

食感性工学によるおいしさの創出技術 ～高齢者のおいしさを満足させる冷凍米飯の最適保存条件～

相良 泰行

東京大学 大学院農学生命科学研究科 農学国際専攻

Tel: 03-5841-7536, Fax: 03-5841-5335

E-mail: asagara@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

http://www.ga.a.u-tokyo.ac.jp/lab/sagara_lab

1. はじめに

近年、消費者が求めている味、香りおよび機能性などを定量的に明らかにし、それらの情報を新製品の開発や製造方法の最適化などに役立てる手法の実用化が望まれている。筆者が提唱している「食感性工学」のパラダイムと方法論は、消費者を起点とした顧客満足型の新食品開発手法の発展に有用と考えられる。本稿で紹介する「食感性モデル」はおいしさの生起過程を定量的に表現・評価することを目的とした数理モデルであり、当モデルを冷凍米飯の品質評価法と最適保存条件などの探索に適用し、社会属性の異なる消費者、特に高齢者の米飯に対する嗜好を把握しておいしさの創出に役立った手法を紹介する。

2. 食感性のモデリング

1) 食感性要因の相互関連性

図1に食に関する消費者の感性を表すモデルとして、「食感性モデル」を示した。このモデルを考案した目的は、「個人」が「食行動の短期間」に「感情変化(おいしさ)」を生起するプロセスを「定量的に評価」して「製品設計および製造方法の最適化に役立てる」ことにある。ここに述べたような前提条件の下で、さらに茶飲料感性設計への応用を念頭に置いて、食感性に関わる因子を想定した。すなわち図に示すように、食品は「物理化学的属性」と「情報」、他方、ヒトは「知覚」と「嗜好」、「認知」と「記憶」、そして「感情(おいしさ)」を有するものとした。「物理化学的属性」は、知覚的要因としておいしさに影響する食品の成分や構造などを指し、対照的に「情報」は、認知的要因としておいしさに影響する食品の付加情報を指すものとする。具体例として、溶液系食品の試料についてGC-MSにより計測される揮発性成分に関する質的データは「物理化学的属性」であり、同じ試料の包装材料に記載される商品名、メーカー、原材料などのデータは「情報」として扱うものとする。

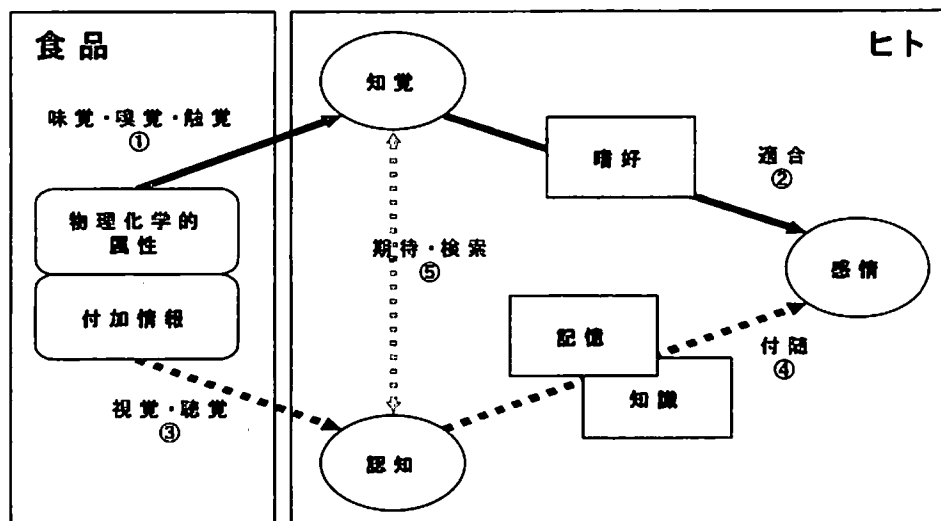


図1 「おいしさ」の食感性モデル

「知覚」は、外界の知覚的要因が感覚器官、すなわち五感に与える刺激作用を通して、ヒトの脳内に生じる有意味な対象を指し、5つの基本味を含む多次元の属性により構成されると考えられる。また「嗜好」は、知覚された対象ないし属性から生じるおいしさの評価パターンを指し、要求的要因としておいしさに影響する因子と考えられる。

「認知」は、外界の認知的要因が、やはり視聴覚を主とする感覚器官を通して、ヒトの脳内に生じるイメージを指し、「記憶・知識」は、このイメージと関連する経験・体験などを指すものとし、広義の要求的要因としておいしさに影響する。また最後の「感情」は、おいしさにほぼ等しいが、仕上がりでのビールに感じる爽快なおいしさ、高級料理店のフォアグラのポワレに感じる滋味のあるおいしさなど、食品ごとに多様性が認められる。以下に、これら因子を介しておいしさが生じる過程を説明する。

2) 物理化学的屬性から感情に至る過程

おいしさの生じる過程のうち、本モデルの扱う最も基本的な経路は、まず食品の物理化学的屬性が味覚・嗅覚・触覚により甘味や酸味として知覚され(経路①)、知覚と嗜好が合致するときに(経路②)、感情、すなわちおいしさが生じるとする経路である。例えば、グレープフルーツジュースにおいしさを感じる時、その過程としては、まずグレープフルーツに含まれる糖、有機酸およびリモンなどの成分が、それぞれ甘味、酸味および苦味などの知覚を生じ、甘酸っぱさとほのかな苦みを好む消費者の嗜好に合えば、おいしさが感じられるものと解釈する。

3) 情報から感情に至る過程

前項で説明した経路に並行する経路として、食品の情報が視聴覚により認知され(経路③)、認知に関連する記憶ないし知識が想起され、それらに付随する感情が生じるとする経路(経路④)が考えられる。再びグレープフルーツジュースを例にとると、「フロリダ産」、「低農薬栽培」などの付加情報が認知されると、現地で搾り立てのジュースを飲んだ旅行の記憶や、低農薬で健康に安心であるという知識が呼び起こされ、それらに付随する感情が生じるということは大いに起こり得ると考えられる。

4) 知覚と認知の対応経路

上述した2つの経路はそれぞれ独立ではなく、相互に影響し合い、補完する関係にあると考えられる(経路⑤)。例えば、飲用前には何のジュースか分からない飲料を飲むことにより、甘味と酸味と僅かな苦味が知覚されると、推測により原料がグレープフルーツであることが認知される、という場合も考えられる。対称的に、飲用前にグレープフルーツジュースであることが認知されており、甘味と酸味と僅かな苦味が期待されることも考えられる。

3. 食感性関数

これまで述べた各過程を数理モデルとして扱うためには、各因子を変数または係数と定め、これらの変数・係数間の関係を関数として記述する必要がある。表1に食感性モデリングの扱う変数・係数を示した。また、これらの変数間相互関連性を示す関数を「感性関数」と定義した。これらの関数として、PLS(部分最小二乗法)、構造方程式モデリング、ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network: ANN)およびマルチスプラインによる応答曲面法などを用いている。

4. 冷凍米飯のおいしさ創造技術の概要

常温および凍結保存した米飯の解凍後における物理化学的特性と官能評価スコアに関するデータセットから、最適な冷凍保存温度・期間の条件を探索した研究事例について解説する。ここに紹介する方法は消費者の嗜好特性を考慮した、すなわち消費者を起点とした新食品の開発や加工条件の最適化に有用であると考えられる。

具体的には、「食感性モデル」の食品属性として定義した「物理化学的特性」として、冷凍米飯の粘弾性特性などを計測し、また、ヒトの「感情(おいしさ)」を評価する方法として、一般成人および高齢者を対象とした官能評価試験を実施した。これらの計測・評価結果に、「感性変換モデル」として、ANNモデルを適用して、以下に示すような結果を得た。

