試行した結果、図 4-7 に示すように 12 個の香気成分による寄与が高いことが分かった。香気成分の中には、 γ -dodecalactone、acetic acid、butyric acid のように、「ヨーグルト臭」スコアにも寄与を示した香気成分が含まれ、 γ -dodecalactone や δ -decalactone などのラクトン類の寄与が多いことが分かった。

PLS-VIP によって特定した 12 個の香気成分中の δ -decalactone と 2,4-(E,E)-octadienal および「ジアセチル風味」スコア間の相互関係を示す応答曲面を図 4-8 に示した。この応答曲面は複雑な曲面を呈し、図 4-8 中の点 B で示すように、両香気成分の強度が低い領域では、「ジアセチル風味」スコアは低く、いずれかの香気成分の値が増大するに従って「ジアセチル風味」スコアも高まる傾向があることが分かった。この応答曲面の範囲内では、 δ -decalactone 530 [-]、2,4-(E,E)-octadienal 525 [-]を示すとき「ジアセチル風味」スコアは極大点 3.75 に達した。

香味属性「渋味」

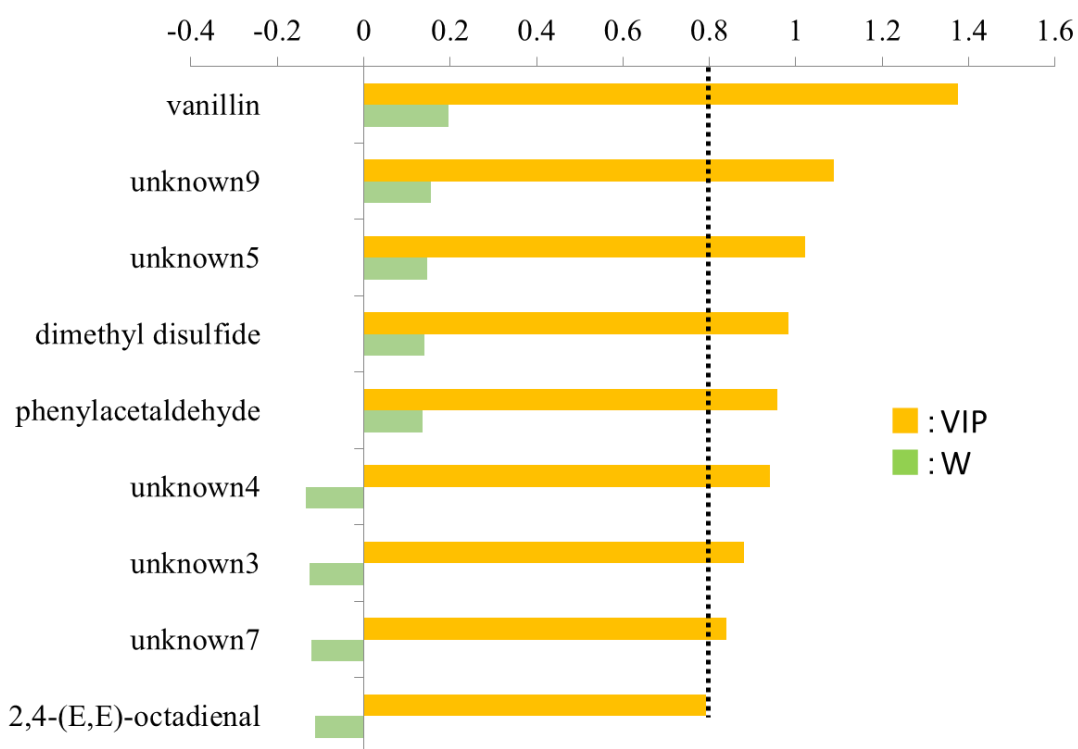


図 4-9 「渋味」スコアに対して高い寄与度を示す香気成分の変数重要度(VIP)とモデル係数(W)

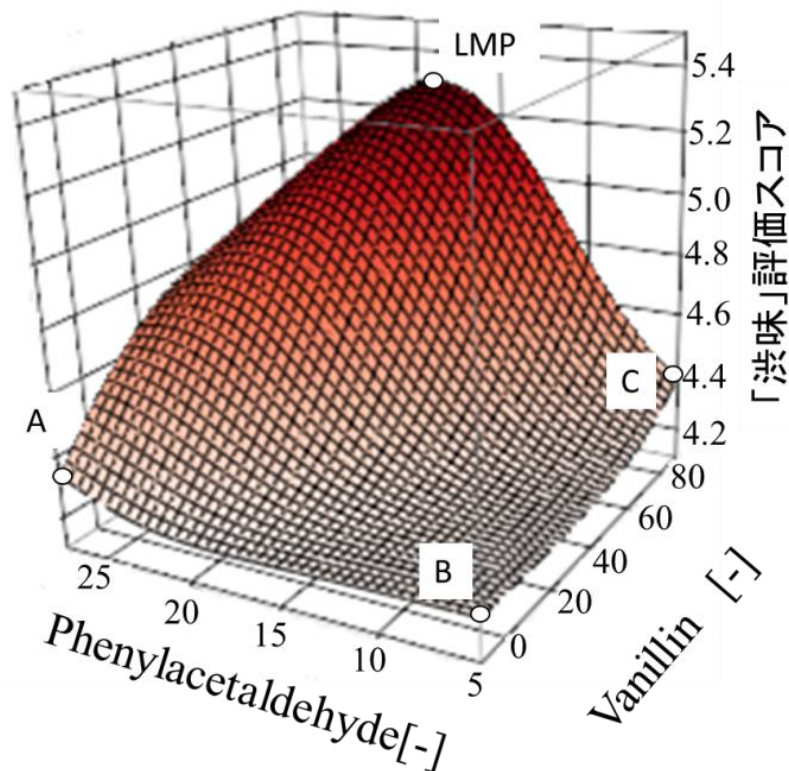


図 4-10 ANN モデリングによって得られた phenylacetaldehyde と vanillin および「渋味」スコアの相互関係を示す応答曲面

「渋味」スコアは、ステップワイズ PLS-VIP を 5 回試行した結果、9 個の香気成分が寄与を示すことが分かった。寄与を示した香気成分のうち、上位 5 位までの香気成分は「渋味」に対して正の寄与方向を示す成分であることが分かった。

PLS-VIP で選定した 9 個の香気成分のうち、phenylacetaldehyde と vanillin および「渋味」スコアの相互関係を示す応答曲面を図 4-10 に示した。この応答曲面の表示範囲は「渋味」スコアが 4.1~5.5 を取るときであり、そのときの両香気成分の相互作用を表していた。「渋味」スコアの極大値は 5.32 であり、このときの香気成分強度は phenylacetaldehyde 18.3[-] と vanillin 90 [-] であった。

従来、一般的にはガスクロマトグラフ分析のデータに基づいてフレーバー間の相互作用やそのメカニズム、すなわち、香気成分間のマスキング効果や増強効果などを説明することは難しいものとされてきた(Ryan et al. 2008; Ferreira 2012a, b)。しかし本研究において、GC-O で得られたデータに対してステップワイズ PLS-VIP を適用することによって、それぞれの官能評価スコアに寄与する香気成分を特定し、さらにはそれらの寄与順位および寄与の方向を究明し、最終的には ANN モデリングによって香気成分と官能評価スコア間の相互関係を高精度にシミュレーション可能となった。

4.4 摘要

本章では、チェダーチーズの香り分析データから、その香りを構成する主要因子を抽出し、官能評価特性に対して寄与が高い香気成分を特定し、香気特性と官能評価特性間の相互関係性をモデル化した。具体的な成果は以下の通りである。

1. 供試サンプルの香気構成から、チェダーチーズの主要な香気構成は、acidic/ cheesy 香, caramel 香 および fatty/ metallic 香であることが分かった。
2. 香気成分の CV に因子分析を適用した結果から、嗜好度の増加に対して香調用語 milky, caramel, cereal は強い相関があり、反対に嗜好度の減少に相関するのは acidic/cheesy, animal, woody であることが分かった。
3. 38 語の官能評価用語のうち、香味属性に属する 22 用語の官能評価スコアを予測する PLS は、「ヨーグルト臭」、「マッシュルーム風味」、「ジアセチル風味」および「渋味」の 4 つの官能評価スコアに関して高い精度の予測モデルを示し、それらに PLS-VIP を適用することによって、官能評価特性に対して高い寄与を持つ GC-O の香気成分およびその香調用語を特定することに成功した。
4. ステップワイズ PLS-VIP によって変数選択された香気成分を ANN の入力層に適用することによって、香気成分間および香気成分と官能評価特性間の非線形の相互関係性をモデル化した。
5. ANN モデリングされた香気成分と官能評価特性との相互関係の中には複数の香気成分間に生じている相互作用の影響が含まれており、香気成分の示す官能評価スコアへの寄与方向が、必ずしも PLS-VIP で明らかにした寄与方向とは一致しないことが分かった。

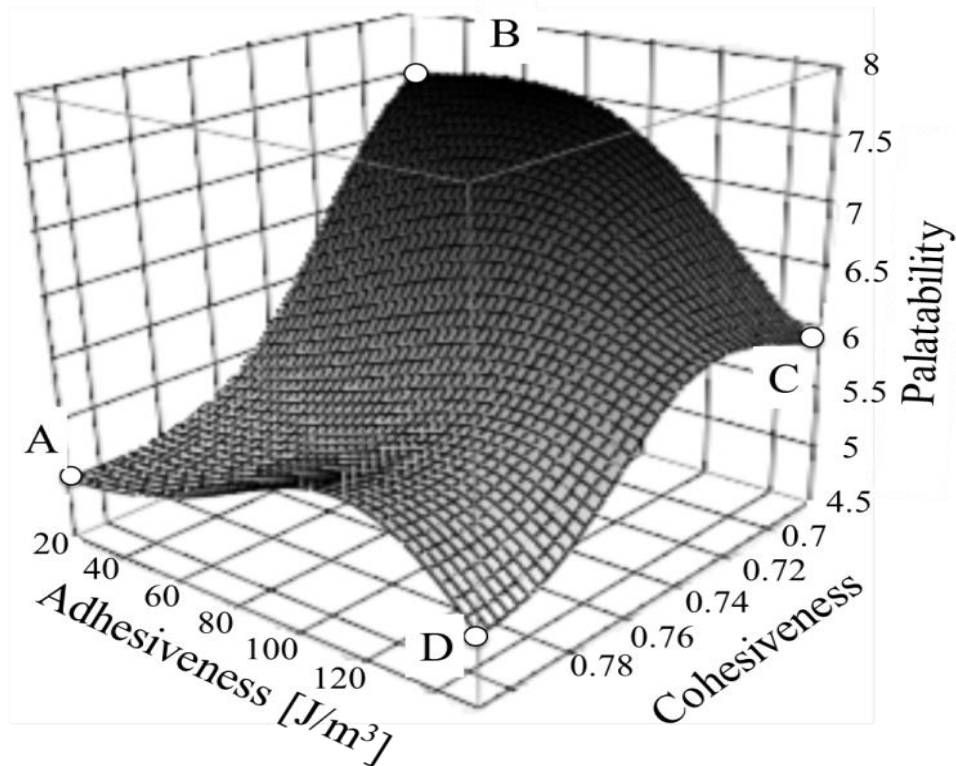
第5章 総合考察

これまでに、供試サンプルとしたチェダーチーズについて、その官能評価特性を官能評価用語の収集と官能評価の実施により得て、さらには粘弾性特性および香気成分特性を計測してそれらと官能評価特性との相互関係をモデリングする手法を開発した。第5章では、これまでに得られたこれらの品質特性と嗜好度、すなわち「おいしさ」評価について、それらに対してステップワイズ PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた手法を適用することによって、その相互関係をモデル化した。

5.1 粘弾性特性によって嗜好度を予測するモデルの構築

第3章において、チェダーチーズの食感評価スコアを適切な粘弾性試験法の組み合わせを選択することで、粘弾性パラメータによって良好に ANN モデルを構築する手法を提唱した。食感から嗜好度を予測することが可能となれば、消費者に好まれる粘弾性特性を持つ製品を設計することが可能になると考えられた。そこで、図 3-11 に従い、第3章に述べた手法を用いて嗜好度の ANN モデルの構築を試みた。この節では統計解析ソフト JMP11.0Pro を使用して ANN モデリングを実施した。

これまでに述べた考察により、テクスチャ試験から得られる9個のパラメータ数は、クリープ試験および破断試験でそれぞれ得られるパラメータ数4個よりも多く、また、これらのパラメータの独立性により制約を考えると、嗜好度のモデリングにはテクスチャ試験のパラメータのみを使用することが最適であると考えた。この条件にしたがって、ANN モデルの入力層にテクスチャ試験で得られた9個のパラメータ、出力層に嗜好度を適用した結果、その予測精度は $R^2c=0.93$ および $R^2v=0.83$ を達成した。構築したモデルのうち、付着性、凝集性および嗜好度の相互関係を示した応答曲面を図 5-1 に示した。



$$R^2c \text{ (calibration)} = 0.93, \text{RMSEc} = 0.08$$

$$R^2v \text{ (validation)} = 0.83, \text{RMSEv} = 0.14$$

図 5-1 ANN モデリングで得た付着性[J/m³]、凝集性[-]および嗜好度の相互関係を示した応答曲面

この応答曲面は、モデルの構築のために使用した9個すべてのパラメータの間に存在するシナジー効果を総合的に評価した結果を示していると考えられた。したがって、このような方法で構築したANNモデルから得られた応答曲面によって、消費者の嗜好度を粘弾性パラメータの数値によってシミュレーションすることが可能であると考えられた。

以上のことから、チェダーチーズの食感および嗜好度は、機器計測で得られる粘弾性パラメータの適切な変数選択を行えばANNによってモデリング可能であることが分かった。しかしながら、粘弾性試験法の組み合わせによっては、パラメータの更なる絞込みを適切に行わなくてはならない場合があるなど、実際にそれらのパラメータがモデル中でどのように作用しているのかを個別に検討可能な段階には達していないと考えられた。

5.2 香気特性パラメータによって消費者嗜好度を予測するモデルの構築

第4章では、GC-O分析で得た香気成分の香り強度値であるCVを用いて、官能評価特性の評価スコアを予測するモデルを構築し、さらには官能評価特性に対して寄与が高い香気成分を特定し、その相互関係を高精度にモデル化できることを示した。そこで、引き続き、香気成分のCVを用いて、消費者嗜好度を予測するモデルの構築および個別の香気成分およびGC-Oにおける香調用語と嗜好度との相互関係性をPLSとANNの統計解析的手法による分析結果に基づいて考察した。供試サンプルのNo.4、5、6の香りは、それぞれ一つの香り成分によって香気特性が支配されていることが分かったため(表4-2および図4-1参照)、この3つの供試サンプル(No.4、5、6)については供試データセットから除外し、残りの7つの供試サンプルをPLS回帰分析およびANNモデリングに使用した。この節では、統計解析ソフトJMP9.0を使用してPLS、ステップワイズPLS-VIPおよびANNモデリングを実施した。

