

10. 食感性モデルによる品質評価と設計法 (その1)

池田 岳郎* Gakuro IKEDA 相良 泰行* Yasuyuki SAGARA

1. はじめに

前号の当講座では、ヒトが感じる「おいしさ」のメカニズムを明らかにするための数理モデルとして、「食感性モデル」を提唱して解説した。このモデルでは、食べ物の成分や情報がヒトの感情変化、特においしさを生起させるのに関与する要因として、知覚・嗜好および認知・記憶を特定し、これらの要因自体の機能と要因間の相互関連性を経路として示した。また、これらを定量化するために経路ごとの「感性変数と関数」を提唱した。

今回は食感性モデルの有用性を実証するために、食品産業の変革や市場創生と拡大のために要望されている消費者起点工学および生産 (Consumer-oriented Engineering and Production) のツールとして利用した例について述べる。具体的には、消費者の感性を考慮した緑茶飲料の設計手法とリングのテクスチャ評価法について解説する。

2. 緑茶飲料の設計手法¹⁾

無糖茶飲料市場において、消費者嗜好の推移を把握し、香味設計に反映させることは市場の創出・拡大と販売高の向上を促進するのに不可欠の開発努力といえる。ここに示した食感性モデリングの例では、まず図1に示すように、製品情報と認知の影響はないものとし、成分と知覚、および知覚・嗜好とおいしさの関数を求めることにした。次に当該年およびある地域における消費者の緑茶

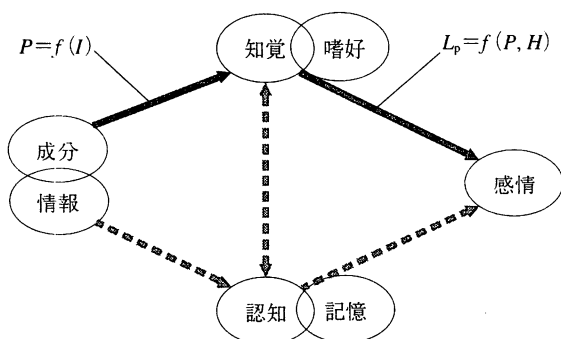


図1 解析対象経路

飲料に対する感性を明らかにし、最終的にはシミュレーションによりターゲットとする消費者の嗜好特性に適合する香味仕様を明らかにした。

2.1 機器分析および官能評価

複数の成分配合割合を調製した緑茶飲料試作品8サンプルについて、2002年4月に一般パネル240名を対象に7点尺度による官能評価を実施し、各サンプルの香味およびおいしさに関する評価データを入手した。パネル240名の内訳は、女子高・女子大生、20~30代OLおよび20~50代社会人男性がそれぞれ80名であった。またGCおよびHPLCを用いた機器分析を行い、香气成分および呈味成分量を測定した。

2.2 知覚因子の導出

緑茶飲料について知覚される因子を明らかにするため、17項目の官能評価データに因子分析を適用した。相関係数行列から求まる主成分について、固有値が1より大きい成分の数を共通因子数と定め、バリマックス法による因子軸の回転を行ったのち、因子得点の推定値を算出した。その結果、4つの独立な知覚因子が抽出され、寄与率はそれぞれ19.7%、23.8%、14.1%および10.4%であった。これらの寄与率の合計は68%であり、このことは抽出された4つの知覚因子により、緑茶香味特性の約70%が評価されることを示している。

これらの結果は、パネルが緑茶の香味に対して評価した特性を、たとえば「香ばしさ」「すっきり感」といったような4つの用語でおおよそ評価し得ることを示している。また、香味設計の面では、販売戦略の観点からターゲットとすべき消費者の嗜好度に対応して、これらの知覚因子に関連する成分の濃度調整や新成分の添加により、消費者の嗜好に適合した香味仕様を設計することが可能となることを意味している。このような香味設計法を実現するためには、次項に示すように、これらの知覚

* 東京大学 大学院農学生命科学研究科 農学国際専攻
Dept. of Global Agricultural Sciences, Graduate School of Life and Agricultural Sciences, The University of Tokyo
原稿受理 2003年11月2日