表1 食感性モデリングで定義される変数と係数

| 因子 | 変数・係数 | 内容 | 尺度 | 評価方法 |
|----|-------|------------------------------|----|--------------------|
| 成分 | I | Ingredients: 成分 | 連続 | 機器分析 |
| 情報 | A | Additional Information: 付加情報 | 名義 | 操作因子 |
| 知覚 | P | Perception: 知覚 | 連続 | 官能評価 因子分析 |
| 嗜好 | H | Hedonic Scale: 嗜好尺度 | - | 回帰分析 |
| 認知 | C | Cognition: 認知 | 名義 | 記述的評価 テキストマイニング |
| 記憶 | M | Memory: 記憶 | - | 回帰分析 |
| 感情 | L | Liking Score: 嗜好度 | 連続 | 官能評価 |

備考:「嗜好」「記憶」については、係数として扱うものとする

- 1) 官能評価スコアより一般成人および高齢者の米飯に対する嗜好特性の相違を明らかにした。
- 2) 米飯の保存温度・時間データと官能評価により得られた「おいしさ」のスコアから最適な保存温度条件を明らかにした。
- 3) 前項と同様なデータから最適な保存温度条件は米の品種により異なることを明らかにした。
- 4) 粘弾性計測パラメータから一般成人および高齢者が感じる「おいしさ」をそれぞれ予測し、ANN モデルが米飯の機器測定データから両者が感じる「おいしさ」を予測するのに有用であることを示した。

ここに述べたように、筆者は従来の研究手法にブレークスルーをもたらす方法として、「食感性モデリング」を提唱してきたが、次節以降で紹介する研究例も「食感性モデリング」のアイデアを具体的に展開し、その有用性を実証した事例に相当する。その達成目標は、米飯の粘弾性測定および官能評価に基づき、冷凍米飯の品質保持に最適な冷凍・保存温度条件を明らかにすること、さらには一般成人および高齢者の嗜好特性の相違を把握し、解凍後における米飯の物性値から一般成人および高齢者が感じる「おいしさ」をそれぞれ予測することにより、これら社会属性の異なる消費者の嗜好を満足させる米飯を提供するための最適冷凍・保存温度条件を明らかにすることにある。これらの条件は米飯製造工程の設備機器の制御やプロダクトマネージメントに有用な情報を提供するものと考えられる。

5. 研究計画のデザイン

1) デザインの留意点

食感性モデルを有効に活用するためには、総合的な研究計画、すなわちグランドデザインが必要である。さらに、立案されたグランドデザインに従って、あらかじめ測定項目と採用すべき計測機器および計測・評価のための手法を検討しておく必要がある。本研究の目標を達成するためには、食感性モデルの構成要素である食品属性の中の「物理化学的特性」からヒトの「感情（おいしさ）」に至るルートに着目し、少なくとも前者に関する機器計測データと後者に関する評価スコアの取得法をそれぞれ確定しなければならない。しかし、この段階では官能評価により得られる「知覚強度」および「感情（おいしさ）」に関するスコアと関連を有する食品の「物理化学的特性」の測定項目は明らかでない。そのために、理想的には食品の物理化学的特性の計測には現存する全ての計測法を採用すべきである。

筆者らの「リンゴの非破壊テクスチャ評価システムの開発」研究で得られた結果によれば、ヒトが感じる「かたさ」は単に粘弾性パラメータのみでなく糖度・酸度、含水率などの含有化学成分量に影

響される。すなわち、従来の研究で行われてきたように、テクスチャを計測するために開発された工学的計測機器を用いて、力学的パラメータのみを計測しても、得られたデータからヒトが感じる「かたさ」を正確に予測することは不可能であることに留意すべきである。「食感性モデル」の利点の一つはモデルに含まれる要因間の関連性の強さを定量的に判定できる点にある。例えば食品の香りを抽出・サンプリングする多様な方法の中から、感応評価スコアとの関連性が高い抽出法を選択する事が可能となる点である。このように、食感性モデルは物理化学的特性の計測法の中から、ヒトが知覚している食品の成分や理工学的特性を計測する方法を探索するツールとして利用することも可能であるといえる。

2) 研究手法のデザイン

グランドデザインの第1ステップとして、本研究の目的を達成するための全体的なスキームを図2に示した。図中には計測項目を最下段に、計測により得られたデータ群にANNを適用して明らかにする課題を中段に示し、最上段には計画した研究の最終目的を示している。最下段に示した計測項目の中で、「氷結晶計測」は、研究を開始する時点で、その計測手法が確立されておらず、本研究を遂行する過程で、新規に開発することを計画した計測項目である。具体的には筆者が現有している「マイクロスライサ画像処理システム」を利用して、米飯1粒子内に形成される3次元氷結晶構造を計測する新たな手法を開発することとした。この開発が達成されると、冷凍米飯の凍結速度-氷結晶構造-解凍後の品質の関連性を定量的に評価することが可能となる事が予測されるが、本研究のスキームの中での達成レベルとして、少なくとも凍結温度と保存期間により変化すると予測されている氷結晶構造の3次元可視化画像を計測するレベルを目標とした。

3) 測定項目・設定条件と手順

前項のグランドデザインに引き続き、第2ステップとして策定した、より詳細な研究手順を図3に示す。この手順に従って検討した実験条件や方法の検討結果を次項以降に述べる。

(1) 供試材料

おいしさの程度が異なる2つの品種の冷凍米飯製造に対する適性を判定することを目的とし、食味計で90点以上の最高評価点と約75点を示すことが知られている2つの品種、すなわち新潟県魚沼産の「コシヒカリ」と滋賀県産「日本晴」のいずれも新米を供試材料として選択した。

(2) 炊飯・放冷法

これらの方法については、現在、健康・介護食を生産している民間企業の品質管理手法を参考にし決定した。具体的には、精白米500gをアルミニウム製ボウルに入れ、水道水800mlを加えて直ちに水を切り、10回研いだ後、水道水800mlを加えて水を切る操作を2回、水道水1200mlを用いて約10秒間攪拌しながらすすぐ操作を4回繰り返した。続いて米重量の1.36倍の水道水を加え、家庭用炊飯器を用いて普通炊きのコースで炊飯した。

炊飯終了直後に蓋を開け、工業用吸水シートの表面に炊飯器内の釜を転倒し、ライスケーキ状試料を取り出した。次に、炊飯器付属のしゃもじを用いて釜面に接していた部分の米飯を300g削り取り、

社会属性の異なる消費者の嗜好を満足させる米飯を提供するための最適冷凍・保存温度条件を明らかにすること

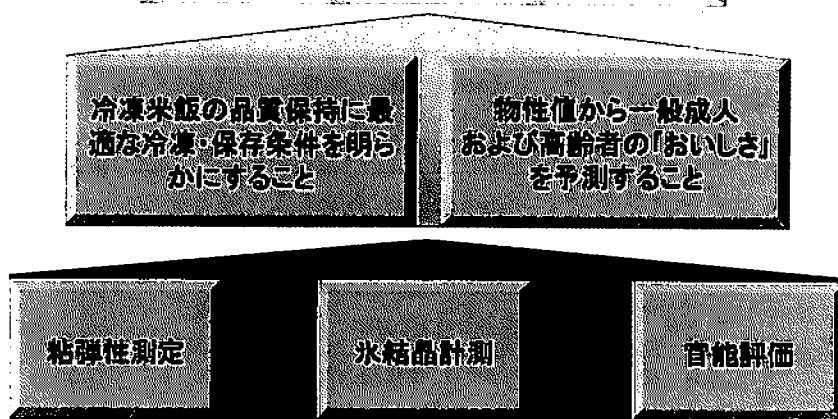


図2 研究のスキーム

軽く攪拌した後、厚さ20mmに広げて室温25℃まで放冷後、シートに包んで15分間なじませた。なお、試料の炊飯および放冷時における試料中心温度の経時変化を熱電対によりモニターした。

(3) 保存温度と保存期間
前項で述べた方法により室温まで放冷した後の試料200gをポリエチレン製容器に入れ、塩化ビニル樹脂製食品包装用ラップフィルムで二重に包装した後、設定