5.2.1 嗜好度に寄与する香気成分の探索

目的変数に嗜好度、説明変数に香気43成分のCV(表4-2参照)を用いたPLSによる嗜好度の予測モデル構築は、 $R^2=0.99$ を達成した。43香気成分のうち、構築したモデルへの寄与度の高い成分は図5-2に示す28香気成分であった。香調用語のmilky香とcaramel香は嗜好度に対して正の方向に寄与する傾向があり、green香、vanilla香、sulfur香、cacao-like香およびbutter香を示す香気成分は負の方向に寄与することが分かった。一方で、fatty/metallic香、floral/fruity香、cereal香、acidic/cheesy香およびanimal香を示す香気成分は、香気成分によって嗜好度を示す寄与の方向が異なることが分かった。

嗜好度に対して寄与度の高い香気成分を絞り込むために、説明変数とした香気43成分にステップワイズPLS-VIPを9回適用し、最終的な $R^2=0.72$ の嗜好度予測モデルを構築した(表5-1)。

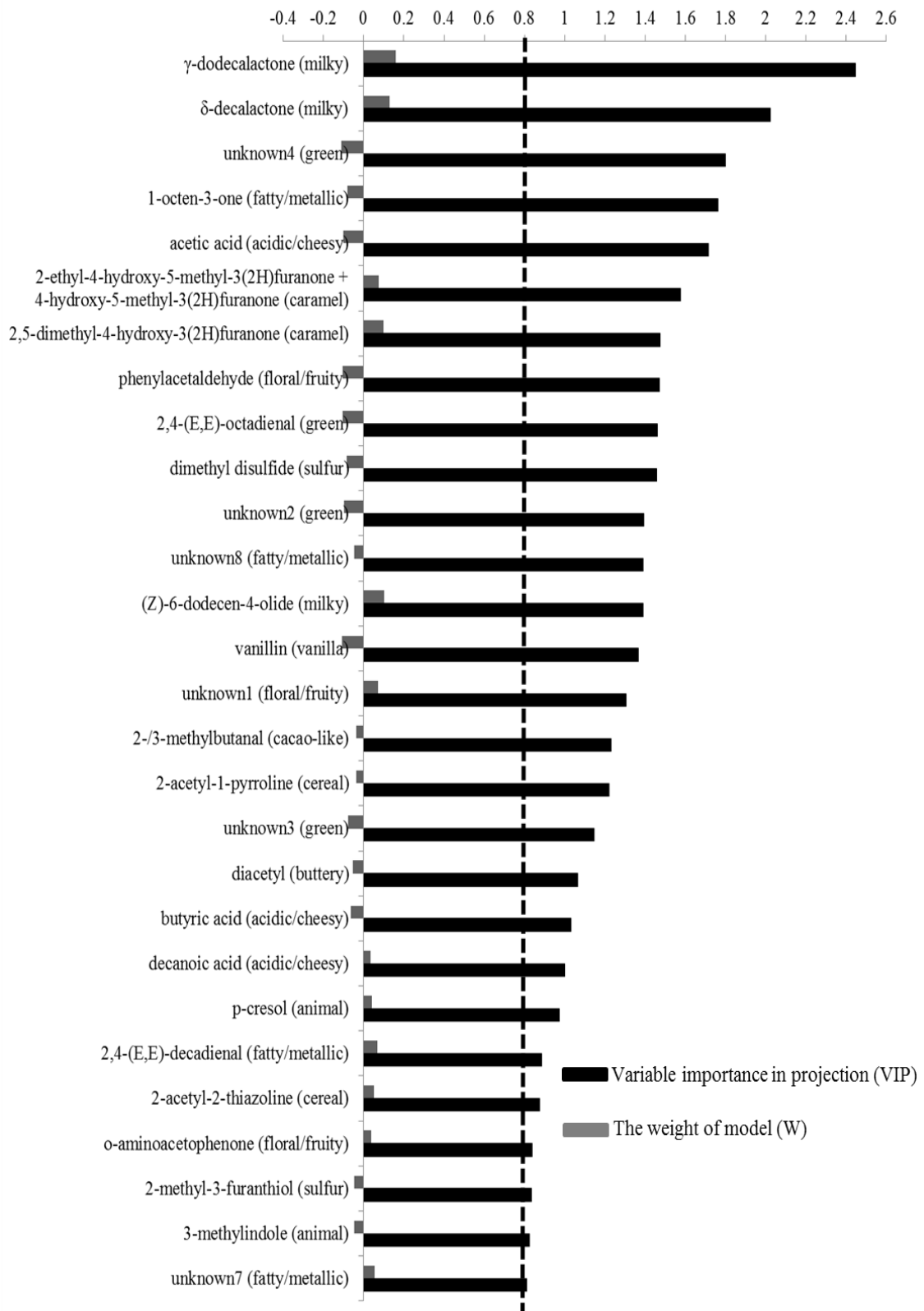


図 5-2 嗜好度に対して $VIP > 0.80$ の寄与度を示した香気成分名とその香調用語

表 5-1 ステップワイズ PLS-VIP の適用による香気成分の絞り込み

試行回数	目的変数	説明変数 (香気成分数)	R ²	潜在因子数
1st Trial		43	0.99	2
2nd		28	0.99	2
3rd		21	0.79	2
4th	嗜好度 (おいしさ)	18	0.79	2
5th		16	0.76	2
6th		15	0.72	2
7th		14	0.67	2
8th		13	0.70	2
9th		12	0.72	3

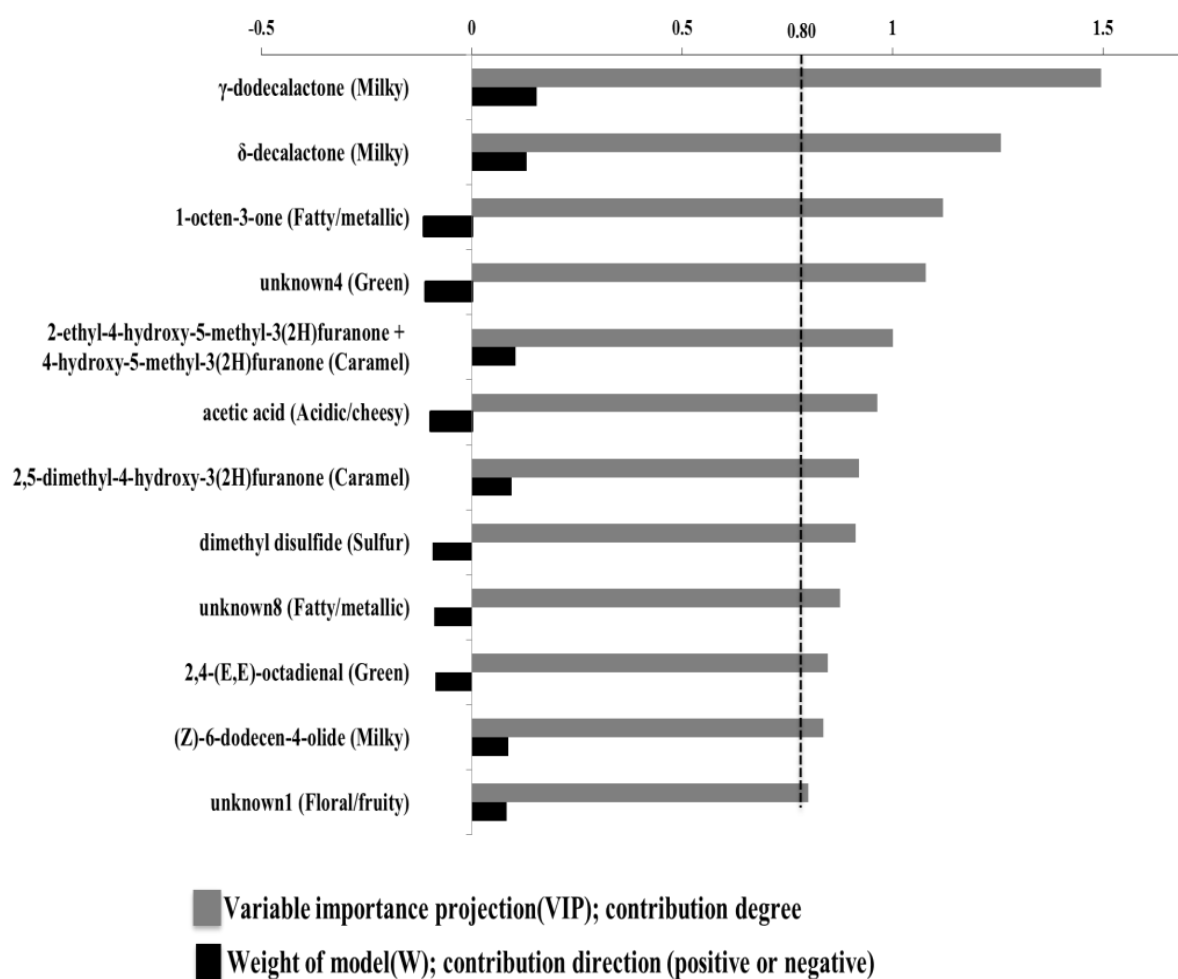


図 5-3 嗜好度に高く寄与する 12 の香気成分とその香調用語

図 5-3 にステップワイズ PLS-VIP によって特定した嗜好度に高く寄与する 12 種類の香気成分名とその香調用語および嗜好度への貢献方向を示した。図中の灰色棒は VIP を表し、これは嗜好度への寄与度を示し、黒色棒はモデル係数を表しておりその正負の符号によって嗜好度への寄与方向を示している。

δ -decalactone, 1-octen-3-one, acetic acid, 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone の 4 香気成分はチェダーチーズの主要香気成分であると指摘されている (Milo and Reineccius 1997; Suriyaphan et al. 2001; Zehentbauer and Reineccius 2002; Singh et al. 2003)。これらの香気成分は嗜好度に寄与すると考えられ、チェダーチーズのおいしさに影響を及ぼす香気成分であると考えられた。本研究の結果、香調用語の Milky 香、Caramel 香、Floral/fruity 香はおいしさの正方向に寄与し、Fatty/metallic 香、green 香、Acidic/cheesy 香および sulfur 香はおいしさの負方向に寄与することが分かった。いずれの香調用語も、チーズの主要な香りとして知られているが、欧米各国で行われた先行研究では、チーズを特徴づける重要な香りであるとされた Acidic/cheesy および sulfur 香が、日本人の感じるチーズのおいしさには負方向に寄与することが分かった (Suriyaphan et al. 2001; Singh et al. 2003; Wouters et al. 2012)。また、14 の香調用語の因子分析結果と嗜好度評価との比較分析においても、milky, caramel 香の因子得点が高いほど嗜好度が高くなるが、acidic/cheesy の因子得点が高まると嗜好度は低減する傾向があった (表 2-8 および図 4-2 参照)。欧米の先行研究で示された結果と本研究において得られた結果とは、相反する点があり、その要因は日本人と欧米人の間におけるチーズ食文化や食習慣の違いに起因するチーズの食経験の違いにあると考えられた。

GC 技術では、マスキング作用や増長作用といった香りの相互作用を説明することは難しいとされている (Ryan et al. 2008; Ferreira 2012a,b)。しかしながら、GC-O から得たデータにステップワイズ PLS-VIP を適用することによって、おいしさに寄与する香気成分を特定し、それらの順位と寄与の方向を得ることができた。次の節では、PLS-VIP によって特定された 12 の香気成分と ANN を結合し、GC-O データと嗜好度との間の非線形の関係性をモデリングした。

5.2.2 香気特性パラメータと消費者嗜好度間における ANN モデリング

ステップワイズ PLS-VIP で特定した 12 の香気成分の CV を ANN の入力層に使用し、嗜好度を出力層に使用した。PLS-VIP において採用したサンプルと同様に、サンプル No. 4, 5, 6 はデータセットから除外し、残りの 7 サンプルのデータセットを採用した。その結果、嗜好度はそれぞれ R^2c および R^2v が 0.99 および 0.97、同様に $RMSEc$ および $RMSEv$ が 0.01 以下 および 0.05 を示す良好な ANN モデルを構築した。図 5-4 に、香気成分 γ -dodecalactone および dimethyl disulfide が嗜好度に及ぼす影響を示す ANN で得られた典型的な応答曲面を示した。この応答曲面においては、 γ -dodecalactone と dimethyl disulfide がどちらも増加するに伴って嗜好度も高まる傾向を示した。dimethyl

disulfide は PLS-VIP 試行においての W の符号が負を示していたが、構築したモデルの範囲においては γ - dodecalactone と同様に嗜好度に対して正方向の関係を持つことがわかった。したがって、香気成分が持つ嗜好度に対する働きは、単独の場合と他の香気成分との相互作用が存在する場合で異なることがあると考えられた。

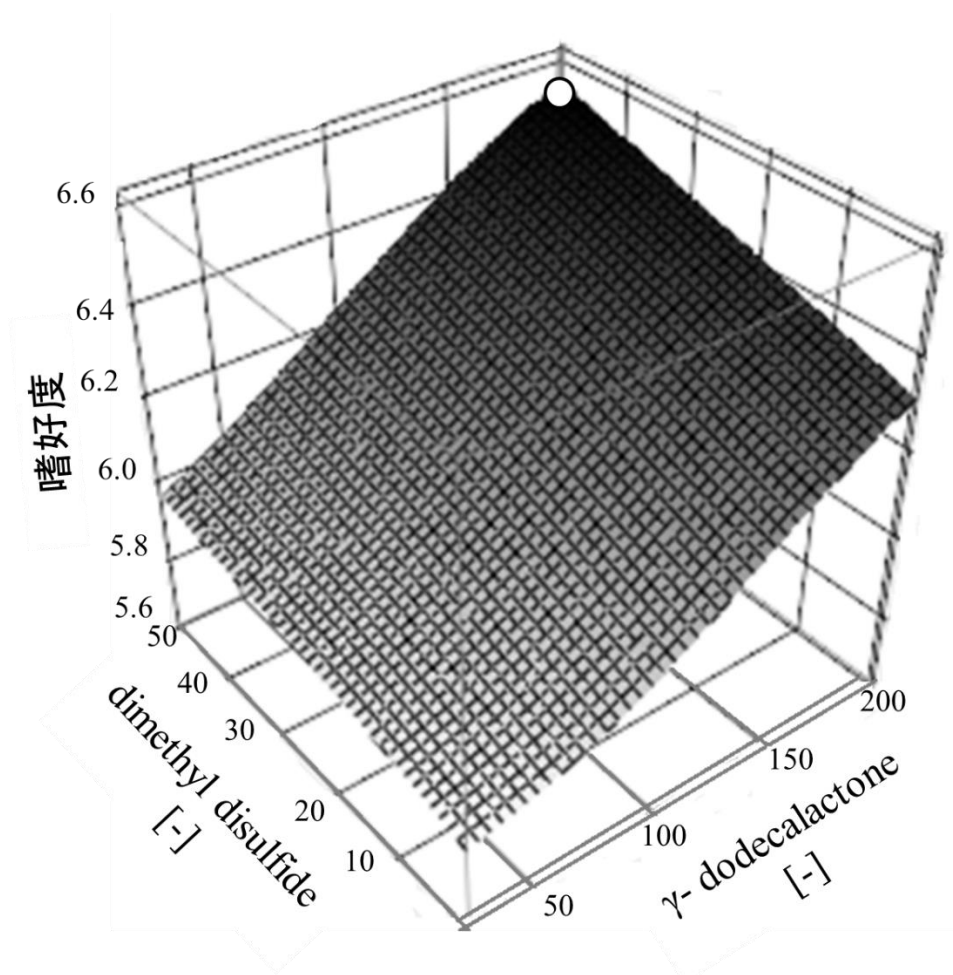


図 5-4 香気成分 γ - dodecalactone [-]および dimethyl disulfide [-]および嗜好度の相互関係を示した応答曲面表示 ○: 嗜好度極大点