因子と嗜好度，すなわち総合的な「おいしさの程度」との関係を示す感性関数を求める必要がある。

2.3 知覚因子と嗜好度の関連性

これまで述べた方法により抽出された4つの知覚因子は香味特性を評価するのに有用な指標ではあるが，これらの因子の嗜好度に対する寄与の度合，すなわち影響度に関する定量的指標は不明である。知覚因子の嗜好度に対するプライオリティを定量的に明らかにするためには，両者間の感性関数を求め，得られた関数からそれぞれの因子の寄与度を決定する必要がある。

ここでは4つの知覚因子と嗜好度との関係が線形であると仮定し，感性関数が重回帰分析により近似できるものと考えた。得られた関数の決定係数は0.53，標準誤差は0.75であった。また，偏回帰係数の推定値から，嗜好度に対して第1因子は，ほかの3つの因子に比べて，約2倍の寄与度を有することが明らかとなった。

これまでの段階では香味特性の約70%を評価できる知覚因子を抽出し，それらの嗜好度に対する寄与度を定量的に評価する感性関数が得られたことになる。すなわち，香味設計に当たって検討すべき知覚因子のプライオリティが定量的指標として明らかにされたことになる。しかし，このプライオリティに従って，具体的に知覚因子を操作するためには，次に述べるように知覚因子と操作要因である香味成分との感性関数を求める必要がある。

2.4 香味成分と知覚因子の関連性

機器計測により量化された香味成分の濃度と知覚因子との関係については，従来の研究により非線形の関係が想定されるため，図2に示すニューラルネットワーク(Artificial Neural Network: ANN)モデルを用いて両者の関係を近似した。ANNはヒトの脳内に存在する神経回路網の機能を模倣した数理モデルであり，多変量の入出力データセットの間に存在する非線形関数関係を近似するのに有用なモデルとして知られている。また，解析結果は応答曲面として表示することが可能である。しかしながら，モデルの構造設定や操作法に不確定要素が含まれるため，このモデルの近似精度を常に評価する必要がある。本節の課題についてANNモデルを適用した結果，知覚4因子すべてについて，決定係数0.99以上，標準誤差は0.03以下の精度で近似が可能であり，特に焙香成分の増加が第1因子の増加に寄与することが明らかとなった。

これまでの結果より，香味成分濃度

と知覚因子の間には，非線形関数が存在することが確認され，香味成分濃度と知覚因子の相互関連性を定量的に検討することが可能となった。しかし，販売戦略上ターゲットとすべき消費者群の嗜好特性に適合した緑茶飲料を製造するための成分配合を決定するためには，これまでに得られた嗜好度-知覚因子-成分濃度の関係を示す感性関数を用いて最適配合を探索する必要がある。この探索の手法としては，次節に示すように，香味成分濃度を操作して，最適な嗜好度を予測するシミュレーション法が有用と考えられた。

2.5 最適配合の探索

官能評価用のサンプルを調製した濃度範囲において，成分量を変化させたときの知覚因子および嗜好度を，得られた感性関数を用いて予測することにより，もっとも高い嗜好度を与える成分の組み合わせを探索した。その結果，焙香成分を多く配合することにより，第1因子が増加し，嗜好度の高い茶飲料が調製されることが予測された。

また，消費者の社会的な属性による嗜好の相違を考慮し，女子高・女子大生，20～30代OLおよび20～50代社会人男性の3つの社会属性ごとに一連の解析法を適用することにより，それぞれの社会属性を有する消費者に