温度に対して±0.2℃の精度で制御が可能な小型低温恒温器内にて冷蔵または凍結保存した。表3に示すように、試料は25℃で2日間、10℃・7℃・3℃で3日間、-5℃・-15℃・-30℃で10日間保存して、その後の計測および官能評価に供した。また、保存期間中の試料について一定時間ごとに含水率を105℃-24h 炉間法により測定した。保存後の試料は含水率測定後に2分し、一方は自然放置して試料温度を室温まで上昇させて「常温処理試料」、他方は家庭用電子レンジを用いて70℃まで加熱した後、再度室温まで放冷して「加熱処理試料」とした。

(4) 計測・評価・ANN分析の手順

これらの試料について、レオメータを用いたクリープ試験およびテンシプレッサを用いた低・中・高圧縮6バイト試験による粘弾性特性、デンプンの糊化度をそれぞれ測定し、さらに炊飯米用食味計を用いた食味評価および官能評価を実施した。このようにして得られた計測・評価結果データにANNモデルを適用して解析し、保存温度・期間・粘弾性パラメータおよび官能評価により得られる「項目得点」と「おいしさ」の関係をそれぞれ明らかにした。

6. 粘弾性計測装置と方法

1) テンシプレッサ

図4に米飯の粘弾性計測に用いたテンシプレッサの概略図を示した。この図に示すように、テンシプレッサは本体、データ収録制御装置および解析用パーソナルコンピュータから構成されており、本体はパーソナルコンピュータから操作することが可能である。本体の試料台は一定速度で垂直方向に昇降して試料を連続的に圧縮すると同時に、ロードセルにより圧縮・引張りに要する力・仕事量と変形距離を検出する機能を有している。この装置の特徴は、試料を23~92%の範囲で設定した3段階の低・中・高圧縮を各段階について連続的に2回繰り返す方法、すなわち6バイト試験における力-時間曲線を測定し、得られた曲線の波形(図

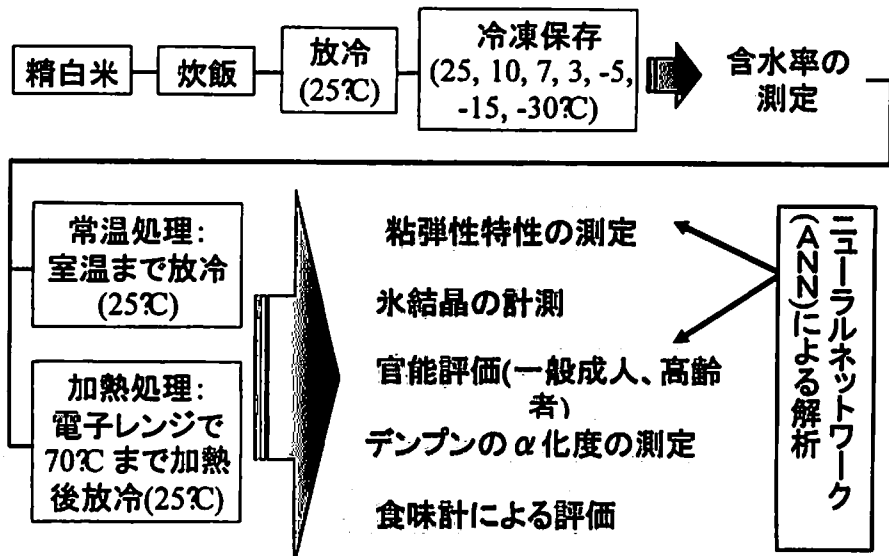


図3 測定項目・実験条件と研究の手順

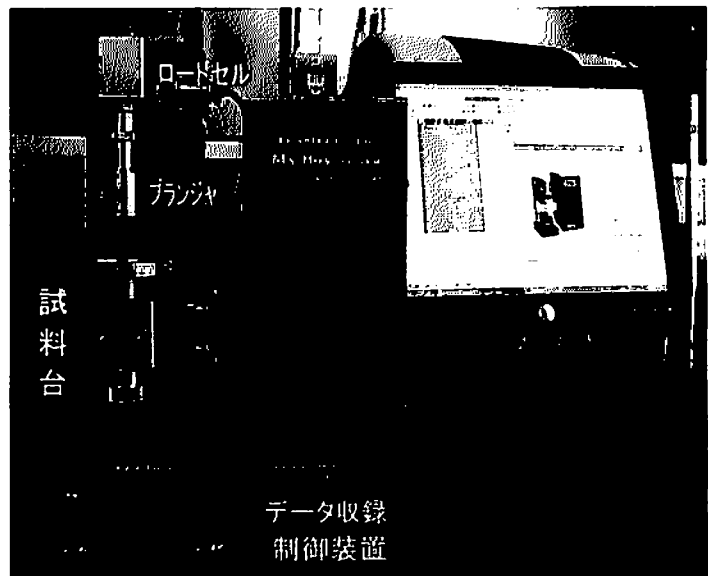


図4 テンシプレッサ (TAKETOMO 製)

5) から「硬さ」、「こし」、「付着性」および「粘り」などのパラメータ値を表示する機能を有している点にある。

2) 計測方法

図3に示した温度条件下で保存した常温処理試料および加熱処理試料それぞれについて、6バイト試験による粘弾性特性を測定した。試料 10.0g を内径 40mm 高さ 16mm の円筒状試料容器入れ、専用プランジャで試料厚さ 10mm になるよう 5 秒間荷重を加えたのち除重し、3 分間放置した。このパルク状米飯を試料として 6 バイト試験を実施した。測定は各試験区の試料についてそれぞれ 5 回ずつ行い、得られた粘弾性パラメータ値の平均値を採用した。

試料の測定は、直径 18mm の円筒形プランジャを用いて、圧縮速度 2.0mm/s、引張り速度 1.0 mm/s の条件下で行い、図5に示すような6バイト計測曲線を得た。図中にはそれぞれの圧縮に要した力を H、仕事量を A、逆に引離しに要した力を -H、仕事量を -A として表示している。さらに、これらのパラメータから食糧庁で用いられている米飯の品質評価指標である硬さ・こし・付着性・粘りの4指標が算出される。すなわち試料を圧縮したときの最大圧縮力の値を「硬さ(H5)」、また、試料を 92% および 23% 圧縮するのに要する仕事量の比を「こし(A5/A1)」、さらに圧縮したのち引離すのに要する力と仕事量の最大値をそれぞれ「付着性(-H5)」および「粘り(-A5)」と定義している。

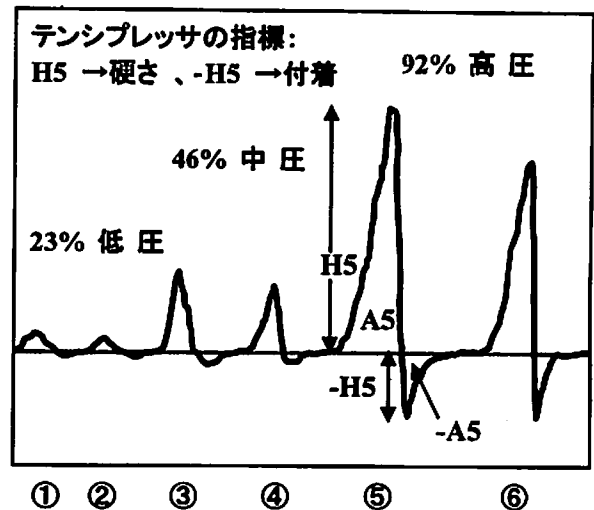


図5 典型的6バイト試験計測曲線

7. 官能評価法

一般成人 (平均年齢 30.4±8.9 歳) に対しては、品種・加熱処理の有無・保存試験区数の組み合わせにより総量 58 サンプルを供試した。1 サンプル当たりのパネル数は約 40 名であり、パネルの延べ人数は 2,292 名となった。高齢者 (平均年齢 81.1±8.4 歳) に対しては 10 サンプルを供試し、1 サンプルあたりのパネル数約 27 名、延べ 272 名を対象とした。官能評価項目は、「透明感」・「つや」・「白さ」・「香り」・「あま味」・「うま味」・「硬さ」・「こし」・「付着」・「粘り」・「舌触り」などの知覚強度に関する 11 項目および総合的な嗜好度の尺度である「おいしさ」とし、7 段階尺度法により評価した。評価には一回ごとに 1 サンプルを供試し、サンプルの摂食間には、水で口直しをしながら評価することとした。