次に、7品のサンプルのデータセットを学習用に使用し、特定の香気成分に香気構成を支配されているサンプル3品 (sample No.4, 5, 6) を検証用データセットに使用してモデリングを行った。その結果、それぞれ $R^2c = 0.95$ 、 $RMSEc = 0.05$ および $R^2v = 0.94$ 、 $RMSEv = 0.03$ を示すモデルを構築した。このモデリングによって得られた γ -dodecalactone と dimethyl disulfide および嗜好度の相互関係を示した応答曲面を図 5-5 に示した。

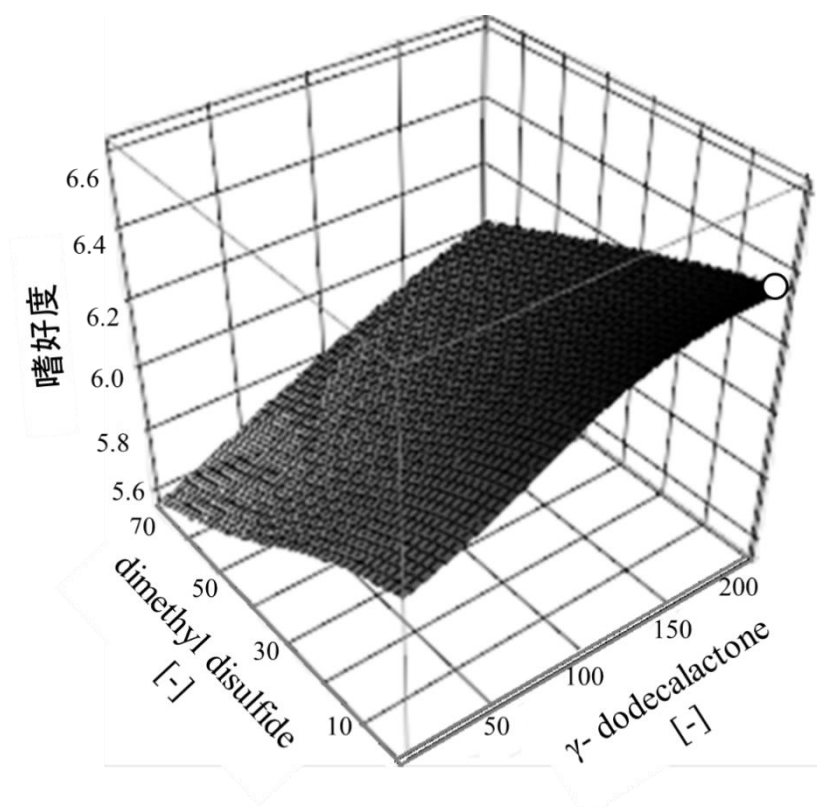


図 5-5 香気成分 γ -dodecalactone [-]と dimethyl disulfide [-]および嗜好度の相互関係を示した応答曲面 ○：嗜好度極大点

図 5-4 および図 5-5 のシミュレーションにおいて、最大の嗜好度スコア 6.55 および 6.36 を示した γ -dodecalactone と dimethyl disulfide の CV の組み合わせは、それぞれ 201.74 と 50.49 および 201.82 と -0.61 であり、dimethyl disulfide の CV の差が 50.91 のとき嗜好度スコアには 0.91(-2.9%)の差が生じることが分かった。図 5-5 に使用したデータセットは図 5-4 で使用したデータセットと比較して、サンプル No.5 に顕著に多く含まれていた香気成分 dimethyl disulfide の CV が高く、それ以外に図 5-4 と図 5-5 に使用したデータセットには違いがないことから、モデルにおいて香気成分の CV の変化が嗜好度へ影響を及ぼしたことがわかった。具体的には、 γ -dodecalactone の CV が最大値、dimethyl disulfide が最小値のときの嗜好度(P (γ -dodecalactone, dimethyl disulfide) =図 5-4 (201.74, -0.53), 図 5-5 (201.82, -0.61)) を比較すると、その変化率は 0.6%であった。他方で γ -dodecalactone と dimethyl disulfide がともに最小値のとき (P (γ -dodecalactone, dimethyl disulfide) = 図 5-4 (1.58, -0.53), 図 5-5 (2.34, -0.61)) では、嗜好度のスコアが 4.1 %変化した。いずれの場合も、香気成分と嗜好度との間には非線形の関係性があることが確認できたことから、これらの ANN モデルによって得られた応答曲面は、各香気成分と嗜好度の関係を示しており、また他の香気成分との相互作用の結果を含む出力であると考えられた。

以上のように香気成分と嗜好度の相互作用についてシミュレーションすることができることから、ANN モデルに入力するデータセットを操作することにより、嗜好度を高めるような香り成分の CV 配合割合をシミュレーションすることも可能であると考えた。そこで、PLSR-VIP によって選定された 12 成分の中でも嗜好度に対して正方向に寄与する 6 香気成分のみ(γ -dodecalactone; δ -decalactone; 2-ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H) furanone + 4-hydroxy-5-methyl-3(2H) furanone; 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H) furanone; (Z)-6-dodecen-4-olide; unknown 1) を入力層に用いた ANN モデルを新たに作成し、先に構築した標準 ANN モデルと比較した。まず、標準 ANN モデルのうち、標準香気成分とした γ -dodecalactone と、嗜好度に正方向の貢献を示す caramel 香の代表成分として 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H) furanone を選び、それらと嗜好度との相互関係を表す応答曲面を図 5-6 に示した。続いて図 5-7 に、入力層に嗜好度に対して正の寄与を示した 6 つの香気成分のみを使用した新たな ANN モデルで得た γ -dodecalactone と 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H) furanone および嗜好度の関係性を示した応答曲面を示した。

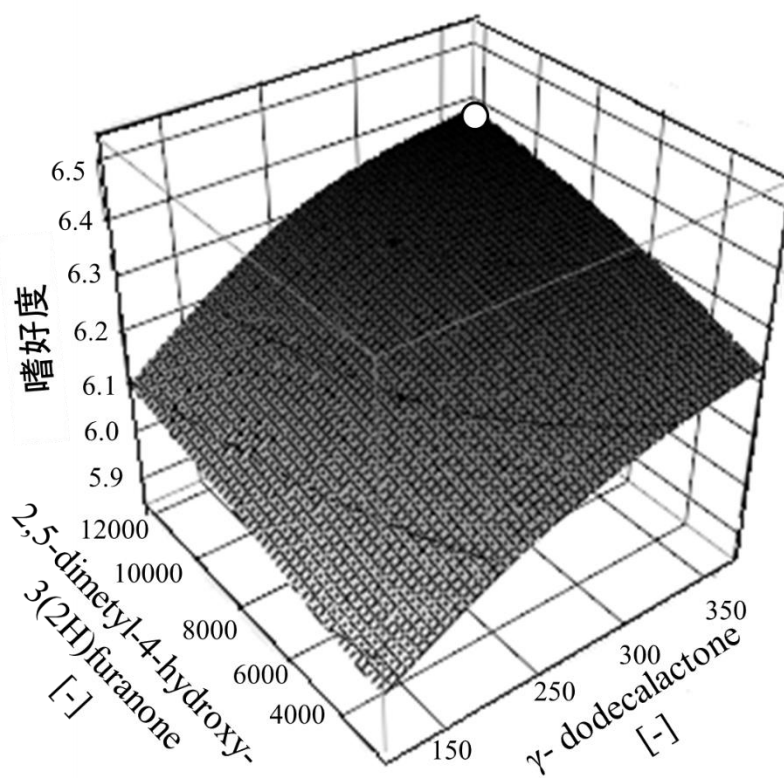


図 5-6 標準 ANN モデルにおける香気成分 γ -dodecalactone [-] と 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H) furanone [-] および嗜好度の相互関係を示した応答曲面 ○: 嗜好度極大点

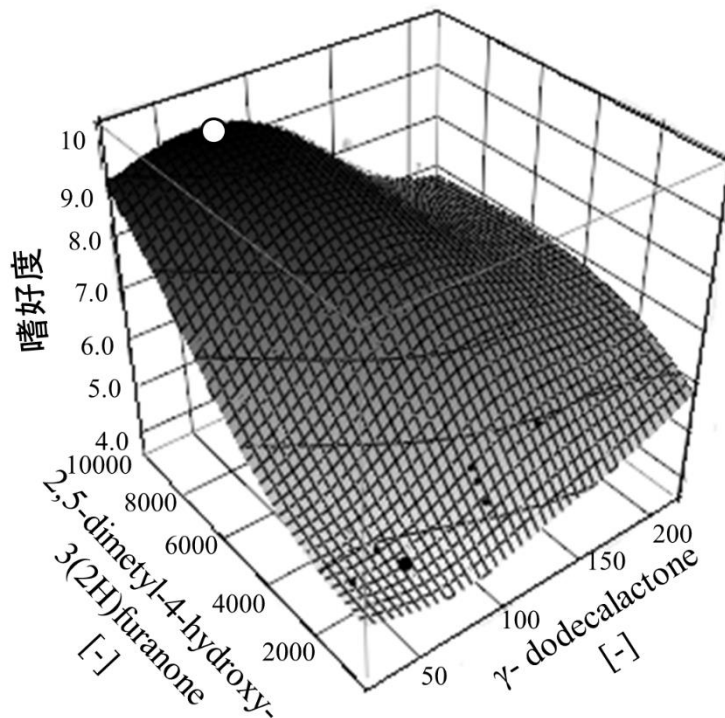


図 5-7 嗜好度に正に寄与する成分のみを使用した ANN モデルにおける香り成分 γ -dodecalactone [-] と 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone [-] および嗜好度の相互関係を示した応答曲面 ○: 嗜好度極大点

図 5-6 中では γ -dodecalactone と 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone の CV が高ければ高いほど嗜好度も高まる傾向が観察された。この結果は milky 香を示す γ -dodecalactone と caramel 香を示す 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone が、嗜好度を増進させるとした因子分析および PLS-VIP で得た結果と良好な一致を示した(図 4-2 および図 5-4 参照)。他方、図 5-7 の応答曲面図と図 5-6 を比較すると、それぞれの香り成分と嗜好度スコアとの相互関係は大きく変化した。したがって、PLS-VIP で得た嗜好度に対して正の寄与を示す香り成分の CV を増加させるだけでは嗜好度を単調増加させることはできないことが示された。

以上のことから、GC-O によって得た供試サンプルの香り特性と消費者パネルによる嗜好度評価について ANN モデリングを行うことにより、香り特性と嗜好度の間が存在する非線形の関係性を定量的に示すことが可能となった。さらには、香り成分間の相互作用およびそのマスキングや増強効果などの複雑な関係性のメカニズムを応答曲面によって可視化できることを示した。

5.3 異なる品質評価属性と官能評価スコアおよび嗜好度との相互関係性

これまでに、粘弾性特性と香気成分特性とそれらと同等の評価属性の官能評価スコアおよび嗜好度との相互関係を PLS-VIP と ANN モデリングの組み合わせ法によって明らかにし、その予測シミュレーションを行った。しかしながら、サンプルの品質特性が粘弾性特性のみ、もしくは香気成分特性のみといった場合はほぼなく、多くの場合では複数の品質特性が存在し、また、それらが相互作用を及ぼしあいながら官能評価スコアに寄与することと推察された。そこで、これらの両品質特性を同等の変数として取り扱う必要があると考えた。

5.3.1 品質特性の因子分析

粘弾性特性と香気成分特性間の相互相関分析を行った結果、相関係数 $|R| > 0.80$ を示した組み合わせが、破断荷重と unknown10($R=0.89$)および ethyl cinnamate ($R=0.89$)、付着性と 2-acetyl-1-pyrroline ($R=0.87$)および trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal($R=0.81$)の4組であることが分かった。このことから、これらの相関が認められた組み合わせ以外の品質特性間ではそれらの変数の独立性が保証されたと考えた。

そこで、相互相関分析により抽出された4組の組み合わせを含む粘弾性特性17項目および香気成分特性43項目、すなわち品質特性パラメータ60項目をそれらの類似性によって分類するために因子分析を適用して、その結果を表5-2に示した。この表に示すように、特性パラメータは6因子に分類され、累積寄与率は86.8%であった。第1因子には、テクスチャ試験とクリープ試験で得られた粘弾性パラメータと香気成分の acetic acid が分類され、最も高い寄与率22.4%を示した。第2、4、6因子にはそれぞれ香気成分のみが分類されたが、香調用語の類似性はGC-O分析によって同定した香気成分を分類する要因ではないことが分かった。これらの因子に含まれない第3因子には、破断試験の粘弾性パラメータと香気成分が分類されたが、これらの成分の中には破断荷重と unknown10 および ethyl cinnamate が含まれた。同様に、第5因子には香気成分とテクスチャ試験パラメータの付着性が分類されたが、その成分の中には付着性と 2-acetyl-1-pyrroline および trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal が含まれた。これらの因子分析の結果より、粘弾性パラメータと香気成分の間には高い相関を示す組み合わせが存在することが確認された。

表 5-2 品質特性の因子負荷量とその累積寄与率

品質属性*	品質特性パラメータ	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
粘弾性	A1エネルギー[J/m ³]	0.97					
	A2エネルギー[J/m ³]	0.96					
	ガム性荷重[N]	0.96					
	ガム性応力[Pa]	0.96					
	TPA最大荷重[N]	0.96					
	かたさ荷重[N]	0.96					
	かたさ応力[N/m ²]	0.96					
	粘性率 η_N [Pa·s]	0.94					
	粘性率 η_I [Pa·s]	0.93					
	弾性率 E_I [Pa]	0.91					
香気	acetic acid (acidic/cheesy)	0.66					
粘弾性	弾性率 E_O [Pa]	0.65					
	凝集性	-0.49					
香気	hexanoic acid (acidic/cheesy)		0.96				
	2-methyl-3-furanthiol (sulfur)		0.92				
	butyric acid (acidic/cheesy)		0.88				
	unknown12 (caramel)		0.88				
	phenylacetic acid (floral/fruity)		0.86				
	unknown11 (woody)		0.86				
	3-methylindole (animal)		0.86				
	4,5-dimethyl-3-hydroxy-2(5H)furanone (caramel)		0.84				
	unknown9 (sulfur)		0.79				
	phenylacetaldehyde (floral/fruity)		0.78				
	decanoic acid (acidic/cheesy)		0.72				
	(Z)-6-dodecen-4-olide (milky)		0.62				
	2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone (caramel)		0.59				
	geraniol (floral/fruity)		0.51				
	粘弾性	破断エネルギー[J/m ³]			0.91		
最大荷重[N]				0.88			
破断荷重[N]				0.85			
破断歪率[%]				0.75			
香気	ethyl cinnamate (floral/fruity)			0.72			
	unknown10 (floral/fruity)			0.72			
	3-phenylpropionic acid (woody)			-0.52			
	dimethyl disulfide (sulfur)			-0.65			
	unknown5 (sulfur)			-0.67			
	unknown8 (fatty/metallic)			-0.71			
香気	p-cresol (animal)				0.84		
	unknown6 (milky)				0.84		
	unknown1 (floral/fruity)				0.80		
	unknown7 (fatty/metallic)				0.78		
	2-ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H)furanone + 4-hydroxy-5-methyl-3(2H)furanone (caramel)				0.71		
	unknown3 (green)				0.71		
	o-aminoacetophenone (floral/fruity)				0.70		
vanillin (vanilla)				-0.56			
香気	2-acetyl-1-pyrroline (cereal)					0.95	
	1-octen-3-one (fatty/metallic)					0.85	
	trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal (fatty/metallic)					0.85	
	2,4-(E,E)-decadienal (green)					0.82	
	diacetyl (buttery)					0.80	
粘弾性	付着性[J/m ³]					0.79	
香気	unknown2 (green)					-0.45	
香気	γ -dodecalactone (milky)						0.72
	δ -dodecalactone (milky)						0.72
	2-acetyl-2-thiazoline (cereal)						0.62
	unknown4 (green)						-0.45
	(E)-2-nonenal (fatty/metallic)						-0.61
	methional (potato-like)						-0.64
	2,4-(E,E)-octadienal (fatty/metallic)						-0.70
	2-/3-methylbutanal (cacao-like)						-0.78
	分散	13.45	12.25	7.12	7.06	6.30	5.91
寄与率	22.42	20.42	11.86	11.76	10.51	9.85	
累積寄与率	22.42	42.84	54.70	66.46	76.97	86.82	