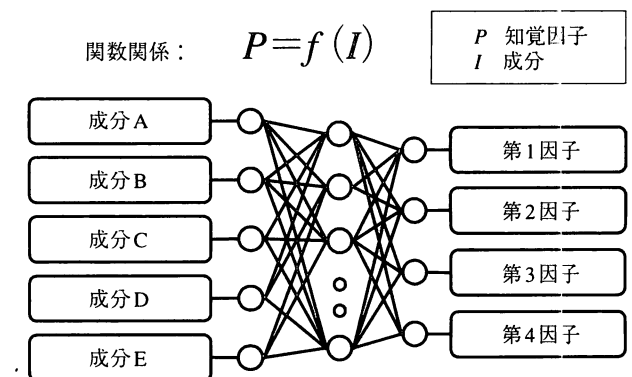


図2 ANNモデルによる解析例

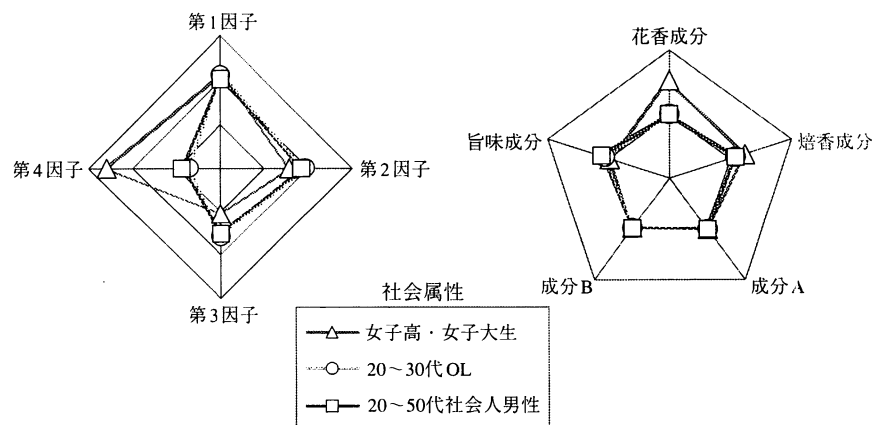


図3 社会属性ごとの最適設計

最適な茶飲料の香味成分の配合法を検討した。その結果、図3に示すとおり女子高・女子大生には、花香と焙香成分を多く配合し、甘みを感じさせる設計が望ましく、また20～30代OLおよび20～50代社会人男性には旨味成分を多く配合し、味の濃さを感じさせる設計が望ましいことがわかった。

このように食感性モデリングは、対象とする食品について、現在の消費者の知覚・嗜好と成分の関連性を定量的に明らかにし、香味設計の方向性に示唆を与えるのみならず、当該製品の販売戦略およびプロダクトマネジメントに利用可能なデータを提供する手法であるといえる。

3. 非破壊テクスチャ評価システム

現在、我が国の共同選別包装施設では、近赤外分光法を利用した光糖酸度センサにより果物の糖度と酸度の測定が可能となっている。しかし、テクスチャや官能評価スコアの予測は行われておらず、その実用化が望まれている。ここで紹介する研究の目的は、リンゴを供試材料に用い、近赤外分光分析の結果に基づき予測したリンゴの物理化学的パラメータから官能評価スコアを予測する「非破壊テクスチャ評価システム」を開発することにある。

3.1 計測・評価法の概要

供試材料には青森県産のサンフジを用いた。その等級は秀・優・良の3等級、階級はLL・L・Mの3階級で、これらの果実を最長60日間室温に放置して鮮度・品質を劣化させた。この過程で、力学的物性試験としてクリープメータによる破断およびクリープ試験、近赤外スペクトルと特定波長による吸光度の測定および果汁成分含量として糖度・酸度・含水率を測定した。

図4に示すように、試料は近赤外分光分析を行った個体の片側1/2を物性試験および成分含量測定に用い、残り1/2を官能評価に用いた。また、物性試験には直径7mm、厚さ5mmの円柱状試料を供試した。近赤外分光分析では、図5に示すように、暗箱中でリンゴ個体を光ファイバースコープ上に乗せ、波長帯400～1100nmの範囲で拡散反射法により吸光スペクトルを測定した。これらの測定に用いた試料は52個で、温度による測定誤差を避けるため、あらかじめ20℃の恒温室に24時間放置して品温を一定に調整した。