8. ANN モデルの適用

1) 解析項目と手順

本研究で行なった解析項目と手順の概要を図6に示した。図中の実線は一般成人、点線は高齢者を対象にした解析をそれぞれ示している。以下に図中に示した番号順に従って、解析の課題や内容について述べる。
(1) 一般成人および高齢者について官能評価で得られた「硬さ」や「付着感」など 11 の項目

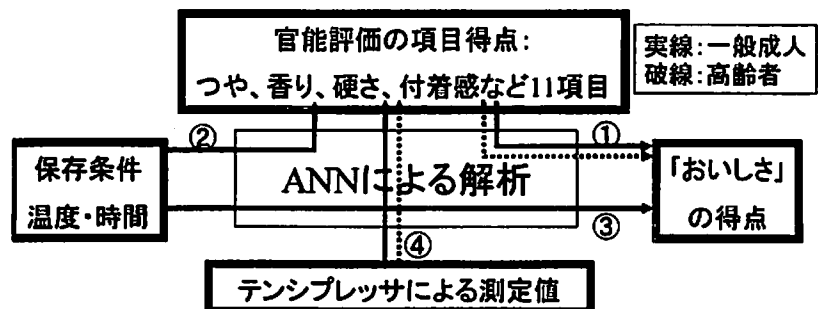


図6 ANNモデルによる解析項目 (①~④)

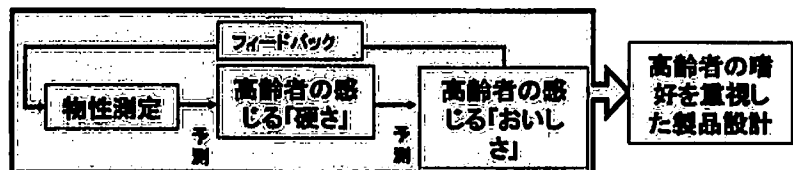


図7 食感性モデルによる製品設計の流れ

得点と「おいしさ」の関係を探る（経路①）。

(2)保存温度・時間条件が一般成人の項目得点および「おいしさ」の評価スコアに与える影響を評価する（経路②と③）。(3)テンシプレスにより得られた12種類の粘弾性パラメータ、すなわち低・中・高圧縮時それぞれにおけるA・H・A・Hの値から一般成人および高齢者の項目得点スコアを予測する（経路④）。

これらの解析により、例えば図7に示すように、ある製品の物性値から高齢者の感じる「硬さ」、さらには「おいしさ」を予測することが可能となる。さらに、これらの情報を逆に製品設計にフィードバックすることにより、高齢者の嗜好を重視した品質設計が可能となる。

9. 粘弾性パラメータの経時変化

図8に冷蔵および凍結保存したコシヒカリの硬さ、すなわちテンシプレッサの計測パラメータ H5の経時変化を示した。また、「常温処理」および「加熱処理」した試料の計測結果を区別するために、それぞれ保存温度条件に「常温」、「レンジ」と附記して示した。

冷蔵温度3～7℃の条件下で保存した試料の硬さは保存期間の経過に伴って、増大する傾向を示した。しかし、48hr以内であればレンジ加熱によりこの硬化が解消されることが分かった。室温で保存した試料の硬さは冷蔵保存後再加熱した試料と同程度に維持された。

凍結保存した試料の硬化は、-5℃で保存した試料を除いては、レンジ加熱により解消できるが、特に、-30℃で保存した試料の硬さはレンジ加熱により、ほぼ炊飯直後の硬さに回復することが認められた。すなわち、凍結米飯の硬化は凍結保存温度に依存し、その温度が低いほど炊飯直後の硬さに維持されることが分かった。また、これと同様に「付着感（H5）」は保存期間の増大に伴って減少するが、その傾向は上述した「硬さ」の「増大」を「減少」と読み替えることにより、説明出来ることが分かった。すなわち「硬さ」の増大に伴って「付着感」は減少することが確認された。

他の粘弾性パラメータの経時変も、増大・減少の差はあるものの、保存温度・時間・レンジ加熱の有無に関して、上述した結果と同様の傾向を示すことが分かった。

これらの結果より、コシヒカ리를 7.3・5℃で冷蔵後、常温処理した試料については、ほぼ全ての粘弾性パラメータにおいて大きな変化が認められ、10℃保存試料では小さな変化が認められた。また、これらの変化は炊飯後室温で保存した試料よりも大きくなることが分かった。また、凍結保存試料の粘弾性の変化は保存温度が低いほど小さくなる傾向を示すが、この変化は常温処理またはレンジ加熱によりほぼ解消されることが分かった。ただし、-5℃で保存した試料の解消の程度は他の試料に比べて小さい傾向を示すことが認められた。

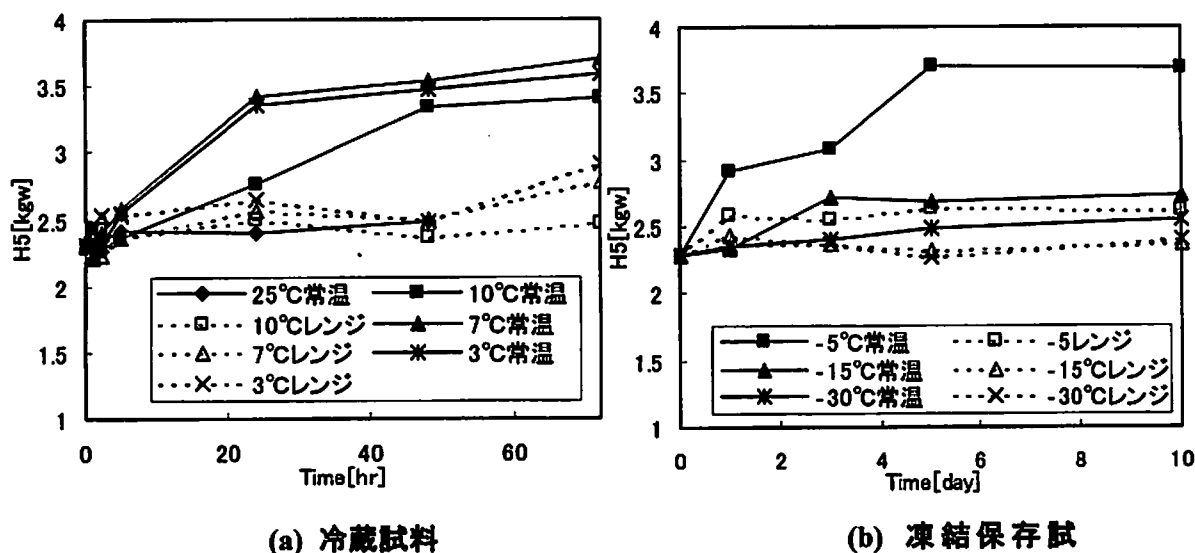


図8 保存期間中に測定されたコシヒカリの「硬さ(H5)」に関する経時変化

これらの結果より、米飯の粘弾性を維持するための保存温度条件の範囲は約 10℃以上、-15℃以下であることが明らかになった。この結果は、従来指摘されてきた保存温度条件を裏付けるものとなっているが、これらの結果はあくまでも「機器測定による粘弾性特性」の変化から予測された温度条件であり、「人が感じるテクスチャやおいしさ」の変化から予測された条件ではない。したがって、この段階で得られた条件下で保存した米飯に対して、消費者が「おいしい」と評価するか否かは不明である。この問題を解決するためには、粘弾性パラメータと官能評価スコアとの関連性を明らかにする必要がある、さらには、粘弾性特性データから官能評価スコアを予測するモデルの出現が必要であると考えられた。後で述べるように、本稿ではこれらの関係を明らかにし、また予測モデルの構築ツールとして ANN モデルの適用を試みた結果を紹介する。