*: 粘弾性は粘弾性パラメータ、香気は香気成分パラメータをそれぞれ示す。

5.3.2 因子分析によるサンプルのポジショニングマップ

因子分析により得られた結果を用いてサンプル間の品質の差異を明らかにするために、因子得点を用いたサンプルのポジショニングマップを図5-8、5-9および5-10に示した。

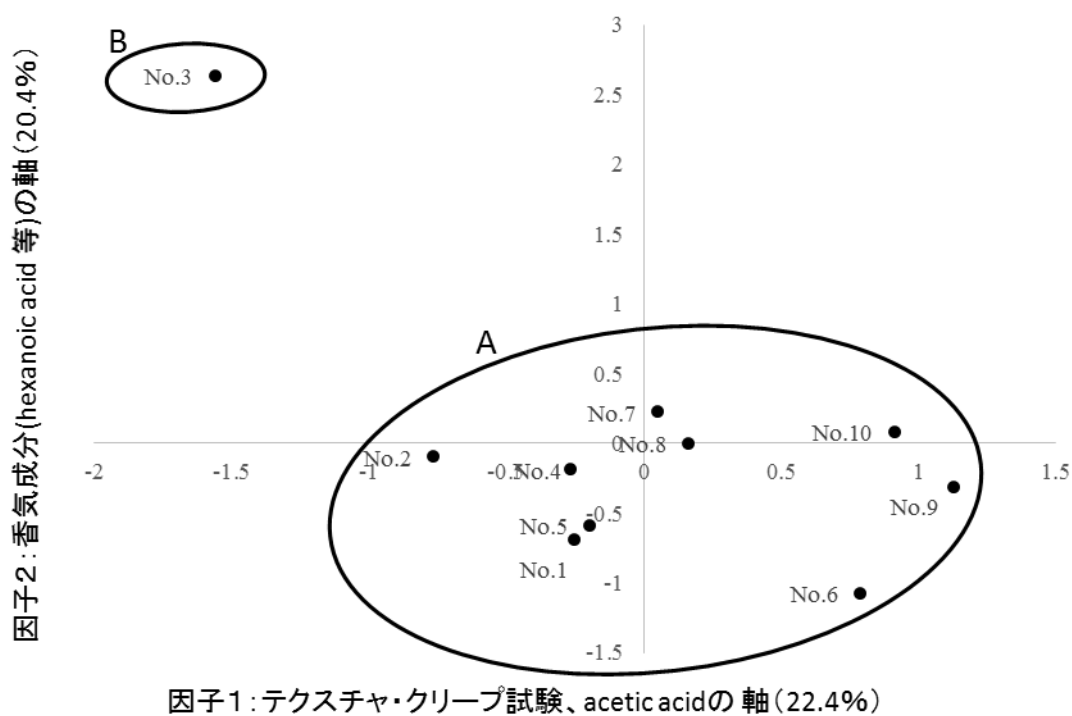


図 5-8 因子1と2によるポジショニングマップ

図5-8に因子1と2によるサンプルのポジショニングマップを示す。この図の円A内に示すように、ほとんどのサンプルが因子1の粘弾性パラメータによってグルーピングされることが分かった。他方、円Bで示した供試サンプルNo.3は他のサンプルと比較して因子2の因子得点が顕著に高く、粘弾性パラメータよりも香り成分の強度によって他と識別可能なサンプルであることが分かった。

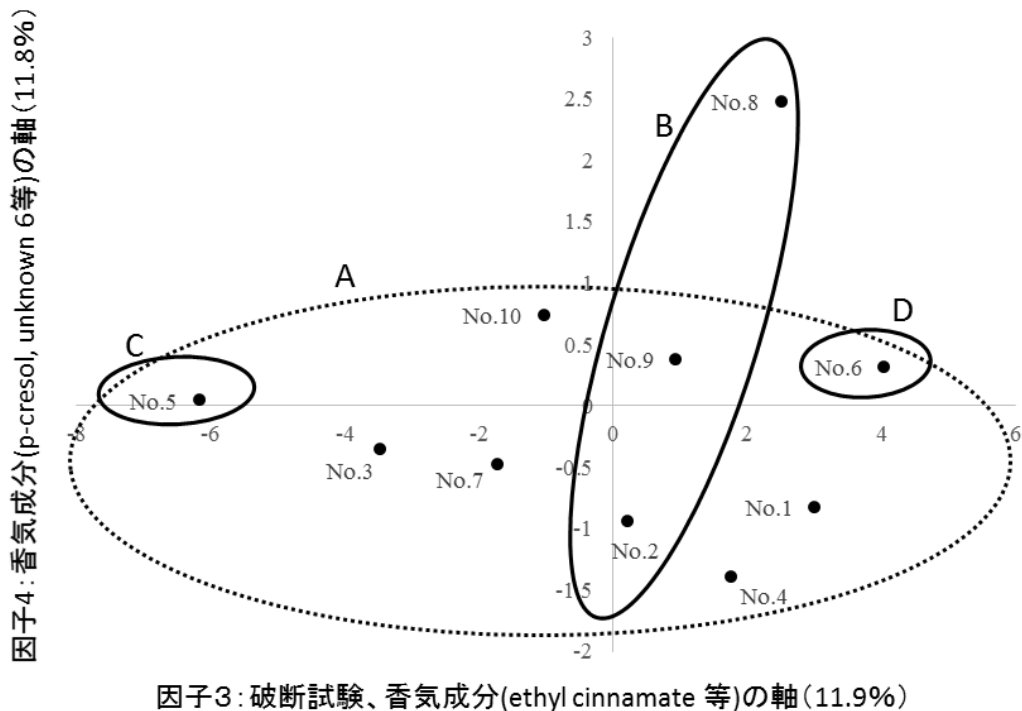


図 5-9 因子3と4によるポジショニングマップ

図5-9に因子3と4によるサンプルのポジショニングマップを示す。因子3と4の寄与率はほぼ同等であるが、点線円Aで示したようにサンプルはほとんど因子3の因子得点の違いによって説明可能であることが分かった。しかし、表2-8で示した嗜好度のスコアで観られるように、実線円Bで囲んだNo.2、9、8はそれぞれ嗜好度が3位、1位、2位の順位を示し、他方、円Cで示したNo.5は最も低い嗜好度を示すことが分かった。また、円Dで示したNo.6は、サンプル間の粘弾性パラメータおよび官能評価の「かたさ」スコアの両方でもっとも硬いと評価されたサンプルであった。すなわち、サンプルの品質を嗜好度のスコアと関連づけて考えると、円B内のサンプルは因子4の香氣成分により、また、円CとDは4個の破断試験パラメータと6個の香氣成分からなる因子3の相互作用により影響を受けることが分かった。

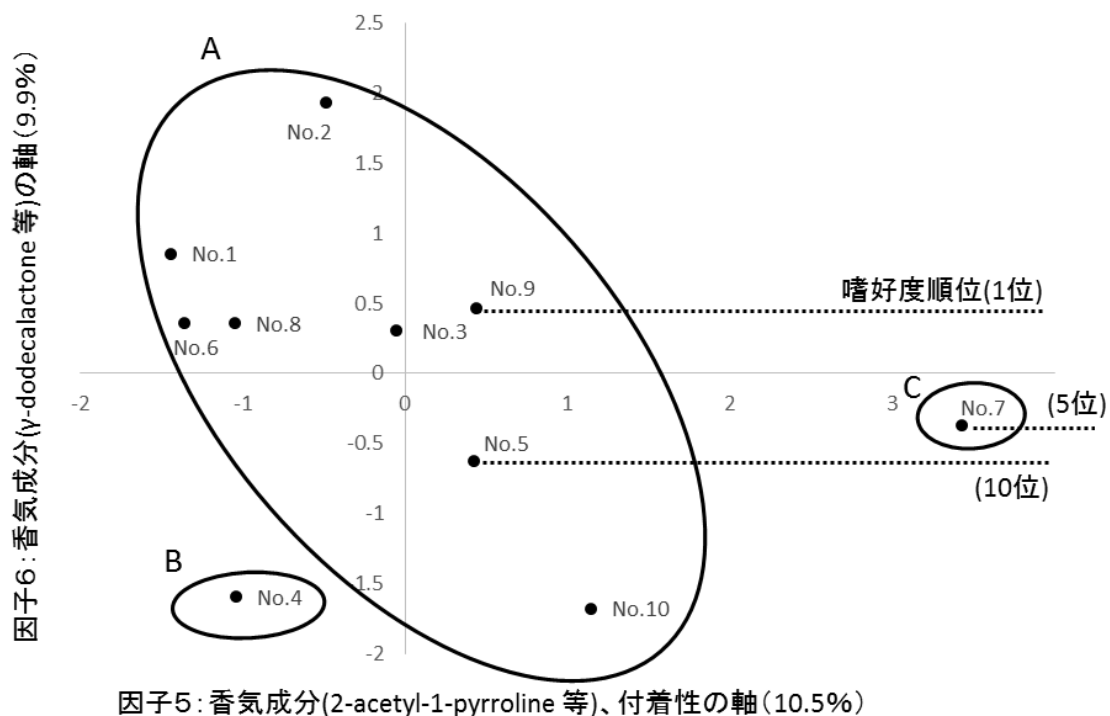


図 5-10 因子 5 と 6 によるポジショニングマップ

図5-10に因子5と6によるサンプルのポジショニングマップを示す。因子5と6の寄与率はほぼ同等であるが、円Aで示したようにサンプルはほとんど因子5の因子得点の違いによって説明可能であることが分かった。この円内のサンプルNo.9の嗜好度が最も高く、他方、No.5が最も低い嗜好度を示した。円Bで示したNo.4と円Cで示したNo.7は、因子5、すなわち香気成分と付着性の相互作用により影響を顕著に受けるサンプルとして特異的なポジショニングを示した。サンプルNo.4は官能評価スコアの香味属性「苦味」、「渋味」および「エグ味」のスコアが高く、No.7は付着性の最も高いサンプルであることが分かった。また、サンプルNo.4と7の嗜好度の順位はそれぞれ8位と5位に相当するサンプルであることが分かる。これらの嗜好度を高めるためには、因子6の因子得点を増大することが有効であると推測された。

これまで述べたように、粘弾性特性と香気成分特性を同等に取り扱うことにより、品質ポジショニングを明らかにし、さらに、これらのポジショニングマップを用いて、粘弾性パラメータと香気成分データの双方から嗜好度を高めるための品質設計因子を特定することが可能となった。

5.3.3 品質特性と官能評価結果に基づく品質設計法

品質特性と官能評価スコアおよび嗜好度との相互関係をPLSおよびANNモデルを用いて探索した。本節および以降の節では、データ解析に統計解析ソフトJMP11.0Proを使用した。粘弾性パラメータと香気成分のCVは、PLSを適用するにあたって、その尺度化および中心化を行い、統計解析において同質のデータとして取り扱えるように事前処理を行った上でモデリングに供した。

5.3.4 PLS-VIP による官能評価スコアに寄与を示す品質特性パラメータの特定

PLSの説明変数に粘弾性パラメータ17項目と香気成分のCV43項目からなる品質特性、目的変数に評価用語38語のスコアを適用した結果、外観属性の「ヒビ、裂け目」、「ストーン」、香味属性の「酢酸風味」、「苦味」、食感属性の「かたさ」、「ねっとり感」、「口どけのよさ」および「ペースト状」について、決定係数(R^2)=0.99、0.88、0.75、0.97、0.99、0.84、0.99および0.82を示すPLSモデルがそれぞれ得られた。これらのうち、目的変数を「酢酸風味」とし、説明変数にステップワイズPLS-VIPを適用した典型例を示した(図5-11)。説明変数を絞り込むために本研究ではJMP11.0Proのデフォルトとして推奨されているVIP ≥ 0.80 およびW=±0.1を閾値として採用した。

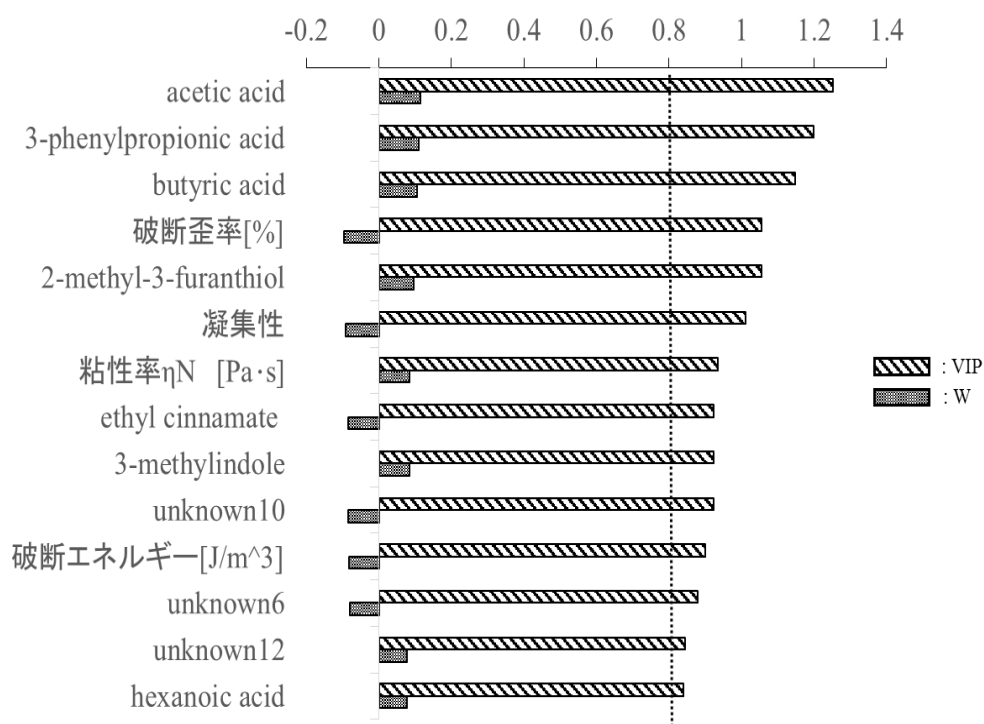


図 5-11 香味属性「酢酸風味」に寄与した品質特性の寄与度(VIP)とその寄与方向(W)