破断試験は圧縮速度0.5mm/sで行い、破断荷重、破断歪、破断エネルギーなどの値を推算した。他方、クリープ試験は初期荷重1N、加重・除重時間をそれぞれ60sに

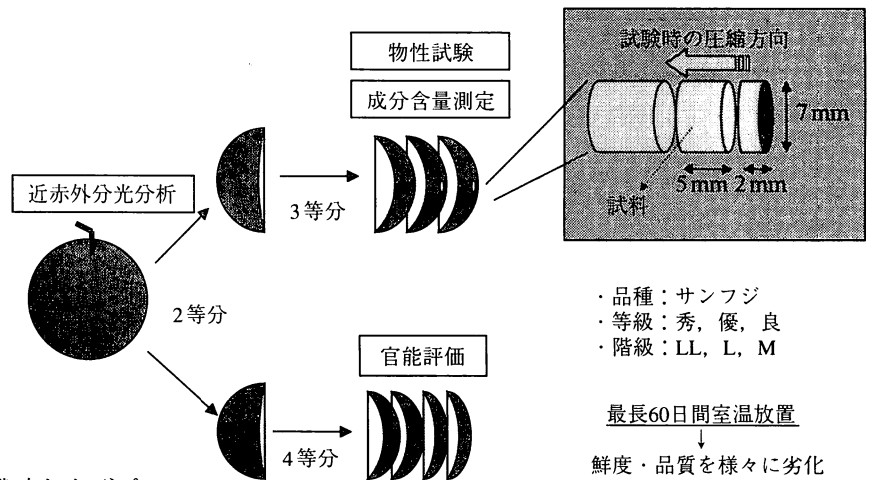


図4 試料の用途別分割法

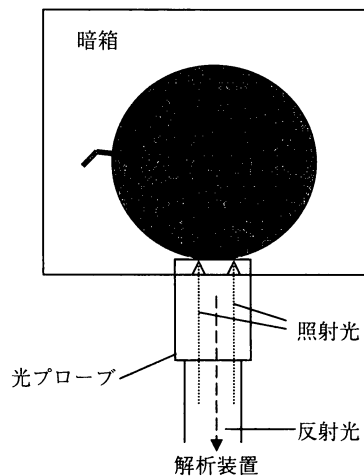


図5 リンゴの近赤外スペクトル測定法

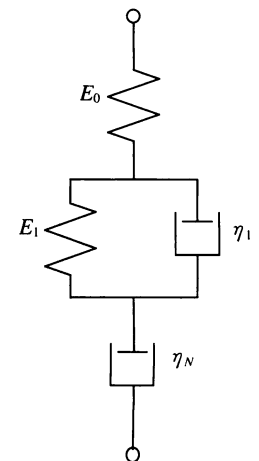


図6 4要素フォークト粘弾性モデル

設定して行い、得られたクリープ曲線に4要素フォークトモデル(図6)を適用して弾性率 E 、粘性率 η および遅延時間を算出した。

官能評価試験は「かたさ」、咀嚼時の歯切れの良さを表わす「シャリシャリ感」および嗜好度を評価する「おいしさ」の3項目につき訓練パネルによる7点法で評価した。

3.2 モデリングの方法

物性試験と成分含量測定結果、すなわち機器測定データから官能評価スコアを予測するために、重回帰およびANNモデルを適用し、両者の予測精度を比較した。他方、近赤外分光分析の結果から機器測定結果を予測するのに、重回帰モデルを用いた。図7は重回帰モデルを用いて「おいしさ」の官能評価スコアを予測した例である。図中に示すように、相関係数0.54の検量線が得られ、そ

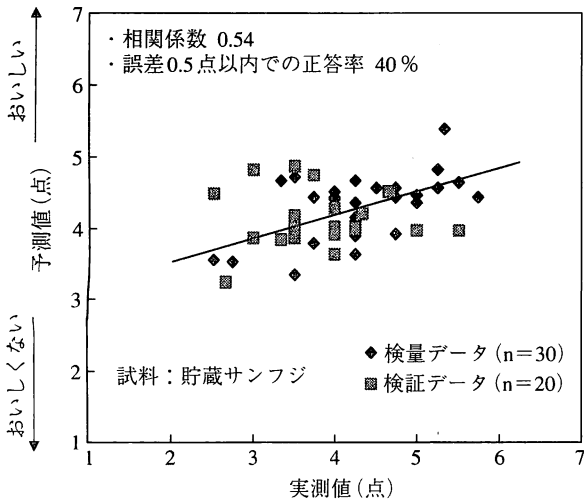


図7 重回帰モデルによる「おいしさ」の予測

の予測精度は誤差0.5点以内の正答率が40%であることがわかった。この検量線による予測では、スコア実測値の大小に関わらず予測値が4点前後に集中する傾向が見られ、非線形関係を近似する予測モデルとしては不適当であると判断された。