10. 一般成人および高齢者の嗜好特性

一般成人・高齢者それぞれについて、官能評価によって得られた 11 の項目得点を説明変数、嗜好度すなわち総合的な「おいしさ」のスコアを目的変数とする関数を 3 層構造 ANN モデルにより近似し、評価項目全てスコアと「おいしさ」との関係を明らかにした。

ANN の入力値としては官能評価により得られた 11 項目のスコアデータを用いた。出力値は、同じく官能評価により得られた「おいしさ」の得点とした。一般成人および高齢者の米飯に対する嗜好特性を明らかにするため、解析には、コシヒカリ・日本晴の常温処理および加熱処理試料を対象とした全ての官能評価結果のデータセットを用いた。すなわち、一般成人については、欠損値のあるデータを除いた全データ数 2,292 のうち、ランダムに選択した 1,604 を学習データ、688 を検証データとして用いた。高齢者については、全データ数 272 のうち、190 を学習データ、82 を検証データとした。また、試行の結果、中間層の素子数は一般成人では 12、高齢者では 10 とした。

近似精度は、決定係数(R^2)および平方平均二乗誤差(Root Mean Square Error: RMSE)を用いて評価した。近似の結果、一般成人については、学習時において高い精度の近似が可能であり($R^2=0.9$ 、 $RMSE=0.6$)、また検証時でも同様に高い精度の近似が行われていることを確認した($R^2=0.90$ 、 $RMSE=0.54$)。また、高齢者についても比較的高い精度での近似が可能であった(学習時 $R^2=0.82$ 、 $RMSE=0.72$ 、検証時 $R^2=0.64$ 、 $RMSE=1.04$)。

図 9 に一般成人および高齢者の嗜好特性の相違が認められた項目得点と「おいしさ」との関係の典型的な例として、「つや」「香り」「うま味」「硬さ」と「おいしさ」のスコアとの関係をそれぞれ示した。これらの図に示すように、一般成人・高齢者ともに、「つや」「香り」「うま味」の増加に伴って「おいしさ」を強く感じる事が明らかとなった。しかし、「つや」および「香り」については、高齢者の曲線の傾きが一般成人と比較して大きいことから、「つや」と「香り」が「おいしさ」に与える影響を大きく感じる事が分かった。また、一般成人では「硬さ」が「おいしさ」に与える影響は認められなかったのに対して、

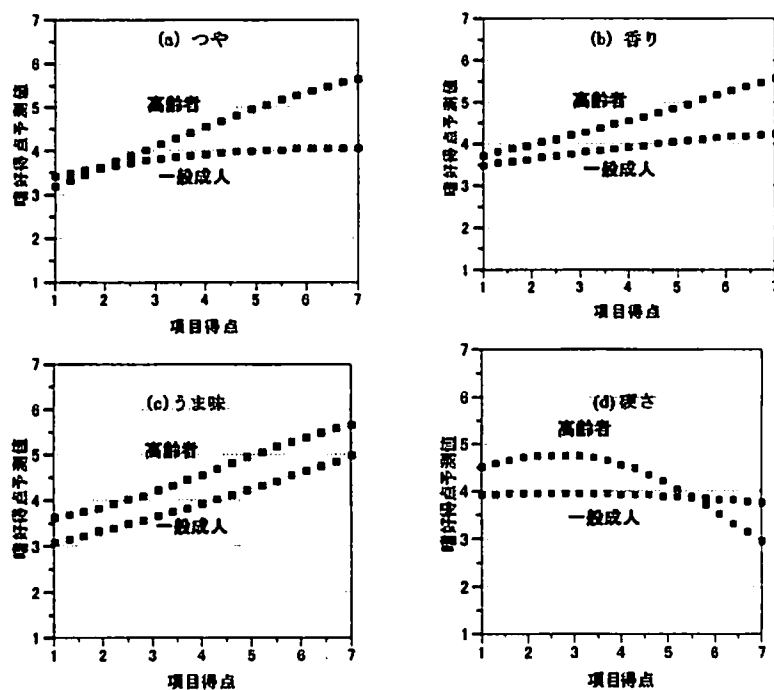


図 9 項目得点と「おいしさ」(一般成人と高齢者の比較)

高齢者では「硬さ」の項目スコア3点近傍で「おいしさ」の極大値を示し、これ以上の項目スコアの範囲では、「硬さ」の増加に伴って「おいしさ」が減少することが分かった。これらの結果、高齢者は「おいしさ」に関して、一般成人よりも「つや」と「香り」を重視し、極端な「硬さ」には拒否感を示すことが分かった。

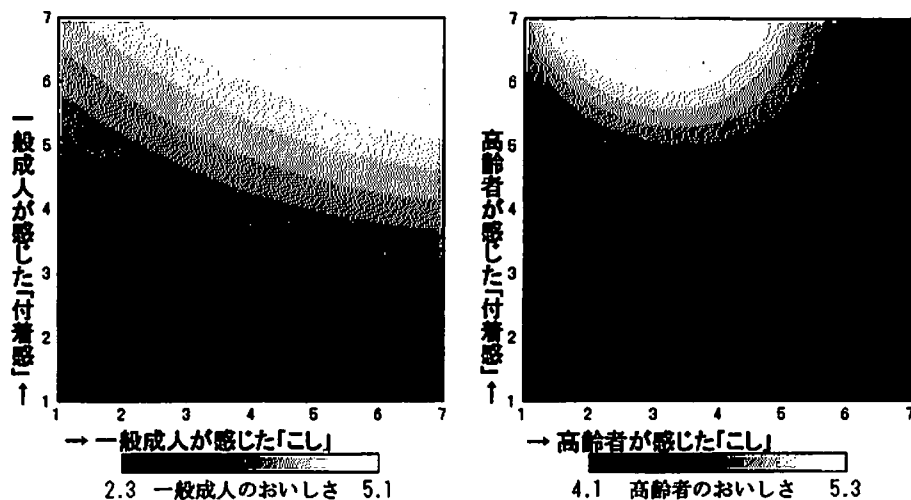


図10 「こし」と「付着感」が「おいしさ」に及ぼす影響

図10は一般成人および高齢者が感じる「こし」と「付着感」から予測される、「おいしさ」の官能評価スコアを示した等高線図である。この図に示されるように、一般成人では、「こし」と「付着感」の増加に伴い「おいしさ」も増加する傾向がみられたのに対して、高齢者では、「こし」が小さく「付着感」の高い米飯に「おいしさ」のピークが観られるなど、両者の嗜好特性の相違が明らかとなった。これらの結果に示されるように、本節では官能評価データのみを利用してANN解析を行うことにより、従来の解析手法では得られなかった有用な情報が得られることを示した。

11. 最適保存条件の探索

1) 保存条件が品質特性に及ぼす影響

一般成人を対象として、保存温度および保存時間がそれぞれの官能評価項目得点に及ぼす影響について、ANN解析を行った結果について述べる。ANNの入力値としては官能評価で供試したサンプルの保存時間・温度を用い、出力値としては、コシヒカリの常温処理および加熱処理試料それぞれについて、官能評価により得られた11項目それぞれについて得られたスコアの平均値を用いた。

図11は常温処理のコシヒカリについて保存温度と時間から予測される、一般成人の「硬さ」および「付着感」の官能評価得点をそれぞれ示した等高線図である。ここで、「硬さ」は保存期間中に評価得点が増加する評価項目であり、他方、「付着感」は他の全ての評価項目と同様に低下する評価項目である。この図に示されるように、一般成人が感じる「硬さ」を1日間保持するための保存温度条件としては15℃以上、長期保存では-20℃以下が適当であることが分かった。これと同様に「付着感」を1日間保持するための保存温度条件として10℃以上、長期保存では-25℃以下が適当であることが分かった。