ステップワイズPLS-VIPを7回試行した結果、図5-11に示すように14項目の品質特性パラメータが「酢酸風味」に影響を及ぼすパラメータとして選択され、それらの目的変数に対する寄与順位およびその方向が明らかになった。このような変数選択の結果から、「酢酸風味」スコアにacetic acidなどの香気成分のほかにも破断歪率などの粘弾性パラメータも寄与することが分かった。

5.3.5 複数の品質属性と官能評価スコアの相互関係の ANN モデリング

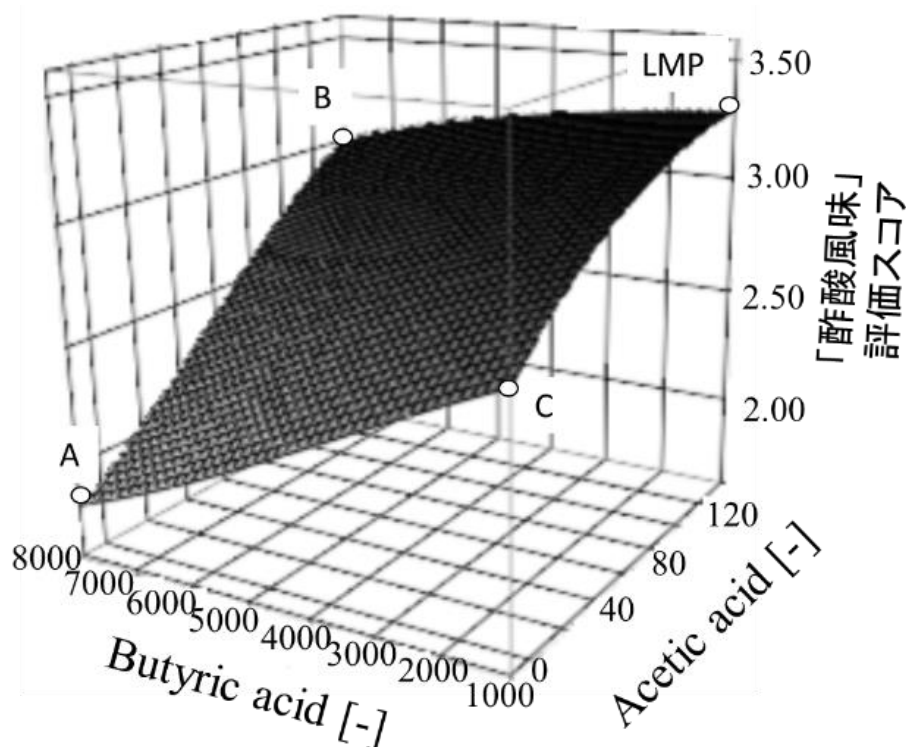


図 5-12 ANN モデリングにおける acetic acid と butyric acid および香味属性「酢酸風味」スコアの相互関係を示す応答曲面

「酢酸風味」スコアは香味属性であるため、香気成分のCVとの間に強い相互関係を持つことが予測された。そこで、変数選択により得られた14項目の品質特性パラメータをANNの入力層に適用してそれらのパラメータと「酢酸風味」スコア間の関係を示すモデルを構築し、そのモデルのうち、香気成分acetic acid、butyric acidおよび「酢酸風味」スコアの相互関係を示した応答曲面を図5-12に示した。このモデルの予測精度は R^2c (calibration)= 0.98および R^2v (validation)= 0.93を示した。

この応答曲面では、acetic acid 140 [-]、butyric acid 1,000 [-]を示すとき評価スコアは極大値(LMP: Local Maximum Point) 3.32 を示すことがわかった。このように、香味属性の評価スコアと香気成分の CV との相互関係は良好にシミュレーションできることが分

かった。同様にして、食感属性の「かたさ」、「ねっとり感」および「ペースト状」の評価スコアについても品質特性との相互関係をそれぞれ ANN によってモデリング可能であり、さらには食感属性の評価スコアと粘弾性パラメータとの相互関係を良好にシミュレーションできることが実証された。すなわち、このように同じ属性間の官能評価スコアと品質特性パラメータの関係は、高精度でモデリング可能であることが確認された。

5.4 品質特性と嗜好度に基づく「おいしさ」評価設計法

これまでに、PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせることによって、品質特性と官能評価スコア間の相互関係を高精度でモデリング可能であることを示した。そこで、同様にして粘弾性特性と香り特性の両方をデータセットとした品質特性と嗜好度との相互関係の探索することとした。

5.4.1 PLS-VIP による嗜好度に寄与を示す品質特性の特定

PLS において、粘弾性パラメータ 17 項目と香り 43 成分の CV の計 60 変数を説明変数とし、嗜好度を目的変数として、供試サンプルの品質特性の値から嗜好度を予測するモデルの構築を行った結果、潜在因子数を 4 つ持ち $R^2=0.99$ (0.99) を示す予測モデルが得られた。このとき、PLS-VIP では $VIP>0.80$ を示した品質特性は 60 パラメータ中 35 パラメータあった(図 5-13)。そのうち、粘弾性特性は 11 パラメータ含まれていた。

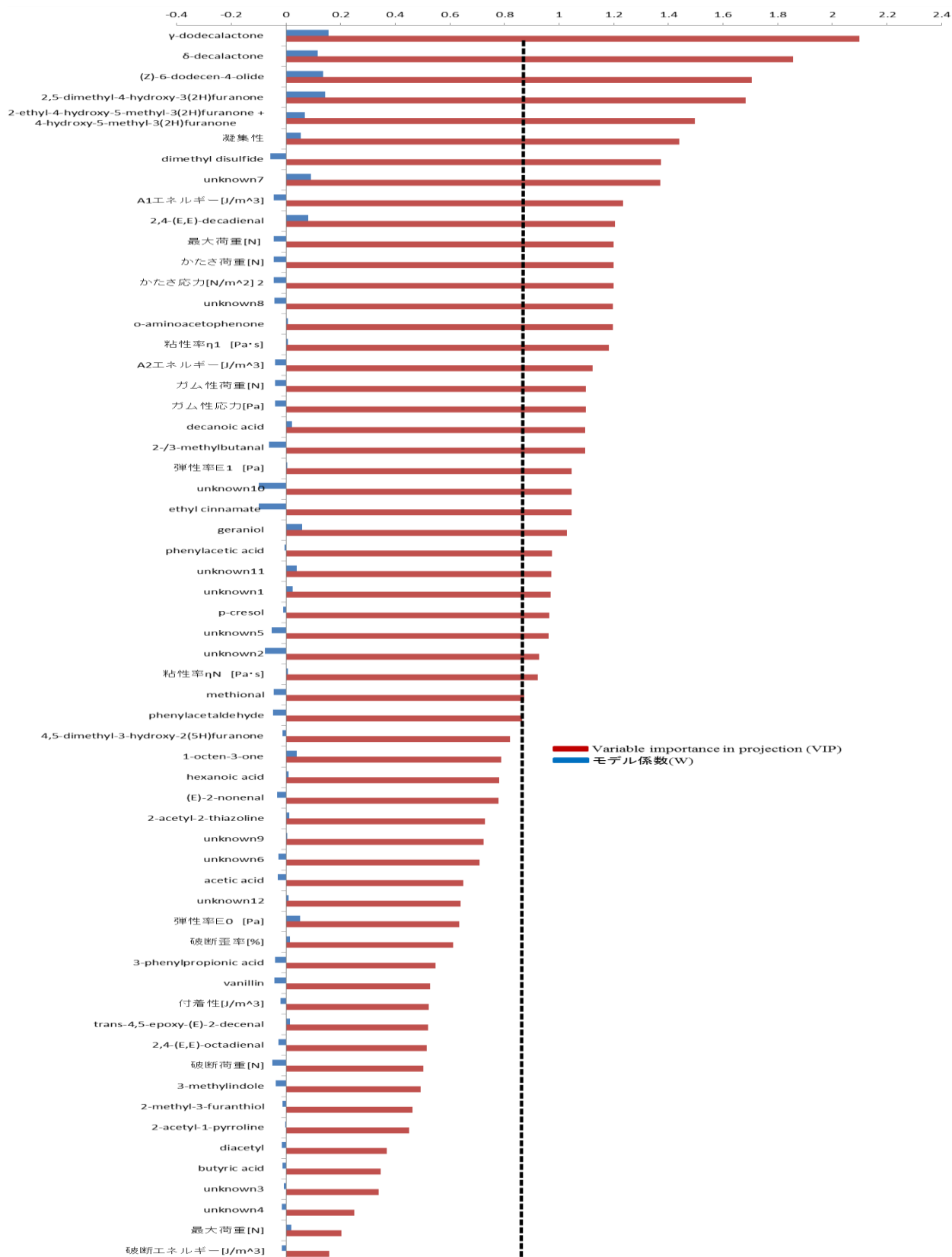


図 5-13 品質特性 60 パラメータの嗜好度に対する寄与度および寄与方向

嗜好度の予測モデルに対してステップワイズPLS-VIPを適用して6回の変数選択試行を行った結果、図5-14に示すように14項目の品質特性パラメータが嗜好度に影響を及ぼすパラメータとして選択され、それらの目的変数に対する寄与順位およびその方向が明らかになった。このときのモデルは潜在因子数を6つ持ち、その予測精度は $Rc^2=0.99(Rv^2=0.99)$ 、 $RMSE=0.006$ を示した。この結果から、嗜好度には粘弾性パラメータよりも香气成分の方が高い寄与を示すパラメータ数が多いことが分かった。つまり、嗜好度の評価には、サンプルの食感よりも味や香りや風味といったフレーバーとして識別される項目が重視される傾向にあると考えられた。

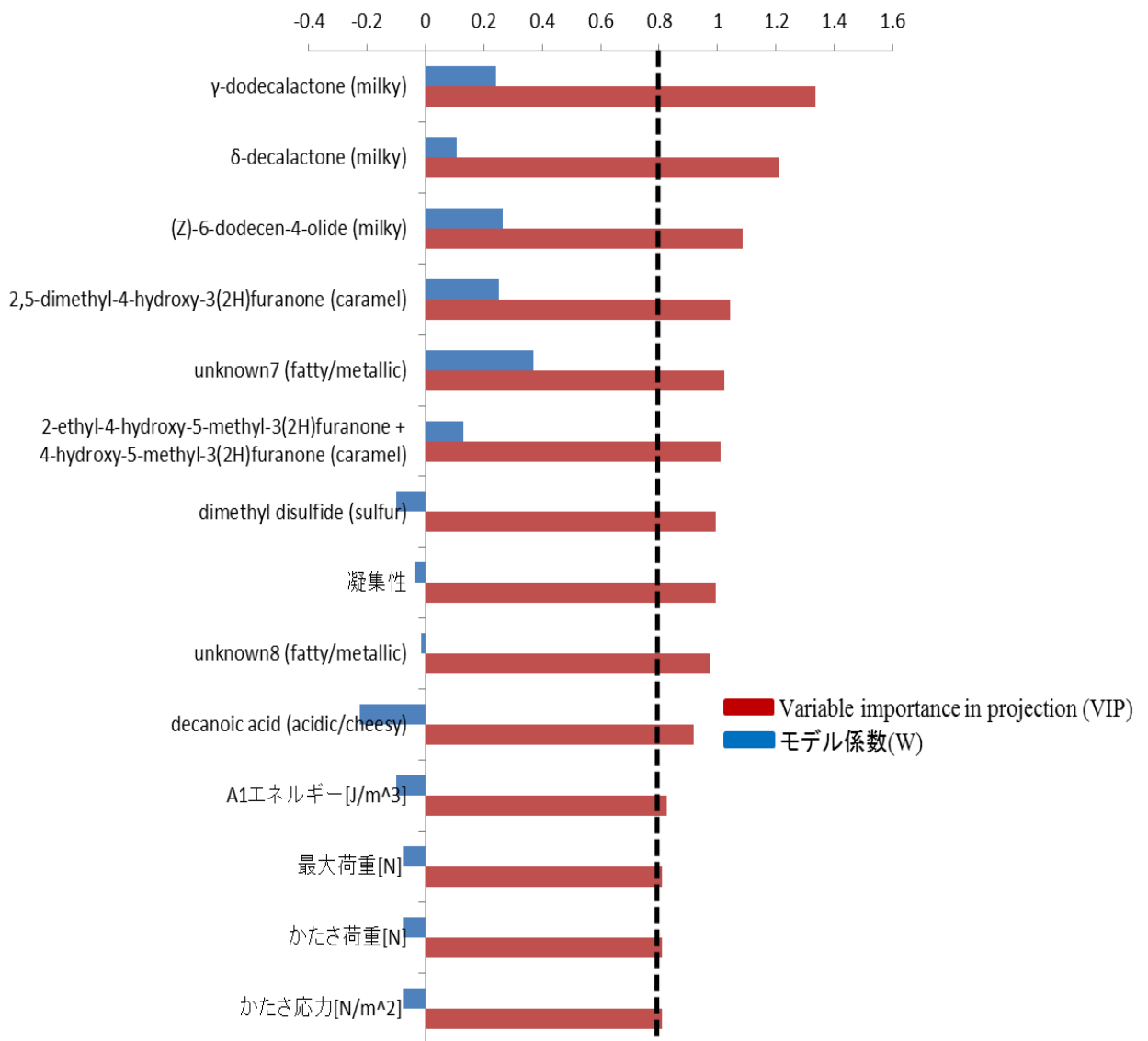


図 5-14 嗜好度が高く寄与する 14 の品質特性パラメータ

図 5-14 において VIP の上位を占めた香気成分は γ -dodecalactone、 δ -decalactone および (Z)-6-dodecen-4-olide の 3 種でいずれも香調用語の milky 香を持つ成分であることが分かった。また、嗜好度に対して正の寄与を示す香気成分は、milky 香、caramel 香であり、sulfur 香と acidic/cheesy 香は負の寄与を示した。さらに、香気成分の unknown 7 と unknown 8 は、共に fatty/metallic 香の成分であるが、嗜好度への寄与の方向では unknown 7 が正、unknown 8 が負の方向に寄与した。しかし、これらの寄与方向はステップワイズ PLS-VIP の試行を繰り返すことによって変化することが観察された。これは、変数選択される品質特性パラメータ数が徐々に減少し、それに伴ってこれらのパラメータ間の相互関係も変化したためであると考えられた。他方、この過程で嗜好度への寄与を示した粘弾性パラメータのうち、凝集性は口腔内におけるサンプルの「まとまり感」を示す指標である。したがって嗜好度と凝集性において高い寄与関係が観られることから、嗜好度評価を行う際にはテクスチャの観点からは口腔内での「まとまり感」が重視されることが考えられた。

この結果から、嗜好度に対しては粘弾性パラメータよりも香気特性パラメータの方が高い寄与を示すものが多いことが分かった。つまり、嗜好度の判断には、供試サンプルの食感よりも味や香りや風味といった香気特性となじみやすい項目の方が重視される傾向があると考えられた。

VIP の上位 3 つを占めた香気成分は γ -dodecalactone、 δ -decalactone および (Z)-6-dodecen-4-olide で、いずれも香調用語の milky 香を持つ香気成分であった。香調用語に着目すると、milky 香、caramel 香は常時、嗜好度に対して正の寄与を示す傾向があり、sulfur 香と acidic/cheesy 香は負の寄与を示す傾向があった。他方で、香気成分の unknown 7 と unknown 8 は、ともに fatty/metallic 香の成分であるが、嗜好度への寄与方向では unknown 7 が正の寄与を示し、unknown 8 は負の寄与を示した。これは、ステップワイズ PLS-VIP の試行を繰り返すことによって、変数選択される品質特性パラメータ数が随時変化し、それに伴って品質特性パラメータ間の相互関係性も逐一変化したために生じた差異であると考えられた。嗜好度に寄与を示した粘弾性パラメータのうち、凝集性は人の口の中における供試サンプルのまとまり感を示す指標である。したがって嗜好度と凝集性において高い寄与関係がみられることから、嗜好度評価を行う際にはテクスチャの観点からは口の中でのまとまり感が重視されることが考えられた。