そこで、図8に示すような入力層11、中間層3、出力層3の階層構造を有するANNモデルによる予測を試みた。入力層は力学特性、粘弾特性および成分に関するすべてのパラメータを含み、これらのパラメータから「かたさ」「シャリシャリ感」および「おいしさ」のスコアを同時に出力する構造となっている。本モデルの中間素子数は3であり、この数は最も精度の高い学習と予測を行うことができる数として選択した。図9にこのモデルによる「かたさ」の予測結果を示す。図中に示すように、誤差0.5点以内における正答率は「かたさ」で71.4%、「シャリシャリ感」および「総合評価」で57.1%となり、ANNモデルは重回帰モデルと比較して格段に精度良く予測できることがわかった。これらの結果より、ANNモデルをリンゴのテクスチャに関する「感性評価モデル」として採用することにした。

3.3 入力パラメータの選択と影響度

学習後のANN中間層に示される荷重積和は、個々の入力パラメータの出力パラメータに及ぼす影響度を判定する指標として利用できる。この荷重積和について調べた結果、官能評価スコアに対して特に大きな影響をおよぼすパラメータとして、弾性率 E_0 、糖度、酸度および含水率の合計4パラメータが抽出された。

「かたさ」を例にとると弾性率 E_0 と酸度は正の値を、糖度と含水率は負の値を示すことがわかり、これらの値の増減により、「かたさ」は変化すると考えられた。この結果より、ヒトが感じるかたさに影響を及ぼすパラメ

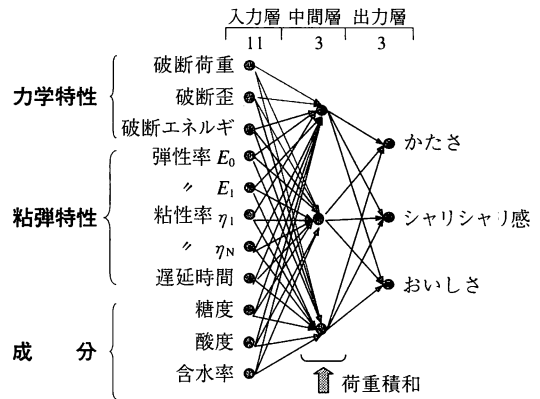


図8 ANNを利用したテクスチャ評価モデル

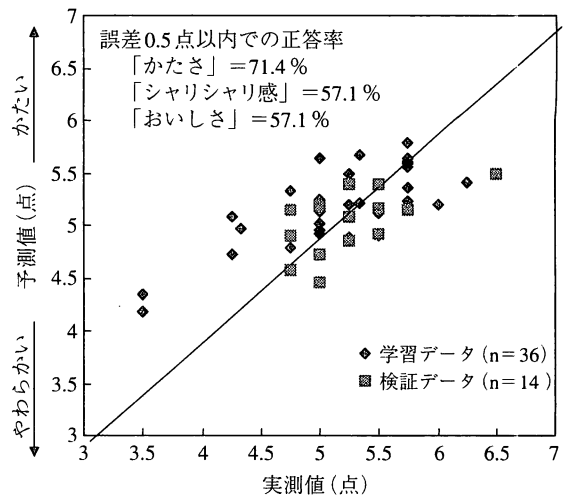


図9 ANNによる「かたさ」の予測

ータは力学的物性だけでなく、成分濃度または味の強度も影響を及ぼすことが判明した。すなわち酸っぱさの強度が増すとかたく感じられ、高糖度・高含水率の果実は柔らかく感じるということがわかった。これらの結果はヒトが感じる食べ物のテクスチャが機器計測データのみでは判定できないことを立証した。

3.4 非破壊テクスチャ評価システム

表1に上述した4パラメータの値を近赤外分光分析により予測した結果を示す。すなわち重回帰モデルにより弾性率 E_0 、糖度、酸度、および含水率を予測するために、ここに示す第1～3波長を特定した、予測精度は糖度と含水率で高くなり、含水率を予測する検量線では相関係数0.87が得られた。

図10はこれまでに得られたモデルを統合して構築した「非破壊テクスチャ評価システム」を示す。本システムは官能評価スコアに対して特に大きな影響を及ぼすと判断された4つパラメータを近赤外分光分析の結果に基づき予測し、単純化したANNモデルに入力することにより「かたさ」「シャリシャリ感」および「おいしさ」