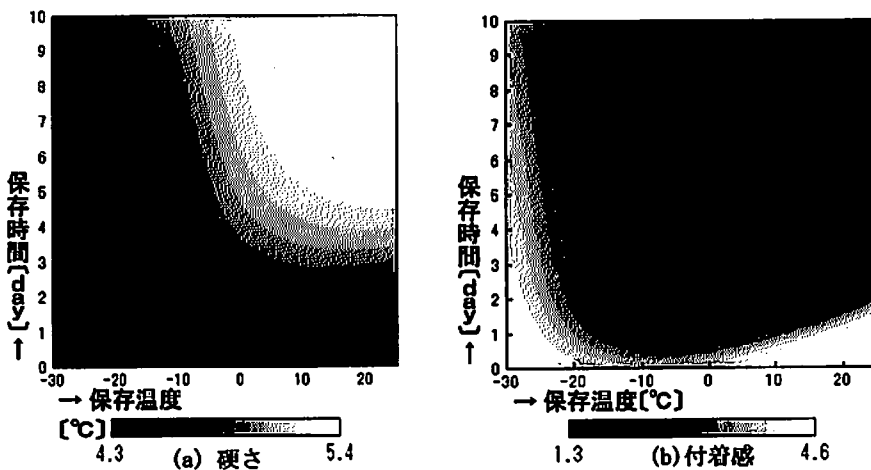


図11 コシヒカリの保存条件と「硬さ」・「付着感」の関係

2) 保存条件が「おいしさ」に与える影響

一般成人を対象として、コシヒカリの保存温度・時間が「おいしさ」スコアに及ぼす影響について、ANN解析した結果の一例を図12に示す。ANNの入力値としては官能評価で供試したサンプルの保存温度・時間、出力値には常温および加熱処理試料それぞれについて、官能評価による「おいしさ」スコアの平均値を用いた。

図12はコシヒカリの常温および加熱処理試料について、保存温度と時間から予測される「おいしさ」の官能評価スコアを示した等高線図である。この図に示されるように、常温処理米飯の「おいしさ」を1日間保持するための保存温度条件は15℃以上、長期保存では-25℃以下が適当であることが分かった。このように、冷凍米飯の食味保持に最適な保存条件が明らかとなり、この結果はテンシプレッサによる粘弾性計測結果とは異なることが明らかになった。すなわち、冷凍米飯の最適保存条件として、機器測定値のみに基づき検討した条件を採用すると、その米飯は消費者に受け入れられない結果を招きかねないと考えられる。

3) 品種による「おいしさ」の相違

図13に日本晴の保存温度・時間と「おいしさ」の関係を示す。この図では米の品種間の比較を容易にするため、図6のコシヒカリについて得られた結果と同一のスケールを用いている。常温処理米飯では、15℃以上の保存条件下において、コシヒカリとの「おいしさ」の相違は認められなかったが、凍結保存ではコシヒカリの「おいしさ」が-25℃以下で長期的に保持されるのに比べ、日本晴では全ての凍結保存温度条件において低下することが分かった。

加熱処理したコシヒカリの「おいしさ」は、保存温度条件による食味変化の相違は認められず、全ての保存温度・期間において、ほぼ一定に維持された。これに対して、日本晴の「おいしさ」は保存4日以降に大きく低下した。このように、加熱による食味向上の程度は品種により異なることが確認され、加熱処理米飯の食味劣化については、保存温度条件と比較して品種の相違が大きく影響することが分かった。

12. 粘弾性データを用いた官能評価スコアの予測

機器測定値から一般成人および高齢者が感じる官能評価項目スコアを予測することを目的として、テンシプレッサによる12の測定値を説明変数、一般成人および高齢者が感じる11項目それぞれの官能評価得点を目的変数とする関数をANNによりそれぞれ近似した。

図14に示すように、ANNの入力値としては、コシヒカリと日本晴の常温処理および加熱処理試料それぞれについて、テンシプレッサにより測定された12の測定項目データをを用いた。出力値としては、コシヒカリ・日本晴の常温処理および加熱処理試料それぞれについて、官能評価により得られた一般成人および高齢者が評価した項目スコアの平均値を用いた。平均値を採用したのは、機器測定値が一般成人および高齢者の感じるそれぞれの官能評価項目に与える影響を明らかにすることを目的とした解析であるため、同一の機器測定値を示すサンプル、すなわち同一保存条件下におけるサン

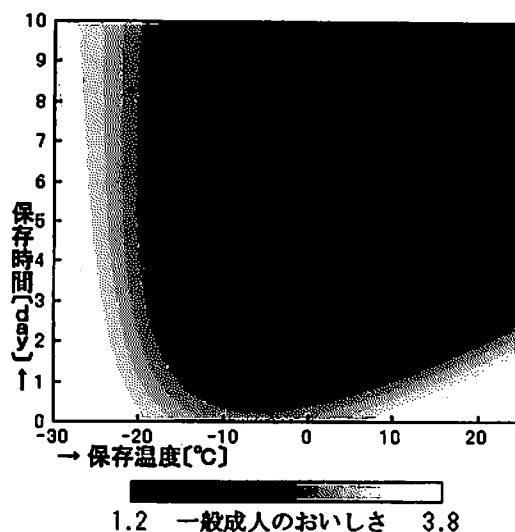


図12 コシヒカリの保存条件と「おいしさ」の関係

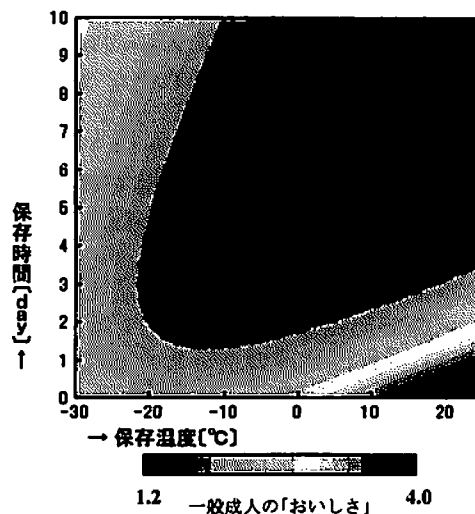


図13 日本晴の保存条件と「おいしさ」

プルの評価得点がパネルによってばらついた出力値を示すのを避けるためである。

この解析による典型的な結果として、図 15 にテンシプレッサで計測された「付着感」の実測値に対する、一般成人および高齢者が感じる「付着感」の予測値をプロットしてそれぞれ示した。近似の精度は、一般成人では学習時($R^2=0.93$ 、 $RMSE=0.33$)、検証時($R^2=0.71$ 、 $RMSE=0.64$)、高齢者では学習時($R^2=0.98$ 、 $RMSE=0.07$)および検証時($R^2=0.88$ 、 $RMSE=0.19$)と、比較的高い精度が得られた。また、一般成人および高齢者が感じる「付着感」の実測値と予測値の相関係数はそれぞれ 0.94、0.96 であり、高い精度での予測が可能となった。

以上のように、テンシプレッサによる測定値から、一般成人・高齢者それぞれが感じる官能評価項目得点の予測することが可能となった。さらに、ANNにより近似した項目得点と「おいしさ」得点との関係を示す関数に基づき、これらの項目得点から「おいしさ」の得点を予測することが可能となった。