このように、粘弾性パラメータと香気成分より構成される品質特性パラメータからステップワイズ PLS-VIP によって嗜好度を高精度で予測するモデルを構築できることが分かった。このことによって、チェダーチーズの品質特性の機器計測を適切に行えば、嗜好度を予測し、事前にそのおいしさを制御するための品質特性パラメータを特定することが可能となった。

5.4.2 ANNによる品質特性と嗜好度との非線形モデリング

ANNにおいて、ステップワイズ PLS-VIP で嗜好度に対して寄与が高いとして変数選択された品質特性 14 パラメータを入力層とし、嗜好度を出力層に適用して4回モデルを構築した結果 $R^2c=0.99$ (すべて 0.99), $RMSEc=0.02$ (0.0005~0.04) および $R^2v=0.98$ (0.98~0.99), $RMSEv=0.02$ (0.01~0.03)を示すモデルを得られた。

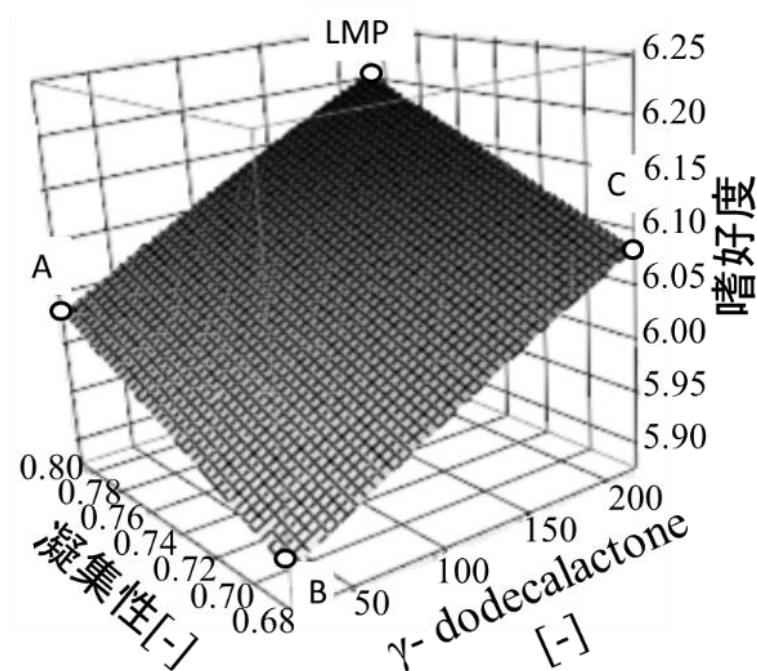


図 5-15 ANNモデリングにおける凝集性とγ-dodecalactone および嗜好度の相互関係を示す応答曲面

そのモデルのうち、まず、異なる品質属性間に生じる相互作用を観察するために香気成分γ-dodecalactoneと粘弾性パラメータの凝集性および嗜好度の相互関係を示す応答曲面を図5-15に示した。この応答曲面においてはγ-dodecalactoneが225、凝集性が0.80を示すときに嗜好度が極大値の6.20を示すことが分かった。PLS-VIPにおける嗜好度への寄与方向では、γ-dodecalactoneは正の寄与、凝集性は負の寄与を示していたが、図5-15の応答曲面中では、どちらの品質特性についてもその値が増大するほど嗜好度が増大する傾向があることが分かった。

そこで、嗜好度への寄与方向がどちらも負方向を示した品質特性パラメータ間の相互作用を観察するために、構築したANNモデルの中から、香気成分dimethyl disulfideと凝集性の組み合わせが嗜好度に及ぼす影響を示す応答曲面を選んで図5-16に示した。

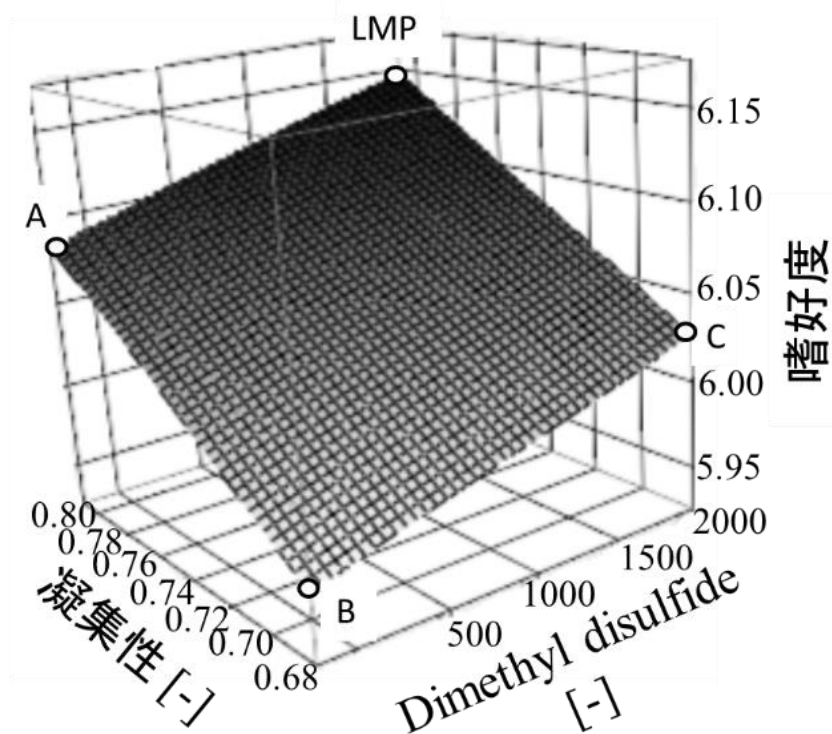


図 5-16 ANN モデリングにおける凝集性と dimethyl disulfide および嗜好度の相互関係を示す応答曲面

図5-16の極大値は、両品質パラメータの寄与方向がマイナスであっても、嗜好度へはプラス方向の効果をもたらすことを示している。すなわち、粘弾性パラメータと香気成分の組み合わせによっては、PLS-VIPで得られた嗜好度への寄与方向とは異なる相互作用を示す場合があることを確認した。また、この例のような結果が一定の法則に従って現出するとは限らず、両パラメータの選択に依存することが分かった。このことは、品質特性に関与する粘弾性と香気成分をデータセットとして、PLS-VIPとANNモデリングを組み合わせた解析により得られた結果であり、この方法の新規性と有用性を提示していると考えられた。

これらのモデリング手法によって、複数の品質属性からなる評価特性と嗜好度との相互関係をシミュレーションすることが可能となり、嗜好度の増大に寄与する品質特性を特定可能となった。このことから、このモデリング手法を活用することによって、従来、サンプルの試作と官能評価を反復して実施されてきた新商品開発の労力、時間を軽減する効果が期待される。

5.5 摘要

本章では、チェダーチーズの粘弾性特性および香気特性に関する品質評価に基づいて、嗜好度、すなわち消費者によるおいしさ評価をモデル化し、日本人のチェダーチーズに対する嗜好度の構成要因を明らかにした。具体的な成果は以下の通りである。

1. 粘弾性パラメータの適切な変数選択を行えば、チェダーチーズの嗜好度をそれらのパラメータによって ANN モデリング可能であることが分かった。
2. チェダーチーズの香りのうち、香調用語の Milky 香、Caramel 香、Floral/fruity 香を示す香気成分がおいしさの増加方向に寄与し、その一方で Fatty/metallic 香、green 香、Acidic/cheesy 香および sulfur 香がおいしさの減少方向に寄与する傾向があることが分かった。この傾向は日本人の食体験に基づいて形成されたと考えられた。
3. 香気特性と嗜好度について ANN によってシミュレーションを行うことによって、香気成分間の相互作用およびそのマスキングや増強効果などの複雑な関係性のメカニズムを応答曲面によって可視化できることを示した。
4. PLS において粘弾性パラメータ 17 項目と香気成分 43 項目の品質特性パラメータを説明変数とし、嗜好度を目的変数とした予測式を作成し、それらに対してステップワイズ PLS-VIP を適用することにより、品質特性の中でも特に嗜好度が高く寄与するパラメータが 14 項目あることを絞り込み、さらにそれらの嗜好度に対する寄与順位と寄与方向を特定した。
5. 嗜好度には粘弾性特性パラメータよりも香気成分の方が多く寄与することが分かった。これは、おいしさの評価にはそのテクスチャよりも味や香りや風味の方が重要な影響を及ぼすことを示していると考えられた。
6. ステップワイズ PLS-VIP で嗜好度に対して寄与が高いとして変数選択された品質特性 14 パラメータを入力層とし、嗜好度を出力層に適用して ANN モデルを構築することにより、従来では十分に説明がなされてこなかった機器計測による品質評価特性と嗜好度との相互関係のメカニズムを解明する手段として、PLS-VIP および ANN を連動したモデリング手法が有用であることを示した。

第6章 結論と今後の展望

本研究では、食感性工学に基づきナチュラルチーズのおいしさ評価・設計法の開発をすることを目的として、まず、日本国内においてナチュラルチーズの需要が増加傾向にある現状、チーズの品質評価手法としての官能評価、粘弾性特性試験法および香气成分分析手法に関する既往研究をレビューするとともに(第1章)、食感性工学の既往研究で用いられている手法とそれらの課題点について言及し、既存手法の融合による新しい品質評価手法として、ステップワイズ PLS-VIP 法と ANN モデリングを組み合わせた手法が、粘弾性特性と香气成分特性のように複数の品質特性が存在する食品の品質評価モデルとして有用な手法となり得る可能性を示した。

第2章では、日本人によるチェダーチーズ官能評価用語を選定し、分析型官能評価パネルによる官能評価および消費者による嗜好度調査を実施し、得られた結果をもとに、日本人によるチェダーチーズの官能評価特性とその嗜好度との関係性を考察した。予備官能評価の結果から、チェダーチーズの官能評価用語を外観属性6語、香味(香り、風味および味)属性22語、食感属性10語の計38語選定した。この評価用語38語を使用して得られた官能評価スコアに因子分析を適用した結果、6つの官能評価因子軸が得られた。この因子分析の結果から、評価用語38語はその評価属性に関わらず、6つの評価因子軸に分類されることが分かり、異なる評価属性の用語であっても同等の因子軸に分類される場合があることが分かった。PLS を用いて官能評価スコアから嗜好度を予測し、さらに、ステップワイズ PLS-VIP 法を適用することによって、5つの官能評価特性が日本人の嗜好度に対して高い寄与を示すことを明らかにした。これらの官能評価特性と嗜好度間における非線形関係について ANN を用いてモデリングし、そのモデルの範囲内において得られた官能評価特性と嗜好度との関係性を応答曲面法により可視化した。それらの応答曲面から、官能評価特性が互いに影響を及ぼし合いながら嗜好度へと複合的に寄与を示すことが分かり、個々の官能評価特性が示す嗜好度への関係とは別に、官能評価特性が複数集まった場合の嗜好度との相互関係が存在する可能性が分かった。

第3章では、チェダーチーズの粘弾性特性と官能評価スコアの間相互関係解析に基づき、高精度で評価スコアを予測するための粘弾性試験法の組み合わせを選択する方法および PLS と ANN を併用した食感評価モデルの構築方法を示した。まず、クリープ、破断およびテクスチャ試験法について、口腔内の咀嚼回数によって変化する食感と対応する試験法であるとしてその継時変化に即して分類した。その粘弾性試験法の分類に従って、粘弾性パラメータから食感属性の官能評価スコアを予測するモデルを構築するため、試験法単独またはその組み合わせによって区分された粘弾性パラメータを説明変数、食感評価スコアを目的変数とする PLS 回帰分析式を求め、その回帰分析式の中から最も高い予測精度を示す回帰式の説明変数組み合わせを特定する方法を示した。さらに、得られた粘弾性パラメータの組み合わせとそれに対応する評価スコアとの相互関係を

ANN モデリングにより、高精度にシミュレーションし、この方法の有効性を確認した。

第4章では、供試サンプルの香気分析データからその香りを構成する主要因子を抽出し、官能評価特性に対して寄与が高い香気成分を特定し、その香気成分特性と官能評価スコア間の相互関係をモデリングした。GC-O で計測した香り強度値 CV に対して因子分析を適用してチェダーチーズの総合的な香りを構成する因子が **acidic/ cheesy** 香、**caramel** 香 および **fatty/ metallic** 香であることを特定した。GC-O 分析により得られた香気成分の CV を用いて香味属性に属する 22 用語の評価スコアを予測する PLS 回帰分析では、5 つの評価スコアに関して高い精度の予測回帰式を示した。また、それらの回帰式に対してステップワイズ PLS-VIP を適用することによって、官能評価特性に対して高い寄与を持つ GC-O の香気成分およびその香調用語を特定し、変数重要度(VIP)によりその寄与度を、モデル係数(W)によりその寄与方向をそれぞれ明らかにした。さらに、評価スコアに対する寄与度が高いとした香気成分を ANN の入力層に適用することにより、香気成分間および香気成分と評価スコア間の相互関係をモデル化し、応答曲面により、それらの変動をシミュレーションすることを可能とした。

第5章では、第2、第3および第4章において明らかとしたチェダーチーズの粘弾性特性および香気成分特性の両方からなる品質評価に基づいて、消費者による嗜好度、すなわち「おいしさ」評価をモデル化、日本人のチェダーチーズに対する嗜好度の構成要因を明らかにした。粘弾性パラメータは、その試験法の組み合わせによって官能評価スコアの予測精度に差が生じるため(第3章)、嗜好度との相互関係をモデリングするためには、パラメータを適切に変数選択する必要があることが分かった。香気成分特性のうち、**Milky** 香、**Caramel** 香、**Floral/fruity** 香を示す香気成分がおいしさの増加方向に寄与し、他方、**Fatty/metallic** 香、**green** 香、**Acidic/cheesy** 香および **sulfur** 香がおいしさの減少方向に寄与することが分かった。また、香気成分特性と嗜好度の ANN モデリングから得られた応答曲面により、香気成分間の相互作用およびそれらに起因するマスキング効果や増強効果など従来は定量的に言及されることのなかった複雑な相互関係をシミュレーションすることができることを示した。最終的には、PLS 回帰分析を用いて、粘弾性パラメータと香気成分からなる品質特性を説明変数とした嗜好度を高精度で予測する回帰式を作成し、それらに対してステップワイズ PLS-VIP 法を適用することにより、異なる評価属性のパラメータを含む品質特性の中から、嗜好度に対して高い寄与を示す品質パラメータを絞り込むことに成功し、さらにそれらの嗜好度に対する寄与度と寄与方向を特定した。嗜好度へ寄与する品質パラメータの数から、嗜好度には粘弾性パラメータよりも香気成分の方が寄与を示すパラメータ数が多く、おいしさの評価にはその食感よりも味や香りや風味といったフレーバーの方が強い影響を及ぼす可能性があることが分かった。すなわち、これらの品質特性の機器計測を適切に行えば、嗜好度を予測し、事前にそのおいしさ評価をコントロールするためのテクニカルなポイントを特定可能であることが分かった。さらには、ステップワイズ PLS-VIP 法により特定した品