表1 近赤外分光法による物理化学的パラメータの予測精度

パラメータ	波長			検量線		検証
	第1波長 (nm)	第2波長 (nm)	第3波長 (nm)	相関係数	標準誤差	標準誤差
弾性率 E_0 (Pa) ($\times 10^{-7}$)	834	700	720	0.642	0.09	0.07
糖度 (%)	902	880		0.802	0.53	0.44
酸度 (%)	902	870		0.66	0.04	0.04
含水率 (%)	888	820		0.871	0.55	0.58

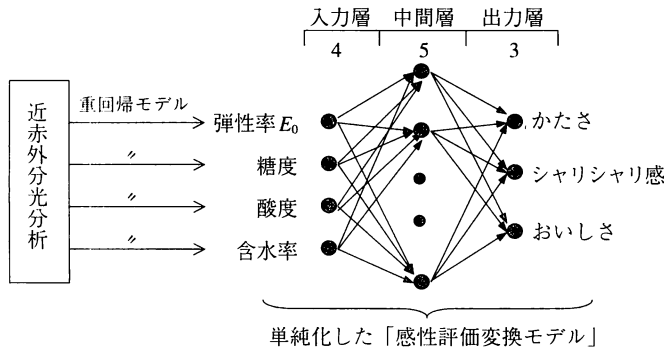


図10 非破壊テクスチャ評価システム

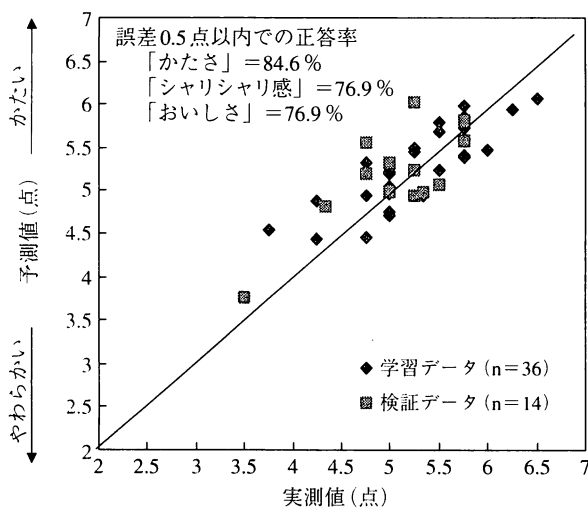


図11 非破壊テクスチャ評価システムによる「かたさ」の予測

のスコアを予測する機能を有している。

このシステムを用いて、官能評価スコアを予測した結果の一例として、「かたさ」の予測結果を図11に示す。

この図に示すように、誤差0.5点以内における「かたさ」の正答率は84.6%であり、精度の高い予測を行うことが可能となった。また、同時に予測した「シャリシャリ感」と「おいしさ」の正答率は、ともに約77%であった。

このシステムは光センシングによる非破壊官能評価の可能性を立証しており、その特徴は既存技術の統合化にある。したがって、このシステムの中には新しく開発された技術は含まれていない。このように、食感性工学のパラダイムと方法論は既存技術の統合・融合により、新しい機能を有するシステムの創出を可能とする特徴を有している。

4. 将来展望

今回紹介した例には含まれないが、パッケージデザインあるいは成分の由来などの情報を操作することにより、食品に対する情報付加がヒトの感性に与える影響を定量的に評価することも可能である。また、将来的には認知された内容を自由記述・会話記録データなどにテキストマイニングなどの手法を適用して抽出することにより、認知ないし記憶が感性に与える影響を評価することも可能と考えられる。さらに、非言語的に脳の活動を反映するEEG (Electroencephalography: 脳波記録) あるいは脳における情報処理過程に関連するEP (Evoked Potential: 誘発電位) の計測・分析を通じ^{2,3)}、感性に関わる神経生理学的な活動を明らかにするとともに、嗜好と関連する生理指標を導出することにより、さらに客観的な生理データに基づく感性モデリングも可能になると考えられる。

文 献

- 1) 池田岳郎, 日置真由美, 永井元, 相良泰行: 日本味と匂学会誌, 9, 553-556 (2002).
- 2) 吉田倫幸: 計測と制御, 41, 696-701 (2002).
- 3) 本庄巖編: CLIENT, 21 (10) 中山書店, (2000).