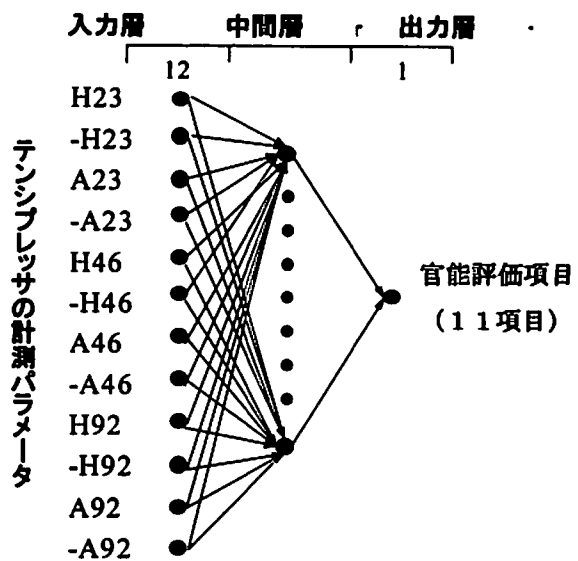
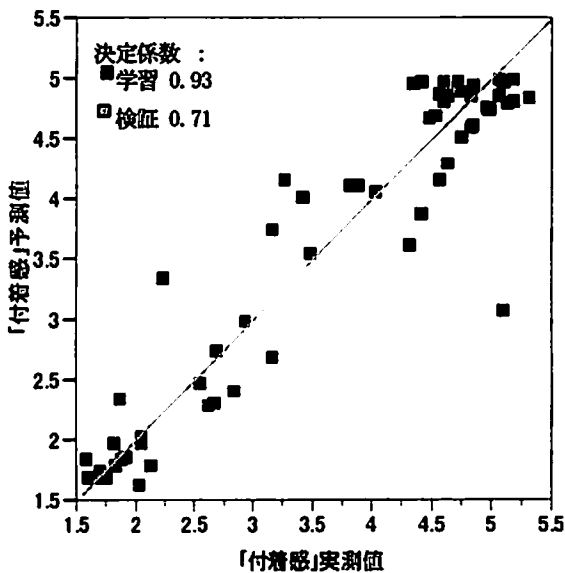
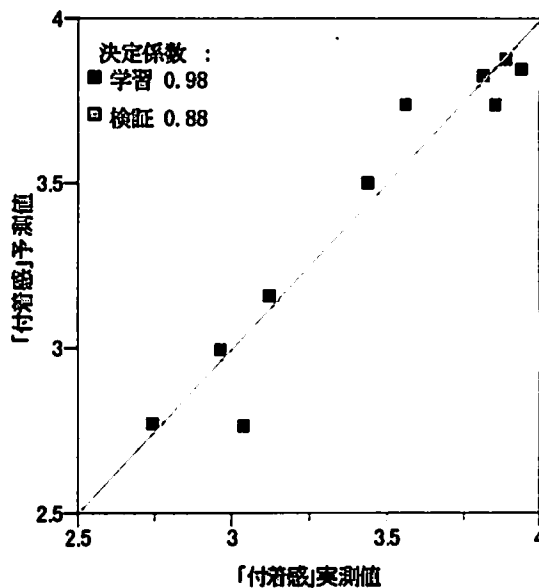


図14 テンシプレッサのパラメータから官能評価スコアを予測するANNモデル



(a)一般成人



(b)高齢者

図15 ANN解析により計測データから予測した「付着感」

13. 氷結晶計測技術の開発

1) 凍結食品内氷結晶の挙動

急速凍結により食品内に生成した微細な氷結晶も、凍結保存中に次第に大きな氷結晶に成長する。これは再結晶化と呼ばれ、凍結食品内のように不均一で多数の氷結晶粒子から成る系では、自由エネルギー最小の原理に基づいて小さなサイズの氷結晶は消失し、大きなサイズの氷結晶はさらに成長することが知られている。

凍結食品中の氷結晶サイズが増大すると細胞組織は圧迫・破壊されてその構造が崩れ、細胞全体の本来の調和が失われるために品質劣化が生ずる。すなわち、再結晶化は凍結保存中の食品における品質劣化要因の一つであり、食品内氷結晶を計測することは、食品の最適凍結操作法および保存法の確立に有用であると考えられる。

本研究でも -5°C で凍結保存した試料の粘弾性パラメータは著しく変化し、レンジ加熱してもテクスチャの回復は他の試料に比べて若干困難であることを述べた。この原因は冷凍条件に依存する氷結晶サイズにあるものと想定された。そこで、本研究では氷結晶計測技術の開発レベルを冷凍米飯1粒子内の氷結晶観察を可能とするレベルに設定した。

2) 計測手法の検討

食品材料の凍結時において、材料内氷結晶は溶質または不純物を排除する形で形成されるため、食品の主要構成成分である糖質、タンパク質および脂質などを染色し、非染色部分を氷とみなすことにより氷結晶性状の観察が可能になると考えられた。そこで、各種の染色剤を添加した水で炊飯・染色した後で凍結し、マイクロスライサ画像処理システムで氷結晶を計測する方法を試みた。その結果、Rhodamine 蛍光試薬を炊飯水に0.1%添加することにより氷結晶を可視化することに成功した。

3) 氷結晶の観察結果

図16と17はそれぞれ -5°C および -30°C で50日間保存した試料の断面画像である。図17に示した画像は炊飯直後に観察したものと同様であり、氷結晶サイズは冷凍条件と保存期間に依存しないことが確認された。この図に示すように、米飯粒の周辺部は中心部と比較して、色が濃く、水分濃度が高いことが分かった。

また、中心部の拡大図に示すように、この部分では長径 $150\mu\text{m}$ 、短径 $100\mu\text{m}$ ほどの粒状構造が観察された。一般に、コメの可食部である胚乳部では、長径 $100\sim 200\mu\text{m}$ 、短径 $50\sim 100\mu\text{m}$ ほどの細胞に、直径約 $5\mu\text{m}$ のデンプン粒が $10\sim 20$ 粒のグループをなして詰まっていることが知られている。従って、図中の粒状構造はコメの細胞構造が観察されたものであり、微細な氷結晶が細胞間隙に存在するものと、細胞質内に存在するものに分けられ、細胞粒内に形成される氷結晶は、サイズ $20\sim 30\mu\text{m}$ の球状であることがわかった。

図16に示すように、 -5°C の条件下で凍結保存した試料では氷結晶の成長が顕著であることが分かった。また、凍結保存米飯の米粒内氷結晶の成長が、先に示した物性値-H5などの粘弾性変化の一因であることが示唆された。以上