質特性パラメータと嗜好度との相互関係を ANN によりモデリングし、従来では十分に説明されることのなかった供試サンプルの機器計測による品質特性と嗜好度との相互関係をシミュレーション可能とし、その相互関係のメカニズムを解明する手段として、ステップワイズ PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた手法が有用であることを示した。

本研究において提唱したステップワイズ PLS-VIP と ANN モデリングを組み合わせた品質評価モデリング構築手法によって、従来から実施されてきたチェダーチーズの品質評価および設計において必要とされてきた労力やコストの軽減が期待される。また、この手法は、既存データを分析、解析するだけでなく、官能評価スコアを予測してその変動を制御するシミュレーターとしての機能もある。そのため、このような手法を用いて、機器計測による品質評価と官能評価や消費者調査による評価スコアや嗜好度のデータセット間の相互関係をモデリングすることにより、嗜好度の認知メカニズムの解釈の一助とできるだけではなく、特定の評価スコアの増強のための最適な品質設計をも実現可能となると考えられた。

本研究で提唱した品質評価モデルの構築手法によって、品質特性と官能評価特性との間の相互関係をモデリングしてシミュレーションすることが可能となった。今後は、それら相互関係が生じるメカニズムの解明を行い、品質特性間における相互作用、すなわちシナジー効果の定量分析を実現することにより、食感性工学の基底モデルである食感性モデル(図 1-8)においての「知覚の経路」を具体的に説明可能となる。そのためには、評価属性の異なる粘弾性特性と香気成分間に生じる相互作用の要因究明と官能評価にいての遠隔(視覚、嗅覚、聴覚などによる)と接触(触覚、味覚などによる)評価間の相互作用、すなわち人の五感コミュニケーション機構の解明が期待される。これらの相互関係が生じる要因、その発生機構が解明されれば、食品開発において、本研究で提唱した品質評価モデルをさらに有効に活用することが可能となり、この手法を「知覚の経路」に関わる品質評価・設計のみではなく、「認知の経路」にも拡充し、製品のマーケティングへの利用などといった定性的な利用法も提供することが可能となるものと期待される。

参考文献

- Abe K. 2008. Studies on taste: molecular biology and food science. *Biosci Biotechnol Biochem* 72:1647–1656.
- Abe K. 2009. Genomics for food functionality and palatability, food factors for health promotion. *Forum Nutr.* 61: 1-9.
- Acree TE, Barnard J, Cunningham DG. 1984. A procedure for the sensory analysis of gas chromatographic effluents. *Food Chem* 14:273–286.
- Adhikari K, Heymann H, Huff HE. 2003. Textural characteristics of lowfat, fullfat and smoked cheeses: sensory and instrumental approaches. *Food Qual Prefer* 14:211–218.
- AK MM, Gunasekaran S. 1992. Stress-strain curve analysis of cheddar cheese under uniaxial compression. *J Food Sci* 57:1078–1081.
- Akiyama M, Tatsuzaki M, Michishita T, Ichiki T, Sumi M, Ikeda M, Araki T, Sagara Y. 2011. Package design of ready-to-drink coffee beverages based on food kansei model—effects of straw and cognition terms on consumer’s pleasantness. *Food Bioprocess Technol* 5:1924–1938.
- Arai S, Yasuoka A, Abe K. 2008. Functional food science and food for specified health use policy in Japan: state of the art. *Curr Opin lipidology* 19:69–73.
- Barcenas P, Elortondo FJP, Albisu M. 2004. Projective mapping in sensory analysis of ewes milk cheeses: A study on consumers and trained panel performance. *Food Res Int* 37:723–729.
- Benjamin O, Silcock P, Kieser JA, Waddell JN, Swain M V, Everett DW. 2012. Development of a model mouth containing an artificial tongue to measure the release of volatile compounds. *Innov Food Sci & Emerg Technol* 15:96–103.
- Bhandare P, Mendelson Y, Peura RA, Janatsch G, Kruse-Jarres JD, Marbach R, Heise HM. 1993. Multivariate determination of glucose in whole blood using partial least-squares and artificial neural networks based on mid-Infrared spectroscopy. *Appl Spectrosc* 47:1214–1221.

- Bodyfelt FW, Tobias J, Trout GM. 1988. The sensory evaluation of dairy products. p. 339–342.
- Borggaard C, Thodberg HH. 1992. Optimal minimal neural interpretation of spectra. *Anal Chem* 64:545–551.
- Brown JA, Foegeding EA, Daubert CR, Drake MA, Gumpertz M. 2003. Relationships among rheological and sensorial properties of young cheeses. *J Dairy Sci* 86:3054–3067.
- Brown JD. 2009. Statistics corner questions and answers about language testing statistics: principal components analysis and exploratory Factor analysis— definitions, differences, and choices. *JALT Test Eval SIG Newsl* 13:26–30.
- Buck L, Axel R. 1991. A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. *Cell* 65:175–187.
- Bugaud C, Buchin S, Coulon J-B, Hauwuy A, Dupont D. 2001a. Influence of the nature of alpine pastures on plasmin activity, fatty acid and volatile compound composition of milk. *Lait* 81:401–414.
- Bugaud C, Buchin S, Noel Y, Tessier L, Pochet S, Martin B, Chamba JF. 2001b. Relationships between Abondance cheese texture, its composition and that of milk produced by cows grazing different types of pastures. *Lait* 81:593–607.
- Carunchia Whetstine ME, Cadwallader KR, Drake M. 2005. Characterization of aroma compounds responsible for the rosy/floral flavor in cheddar cheese. *J Agric Food Chem* 53:3126–3132.
- Carunchia Whetstine ME, Drake MA, Nelson BK, Barbano DM. 2006. Flavor profiles of full-fat and reduced-fat cheese and cheese fat made from aged cheddar with the fat removed using a novel process. *J Dairy Sci* 89:505–517.
- Chong I-G, Jun C-H. 2005. Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. *Chemom Intell Lab Syst* 78:103–112.
- Ciosek P, Brzózka Z, Wróblewski W, Martinelli E, Di Natale C, D'Amico A. 2005. Direct and two-stage data analysis procedures based on PCA, PLS-DA and ANN for ISE-based

electronic tongue-effect of supervised feature extraction. *Talanta* 67:590–596.

Coker CJ, Crawford RA, Johnston KA, Singh H, Creamer LK. 2005. Towards the classification of cheese variety and maturity on the basis of statistical analysis of proteolysis data—a review. *Int Dairy J* 15:631–643.

Donadini G, Fumi MD, Vanonili L, Porretta S. 2012. Hedonic response to cheese in preschoolers. *J Sens Stud* 27:176–187.

Drake MA, Gerard PD, Kleinhenz JP, Harper WJ. 2003. Application of an electronic nose to correlate with descriptive sensory analysis of aged Cheddar cheese. *Leb Und-Technologie-Food Sci Technol* 36:13–20.

Drake MA, Gerard PD, Truong VD, Daubert CR. 1999. Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. *J Texture Stud* 30:451–476.

Drake MA, McIngvale SC, Gerard PD, Cadwallader KR, Civille G V. 2001. Development of a descriptive language for cheddar cheese. *J Food Sci* 66:1422–1427.

Drake MA, Yates MD, Gerard PD, Delahunty CM, Sheehan EM, Turnbull RP, Dodds TM. 2005. Comparison of differences between lexicons for descriptive analysis of cheddar cheese flavour in Ireland, New Zealand, and the United States of America. *Int Dairy J* 15:473–483.

Drake SL, Gerard PD, Drake MA. 2008. Consumer preferences for mild cheddar cheese flavors. *J Food Sci* 73:S449–S455.

Drake SL, Lopetcharat K, Clark S, Kwak HS, Lee SY, Drake MA. 2009. Mapping differences in consumer perception of sharp cheddar cheese in the United States. *J Food Sci* 74:S276–S285.

Dunn WJ, Wold S, Edlund U, Hellberg S, Gasteiger J. 1984. Multivariate structure-activity relationships between data from a battery of biological tests and an ensemble of structure descriptors: The PLS method. *Quant Struct Relationships* 3:131–137.

Engel W, Bahr W, Schieberle P. 1999. Solvent assisted flavour evaporation – a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices. *Eur Food Res Technol* 209:237–241.

- Ercan D, Korel F, Karagül Yüceer Y, Kınık Ö. 2011. Physicochemical, textural, volatile, and sensory profiles of traditional Sepet cheese. *J Dairy Sci* 94:4300–4312.
- Everett DW, Auty MAE. 2008. Cheese structure and current methods of analysis. *Int Dairy J* 18:759–773.
- Ferreira V. 2012a. Revisiting psychophysical work on the quantitative and qualitative odour properties of simple odour mixtures: a flavour chemistry view. Part 1: intensity and detectability. A review. *Flavour Fragr J* 27:124–140.
- Ferreira V. 2012b. Revisiting psychophysical work on the quantitative and qualitative odour properties of simple odour mixtures: a flavour chemistry view. Part 2: qualitative aspects. A review. *Flavour Fragr J* 27:201–215.
- Foegeding EA, Drake MA. 2007. Invited review: sensory and mechanical properties of cheese texture. *J Dairy Sci* 90:1611–1624.
- Fox PF, Cogan TM. 2004. Factors that affect the quality of cheese. In: Fox PF, McSweeney PLH, Cogan TM, Timothy PG (eds) *Cheese Chem. Phys. Microbiol.* Academic Press, pp 583–608
- Fox PF, Singh TK, McSweeney PL. 1995. Biogenesis of flavour compounds in cheese. *Adv Exp Med Biol* 367:59–98.
- Fukushima M, Taneya S, Sone T. 1964. Viscoelasticity of cheese. *J Soc Mater Sci Japan* 13:331–335.
- Geladi P. 1988. Notes on the history and nature of partial least squares (PLS) modelling. *J Chemom* 2:231–246.
- Goyal S. 2012. Artificial neural networks for dairy industry: a review. *J Adv Comput Sci Technol* 1:101–115.
- Goyal S. 2013. Artificial neural networks (ANNs) in food science – A review. *Int J Sci World* 1:19–28.
- Hernandez-Morales C, Hernandez-Montes A, Aguirre-Mandujano E, De Gante A V. 2010.

- Physicochemical, microbiological, textural and sensory characterisation of Mexican Anejo cheese. *Int J Dairy Technol* 63:552–560.
- Hough G, Califano AN, Bertola NC, Bevilacqua AE, Martinez E, Vega MJ, Zaritzky NE. 1996. Partial least squares correlations between sensory and instrumental measurements of flavor and texture for Reggianito grating cheese. *Food Qual Prefer* 7:47–53.
- Ikeda G, Nagai H, Sagara Y. 2004. Development of food kansei model and its application for designing tastes and flavors of green tea beverage. *Food Sci Technol Res* 10:396–404.
- Ikeda G, Tomizawa A, Imayoshi Y, Iwabuchi H, Hinata T, Sagara Y. 2006. Flavor design of sesame-flavored dressing using gas chromatography/ olfactometry and food kansei model. *Food Sci Technol Res* 261–269.
- ISO 11035:1994.1994. Sensory analysis- Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach.
- ISO22935-2-IDF99-2. 2009. Milk and milk products–Sensory analysis–Part 2: Recommended methods for sensory evaluation.
- Jack FR, Piggott J, Paterson A. 1993. Relationships between electromyography, sensory and instrumental measures of cheddar cheese texture. *J Food Sci* 58:1313–1317.
- Jack FR, Piggott JR, Paterson A. 1995. Cheddar cheese texture related to salt release during chewing, measured by conductivity-Preliminary Study. *J Food Sci* 60:213–217.
- Jaros D, Ginzinger W, Tschager E, Mayer HK, Rohm H. 1997. Effects of water addition on composition and fracture properties of Emmental cheese. *Lait* 77:467–477.
- Jun C-H. 2009. Use of partial least squares regression for variable selection and quality prediction. 2009 Int. Conf. Comput. Ind. Eng. IEEE, pp 1302–1307
- Kaneko S, Kumazawa K, Nishimura O. 2012. Comparison of key aroma compounds in five different types of Japanese soy sauces by aroma extract dilution analysis (AEDA). *J Agric Food Chem* 60:3831–3836.
- Karoui R, Pillonel L, Schaller E, Bosset J-O, De Baerdemaeker J. 2007. Prediction of sensory

- attributes of European Emmental cheese using near-infrared spectroscopy: A feasibility study. *Food Chem* 101:1121–1129.
- Kim MK, Drake SL, Drake MA. 2011. Evaluation of key flavor compounds in reduced- and full-fat cheddar cheese using sensory studies on model systems. *J Sens Stud* 26:278–290.
- Kosikowski FV, Mocquot G. 1958. Advances in cheese technology. *FAO agric stud Nr 38 Rome, Italy: Food and Agriculture Organization*.15.
- Lamparski G, Tobota G, Troszyn'ska A, Fornal J, Śmietana Z. 2006. Sensory quality of commercial full fat and reduced fat cheeses. X Int. Sci. Conf. Adv. Technol. Eng. Anal. Manag. Dairy Ind. Olsztyn, Poland; 9-10 Febr. 2006. Division of Food Science, Institute of Animal Reproduction and Food Research of Polish Academy of Sciences, pp 119–123
- Lebecque A, Laguet A, Devaux MF, Dufour E. 2001. Delineation of the texture of salers cheese by sensory analysis and physical methods. *Lait* 81:609–624.
- Lee BH, Laleye LC, Simard RE, Holley RA, Emmons DB, Giroux RN. 1990. Influence of homofermentative lactobacilli on physicochemical and sensory properties of cheddar cheese. *J Food Sci* 55:386–390.
- Leland J V., Schieberle P, Buettner A, Acree TE. 1999. Gas chromatography - olfactometry : the state of the art. ACS Symp. Ser. New Orleans LA, August
- Lemieux L, Puchades R, Simardre RE. 1989. Size-exclusion HPLC separation of bitter and astringent fractions from cheddar cheese made with added lactobacillus strains to accelerate ripening. *J Food Sci* 54:1234–1237.
- Lemieux L, Simard RE. 1994. Astringency, a textural defect in dairy products. *Lait* 74:217–240.
- Lucey JA, Mishra R, Hassan A, Johnson ME. 2005. Rheological and calcium equilibrium changes during the ripening of Cheddar cheese. *Int Dairy J* 15:645–653.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan). 2013. Supply and demand table of cheese. <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/gyunyu/lin/pdf/24cheese.pdf> (Accessed on March 3, 2014)
- Martin N, Berger C, Spinnler HE. 2002. Sensory and instrumental flavor analyses of cheese curd

- cocultured with selected yeast and bacteria. *J Sens Stud* 17:1–17.
- Mcewan JA, Moore JD, Colwill JS. 1989. The sensory characteristics of Cheddar cheese and their relationship with acceptability. *Int J Dairy Technol* 42:112–117.
- McGorrin RJ. 2001. Food flavors and chemistry: advances of the new millennium. Proc. 10th Int. flavor Conf. held 4 -7 July 2000 Paros, Greece
- Meilgaard M, Civille GC, Carr BT. 1999. Selection and training of panel members sensory evaluation techniques, third ed.
- Michishita T, Akiyama M, Hirano Y, Ikeda M, Sagara Y, Araki T. 2010. Gas chromatography/olfactometry and electronic nose analyses of retronasal aroma of espresso and correlation with sensory evaluation by an artificial neural network. *J Food Sci* 75:S477–489.
- Milo C, Reineccius GA. 1997. Identification and quantification of potent odorants in regular-fat and low-fat mild cheddar cheese. *J Agric Food Chem* 45:3590–3594.
- Mohsenin NN. 1970. Physical properties of plant and animal materials Vol.1. 88–382.
- Morgan ME. 1976. The chemistry of some microbially induced flavor defects in milk and dairy foods. *Biotechnol Bioeng* 18:953–965.
- Muir DD, Banks JM, Hunter EA. 1997. A comparison of the flavour and texture of Cheddar cheese of factory or farmhouse origin. *Int Dairy J* 7:479–485.
- Muir DD, Hunter EA. 1991. Sensory evaluation of Cheddar cheese: Order of tasting and carryover effects. *Food Qual Prefer* 3:141–145.
- Mulder H. 1952. Taste and flavor –forming substances in cheese. *Neth Milk Dairy J.* 6, 157-167.
- Murray JM, Delahunty CM. 2000a. Selection of standards to reference terms in a cheddar-type cheese flavor language. *J Sens Stud* 15:179–199.
- Murray JM, Delahunty CM. 2000b. MappinGC-Onsumer preference for the sensory and

- packaging attributes of Cheddar cheese. *Food Qual Prefer* 11:419–435.
- O’Riordan PJ, Delahunty CM. 2003. Characterisation of commercial Cheddar cheese flavour. 1: traditional and electronic nose approach to quality assessment and market classification. *Int Dairy J* 13:355–370.
- Ochi H, Naito H, Iwatsuki K, Bamba T, Fukusaki E. 2012. 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.
- Onishi M, Inoue M, Araki T, Iwabuchi H, Sagara Y. 2011. Odorant transfer characteristics of white bread during baking. *Biosci Biotechnol Biochem* 75:261–267.
- Pariment T, McGorin R. 2000. Critical flavor compounds in dairy products:44–71. Risch s, Ho c. (eds) american Chemical Society. Washington, DC.
- Pripp AH, Skeie S, Isaksson T, Borge GI, Sorhaug T. 2006. Multivariate modelling of relationships between proteolysis and sensory quality of Prast cheese. *Int Dairy J* 16:225–235.
- Revilla I, Luruena-Martinez MA, Vivar-Quintana AM. 2009. Influence of somatic cell counts and breed on physico-chemical and sensory characteristics of hard ewes’-milk cheeses. *J Dairy Res* 76:283–289.
- Rosipal R, Krämer N. 2006. Overview and recent advances in Partial least squares. Subspace, latent structure and feature selection. *Lecture Notes in Computer Science* 3940: 34-51.
- Routray W, Mishra HN. 2011. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 10:208–220.
- Roy K, Pratim Roy P. 2009. Comparative chemometric modeling of cytochrome 3A4 inhibitory activity of structurally diverse compounds using stepwise MLR, FA-MLR, PLS, GFA, G/PLS and ANN techniques. *Eur J Med Chem* 44:2913–2922.
- Ryan D, Prenzler PD, Saliba AJ, Scollary GR. 2008. The significance of low impact odorants in

- global odour perception. *Trends Food Sci Technol* 19:383–389.
- Santillo A, Caroprese M, Ruggieri D, Marino R, Sevi A, Albenzio M. 2012. Consumer acceptance and sensory evaluation of Monti Dauni Meridionali Caciocavallo cheese. *J Dairy Sci* 95:4203–4208.
- Saurina J. 2010. Characterization of wines using GC-Compositional profiles and chemometrics. *TrAC Trends Anal Chem* 29:234–245.
- Shibata M, Araki T, Sagara Y. 2008. Development of specified protocols and methodology in the application of food kansei model for the optimal design of danish pastry. *Food Sci Technol Res* 14:367–376.
- Singh TK, Drake MA, Cadwallader KR. 2003. Flavor of cheddar cheese: a chemical and sensory perspective. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2:166–189.
- Steinhaus P, Schieberle P. 2007. Characterization of the key aroma compounds in soy sauce using approaches of molecular sensory science. *J Agric Food Chem* 55:6262–6269.
- Stokes JR, Boehm MW, Baier SK. 2013. Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. *Curr Opin Colloid Interface Sci* 18:349–359.
- Sundaram G. 2008. 19 - Quality evaluation of cheese. In: Da-Wen S (ed) *Comput. Vis. Technol. Food Qual. Eval.* Academic Press, Amsterdam, pp 447–479
- Suriyaphan O, Drake M, Chen XQ, Cadwallader KR. 2001. Characteristic aroma components of British farmhouse cheddar cheese. *J Agric Food Chem* 49:1382–1387.
- Thomsen M, Martin C, Mercier F, Tournayre P, Berdagué J-L, Thomas-Danguin T, Guichard E. 2012. Investigating semi-hard cheese aroma: Relationship between sensory profiles and gas chromatography-olfactometry data. *Int Dairy J* 26:41–49.
- Ueda R, Araki T, Sagara Y, Ikeda G, Sano C. 2008. Modified food kansei model to integrate differences in personal attributes between in-house expert sensory assessors and consumer panels. *Food Sci Technol Res* 14:445–456.
- Wang C-Y, Chen C-T, Chiang C-P, Young S-T, Chow S-N, Chiang HK. 1999. A probability-based

- multivariate statistical algorithm for autofluorescence spectroscopic identification of oral carcinogenesis. *Photochem Photobiol* 69:471–477.
- Wang C-Y, Tsai T, Chen H-M, Chen C-T, Chiang C-P. 2003. PLS-ANN based classification model for oral submucous fibrosis and oral carcinogenesis. *Lasers Surg Med* 32:318–326.
- Wang H-H, Sun D-W. 2001. Evaluation of the functional properties of Cheddar Cheese using a computer vision method. *J Food Eng* 49:49–53.
- Wilkinson C, Yuksel D. 1997. Using artificial neural networks to develop prediction models for sensory-instrumental relationships; an overview. *Food Qual Prefer* 8:439–445.
- Wium H, Qvist KB, Gross M. 1997. Uniaxial compression of UF-feta cheese related to sensory texture analysis. *J Texture Stud* 28:455–476.
- Wold S, Sjöström M, Eriksson L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemom Intell Lab Syst* 58:109–130.
- Wouters JTM, Huppertz T, Thomsen M, Martin C, Mercier F, Tournayre P, Berdagué J-L, Thomas-Danguin T, Guichard E. 2012. Investigating semi-hard cheese aroma: Relationship between sensory profiles and gas chromatography-olfactometry data. *Int Dairy J* 26:41–49.
- Zehentbauer G, Reineccius GA. 2002. Determination of key aroma components of Cheddar cheese using dynamic headspace dilution assay. *Flavour Fragr J* 17:300–305.
- 荒井威吉, 玉木民子, 海津夕希子. 2010. 数種類のチーズの官能評価における消費者の嗜好傾向について. *新潟青陵大学短期大学部研究報告* 40: 27-35.
- 池上翔馬. 2011. 溶融塩の配合割合と溶融時間がプロセスチーズの粘弾性に与える影響評価. 東京大学修士論文
- 池田岳郎, 日置真由美, 永井元, 相良泰行. 2003. ビター系嗜好飲料に対する食感性モデリングの検討. *日本味と匂い学会誌* 10: 769 - 772.
- 井筒雅, 野口洋介. 1984. チーズの物性と調理. *調理科学*. *日本調理科学会* 17(2): 55-62.
- 上田玲子. 2009. 食感性工学に基づく新食品開発のための官能評価手法の開発に関する

研究, 東京大学博士論文

往住彰文. 1994. 感情の計算モデル, 岩波講座 認知科学 6 情動, 岩波書店, 143-172.

川喜田二郎. 1984. 発想法[KJ法]とデザイン, デザイン学研究, 日本デザイン学会 46(9).

川島博之. 2009. 世界の食料生産とバイオマスイエネルギー-2050年の展望-. 農業経済研究 81(2): 49-59.

川橋誠之. 2007. 食嗜好評価に基づく機能性サラダドレッシングの香味設計法, 東京大学修士論文

相良泰行. 1994. 食嗜好の計測・評価と先端技術-食品感性工学の提唱-. 日本食品工業学会誌 41: 456 - 466.

相良泰行編. 1999a. 食品感性工学. 朝倉書店. 東京.

相良泰行. 1999b. 食品感性工学の提唱. 日本官能評価学会誌 3: 87 - 95.

相良泰行. 2001. おいしさを探る感性工学. 日本味と匂い学会誌 8: 153 - 159.

相良泰行. 2002. 食品感性工学の理念と展開. 月刊フードケミカル 2: 38-44.

相良泰行. 2009a. 食感性モデルによる「おいしさ」の評価法. 日本食品科学工学会誌 56 (6): 327 - 325.

相良泰行. 2009b. 食感性工学のパラダイムと展望. 日本食品科学工学会誌 56 (6): 309 - 316.

相良泰行. 2009c. 味と香りの感性計測システム. 日本食品科学工学会誌 56(8): 429 - 443.

熟成 豊かなるスローフードの世界. おいしさの科学シリーズ Vol. 2. 『おいしさの科学』企画委員会. 株式会社エヌ・ティー・エス. 2011年12月22日発行.

東原和成. 2004. におい受容体の分子メカニズム: 嗅覚受容体が担う匂い識別の分子基盤. 生物物理 44(1): 26-31.

- 長町三生. 1989. 感性工学-感性をデザインに生かすテクノロジー. 海文堂出版. 東京.
- 並木健二. 2010. 特集国産ナチュラルチーズの振興を考える 国産ナチュラルチーズに対する期待の背景. *酪農ジャーナル* 63(7): 12-20.
- 日本工業標準調査会. 2004. JIS Z9080 官能評価分析 - 方法. 日本規格協会.
- 橋本淳樹, 田中 豊. 2010. PLS 回帰におけるモデル選択. *アカデミア. 情報理工学編* 10: 39-49.
- 早川文代, 井奥加奈, 阿久澤さゆり, 齋藤昌義, 西成勝好, 山野善正, 神山かおる. 2005. 日本語テクスチャー用語の収集. *日本食品科学工学会誌* 52 (8): 337-346.
- 古川秀子, 上田玲子. 2012. 続 おいしさを測る 食品開発と官能評価. 幸書房
- 若林勝史. 2007. 工房製ナチュラルチーズに対する消費者意識と販売戦略. 消費者行動とフードシステムの新展開. *農林統計協会*: 55-69.
- 若林勝史. 2010. ナチュラルチーズ消費における習慣形成効果動学的需要関数分析によるアプローチ. *農業経済研究* 82(1): 1-10.

謝辞

本研究を行うにあたり、指導教員および主査を引き受けてくださった東京大学大学院農学生命科学研究科 荒木徹也 准教授に深く感謝いたします。荒木先生には、研究指導、特に、科学技術英語の書き方、そして論文だけではなく研究全体の構成を見通すことの重要性について、本当に基礎の基礎から指導頂きました。本論文をはじめとして、すべての論文原稿に関して、丁寧に添削をしていただき、そしていつも大変有益な助言を与えてくださいました。学生期間を修了してからは自立して論文を書くことができるようにと、どんなに無茶苦茶な原稿をお見せしても懇切丁寧に何度もご指導を頂くことができたことには、いくら感謝してもしきれません。荒木先生の存在無くして、修士課程からの5年間で研究をまとめあげることはできませんでした。本当に心から深く感謝申し上げます。

本論文の副査を快く引き受けてくださいました、東京大学大学院 農学生命科学研究科 鍋谷浩志 教授に深く感謝いたします。鍋谷先生の常に明るく、そして丁寧に謙虚な物腰にいつも勉強させていただきました。また、研究においても常に社会的意義を意識して取り組めるようになったのは、鍋谷先生にご指摘を頂けたからです。本当に深く感謝申し上げます。

本論文の副査を快く引き受けてくださいました、東京大学大学院 農学生命科学研究科 鈴木宣弘 教授に深く感謝いたします。本論文においての社会的意義を考える上で、重要なご指摘を多数頂戴致しました。心より感謝申し上げます。

本論文の副査を快く引き受けてくださいました、(社)食感性コミュニケーションズ 上田玲子 博士に深く感謝いたします。上田先生には、修士課程からの5年間に渡り、官能評価の実践的技術を間近で体感する機会を幾度無く頂くことができました。本当に貴重な体験をさせていただき大変光栄です。心より深く感謝申し上げます。

本論文の副査を快く引き受けていただき、修士課程からの5年間、生活面、学習面の全般に渡り多大な時間を費やしていただきました、(社)食感性コミュニケーションズ 相良泰行 理事長に深く感謝いたします。国際情報農学研究室に伝統的に脈々と受け継がれる研究者としての姿勢だけではなく、社会人として自立した人間としてのあり方を折に触れて教えてくださり、ときに本当の父のように粘り強く指導していただきました。学問に対する真摯な心について、幸運にも直接指導していただけたことを大変光栄に思います。

折に触れて励ましのお言葉を下さり、そして気持ちを鼓舞してくださった、東京大学大学院 農学生命科学研究科 溝口勝 教授、土居良一 助教、林直樹 特任助教に深く感謝いたします。

共同研究者として、実験試料や機器分析データの取得にご尽力頂きました、森永乳業

株式会社 越智浩 様、小石原洋 様、住正宏 様、岳上美紗子 様、第4開発部の皆さん、そして大学院時代の先輩でもある 池上翔馬 様に深く感謝いたします。

香気成分分析にご尽力頂きました、三栄源エフ・エフ・アイ株式会社 今吉有理子 様、徳野勝也 様 に深く感謝いたします。

食感性工学を研究された先輩として、東京海洋大学 柴田真理朗 助教に深く感謝いたします。研究面、生活面そして精神面で幾度となく、柴田氏には相談を聞いていただくことができ、悩んだ際には助けていただきました。また、何度も PLS と ANN について相談させていただき、その度にわざわざ時間を割いて丁寧に指導していただきました。心より深く感謝いたします。

荒木研究室の博士課程の先輩としてまた数少ない女性の先輩としていつも優しく話を聞いてくださった、(独)農研機構 食品総合研究所 粉川美踏 博士に深く感謝いたします。どんな相談事をしていても研究室でもプライベートでも、粉川氏が常に前向きなアドバイスを下さったおかげで、ひどく落ち込むこともなく頑張り抜くことができました。本当に深く心より感謝申し上げます。

大学院生活5年間を通して常に私を励まし、応援し、支え続けてくれた 農学国際専攻の同輩のみなさん、三枝万人 氏をはじめとする心友のみなさんに心から深く感謝いたします。

共に博士論文を執筆し何度も励まし合った仲間である、シースタム・マリカ 氏、佐々木俊介 氏に深く感謝いたします。

そして楽しい研究室生活を提供してくれた東京大学大学院 国際情報農学研究室の後輩の皆さんに、心から深く感謝いたします。

本論文を構成する研究は、以上の多くの方々のご支援、ご協力のもとに実施されたものであり、本論文は、その研究成果を代表して纏めたものであることをここに記し、改めて関係者の皆さんに深甚なる謝意を表します。

最後に、博士課程進学のかっかけを与えてくれた父に感謝し、そして常に心の支えとなり応援し続けてくれた家族に感謝します。

2014年12月 守田 愛梨