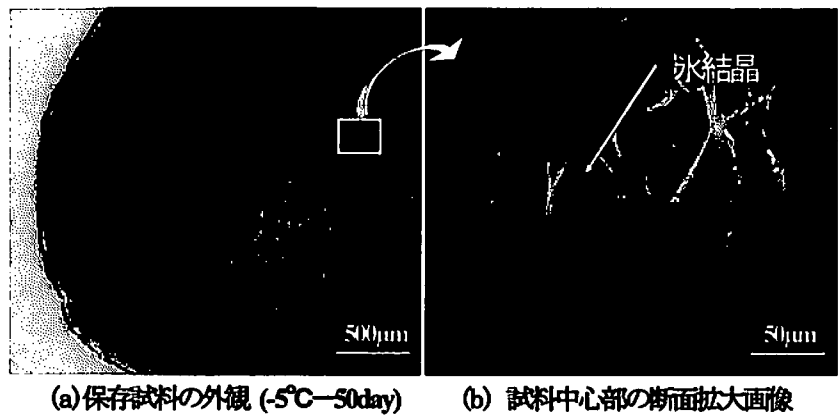


図16 凍結保存試料(-5°C 、50day)内の氷結晶画像

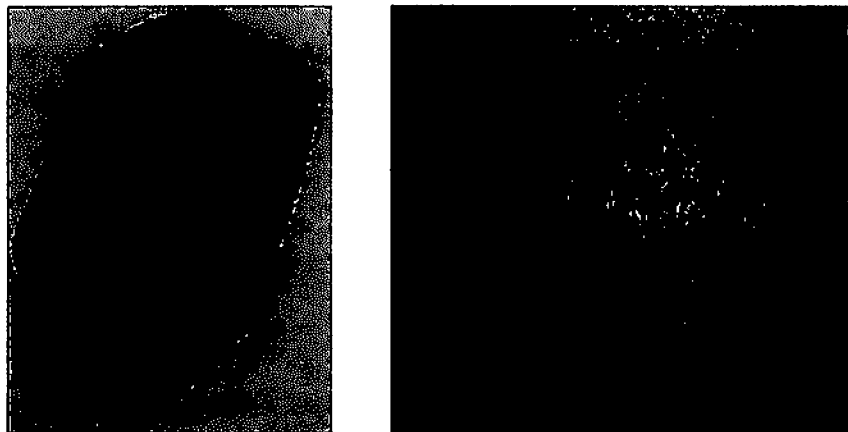


図17 凍結保存試料(-30°C 、50day)内の氷結晶画像

の結果より、本研究で開発された冷凍米飯内氷結晶の計測法は、冷凍条件と氷結晶構造との関係を定量的に明らかにする手法として有用であることが確認された。

14. おわりに

本研究で得られた成果を活用し、(冷凍操作条件) - (計測機器による品質劣化要因のパラメータ) - (官能評価結果) の3者間に存在する関係を、多変量解析やニューラルネットワークモデルの導入により解明していくとともに、冷凍米飯の配送条件、すなわち、時間・距離・包装・温度などの組み合わせによる各種条件下における最適な冷凍操作条件を提示するシステムの構築が可能になると考えられる。これらの研究成果は、国内のみならず米国や中国などにおける広域流通を対象としたマーケティング戦略の立案を可能とする基礎技術として有用となるものと考えられる。今後、冷凍食品が、レストラン、コンビニエンスストアおよび家庭などから廃棄されるごみの削減、食品供給の安定化、食品製造業における作業負荷の平準化および削減などに果たす役割は大きく、我が国をはじめ、米を主食とするアジア各国において、冷凍米飯の品質の向上と普及は重要な課題となっている。他方、我が国においては、今後、介護を要する高齢者のための施設の不足から、健康食および介護食の宅配による供給が必要となるものと考えられ、本研究で得られた成果が、消費者の嗜好に合った「おいしく簡単に食べられる健康で安全な食」を提供するシステムの構築に貢献することを願っている。

本稿で紹介した冷凍米飯の最適保存条件を探索する研究は、「食感性工学」の手法を実用技術分野に展開する方法論と研究結果の有用性を示したものと考ええる。特に、感性関数として用いたANNモデルによる解析は、消費者起点工学を具体的に実現した典型例として評価され、今後の研究開発手法にもブレークスルーをもたらすものと期待されている。

参考文献

- 1) 池田岳郎,相良泰行: 冷凍,78(914), 23 (2003)
- 2) 池田岳郎,相良泰行: 冷凍,79(915), 59 (2004)
- 3) 貝沼やす子: 家政誌 51, p.15,(2000)
- 4) 矢内和博他: 日食科工誌, 48(10), 777 (2001)
- 5) 成宮正興: 食品工学, 42(22), 35 (1999)
- 6) 相良泰行: ジャパンフードサイエンス, 37(3), 23 (1998)
- 7) 相良泰行: 「食品感性工学」, 朝倉書店,(1999)
- 8) 相良泰行: 味と匂い学会誌, 8(2), 153 (2001)
- 9) 岡部元雄: New Food Industry, 19(4), 65 (1977)
- 10) Okabe M.: J. Texture Study, 10, p.131 (1979)
- 11) Bhattacharya K.R.et al.: J, Food Sci, 44, p,797 (1979)
- 12) K.Ohtsubo et al.: Rep.Natl.food Res.Inst., 54, pl (1990)
- 13) 岡留博司他: 日食科工誌, 43(9), 1004 (1996)
- 14) 岡留博司他: 日食科工誌, 45(7), 398 (1998)
- 15) Y.Ogawa, et al, : J, Agr, Food Chem,49(2), 736 (2001)
- 16) A,K,Horigane : J, Food Sci,64(1), 1 (1999)
- 17) A,K,Horigane, et al : J, Food Sci, 65(3), 408 (2000)
- 18) 石田信昭他: 日食科工誌, 47(6), 407 (2000)
- 19) 相良泰行: 冷凍,78(914), 30 (2003)
- 20) 相良泰行: 「おいしさをさぐる食品感性工学」, 化学工業日報社 (2004)

付 録

食感性工学による緑茶飲料の開発手法

食感性工学による緑茶飲料の開発手法

相 良 泰 行

東京大学 大学院農学生命科学研究科
〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

E-mail: asagara@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

http://www.ga.a.u-tokyo.ac.jp/lab/sagara_lab/

1. はじめに

演者が提唱している「食感性工学」のパラダイムと方法論は、消費者を起点とした新しい科学技術の発展に有用と考えられる。「食感性モデル」は消費者個人が感じるおいしさの生起過程を定量的に評価することにより、新製品の設計、最適製造法の探索及びマーケティングなどに役立てることを目的とした数理モデルであり、顧客満足型の新商品開発にも役立つものと期待されている。本講演ではサントリー（株）との共同研究により、当モデルを緑茶飲料製品の香味及びペットボトルの設計に「食感性モデル」を適用して新商品設計のための方法論を検討しながら、ヒット商品の開発に貢献した事例を紹介する。

2. 新食品開発手法の特異性

消費者の嗜好にマッチした製品を設計する際に、まず問題となるのは、消費者の求める味や香りと、開発段階における新製品の設計要素が大きく乖離している点である。他の工業製品、例えばノート型パソコンの場合、消費者の求める仕様は、ハードディスク容量は80GB以上、重量は1,000g以下、またバッテリーによる駆動時間は5時間以上、といった具合に消費者自身によって数値的に表現することが可能であり、これら消費者欲求の実現に関わる工学的な要因は既知であることが多い。

これに対して食品の場合、例えば緑茶飲料では、消費者の求める香味は「すっきり感」があり「こく」が感じられること、といった具合に感覚的な表現がなされるが、開発担当者がこの香味を実現する茶葉の品種、あるいは加工方法などの最適条件をあらかじめ理解していることは稀であろう。消費者を起点とした食品の開発を進めるためには、開発と生産に関与する技術者が、まず消費者の求める味や香りの具体的なイメージを共有ないし共感する必要がある、またその具体的なイメージを実現する設計・製造法を探索する必要がある。すなわち、マーケティングによって得られる嗜好の定量化された情報とこれに基づく商品機能・品質の設計および最適製造法の確立に対処する必要性がある。これらの特異性と必要性に対処する方法論としての食感性モデリングについて次節以降に紹介する。

3. 食感性のモデリング

(1) 食感性要因の相互関連性

図1に「おいしさ」に影響を及ぼす要因の相互関連性を考慮した「食感性モデル」を示した。このモデルを考案した目的は、「個人」が「食行動の短期間」に「感情変化（おいしさ）」を生起するプロセスを「定量的に評価」して「製品設計に役立てる」ことにある。このような前提条件の下で、さらに後で述べる茶飲料感性設計への応用を念頭に置いて、食感性に関わる因子を想定した。すなわち図に示すように、食品は「物理化学的屬性（茶飲料設計要因の成分）」と「情報」、他方は「知覚」と「嗜好」、「認知」と「記憶」、そして「感情（おいしさ）」を有するものとした。「物理化学的屬性」は、知覚的要因としておいしさに影響する食品の成分や構造などを指し、対照的に「情報」は、認知的要因としておいしさに影響する食品の付加情報を指すものとする。具体例として、溶液系食品の試料についてGC-MSにより計測される揮発性成分に関する質的データは「物理化学的屬性」であり、同じ試料の包装材料に記載される商品名、メーカー、原材料などのデータは「情報」として扱うものとする。

「知覚」は、外界の知覚的要因が感覚器官に与える刺激作用を通して、ヒトの脳内に生じる有意味な対象を指し、5つの基本味を含む多次元の属性により構成されると考えられる。また「嗜好」は、知覚された対象ないし属性から生じるおいしさの評価パターンを指し、要求的要因としておいしさに影響する因子と考えられる。

「認知」は、外界の認知的要因が、やはり視聴覚を主とする感覚器官を通して、ヒトの脳内に生じるイメージを指し、「記憶・知識」は、このイメージと関連する経験・体験などを指すものとし、広義の要求的要因としておいしさに影響する。また最後の「感情」は、おいしさにほぼ等しいが、仕事上がりのビールに感じる爽快なおいしさ、

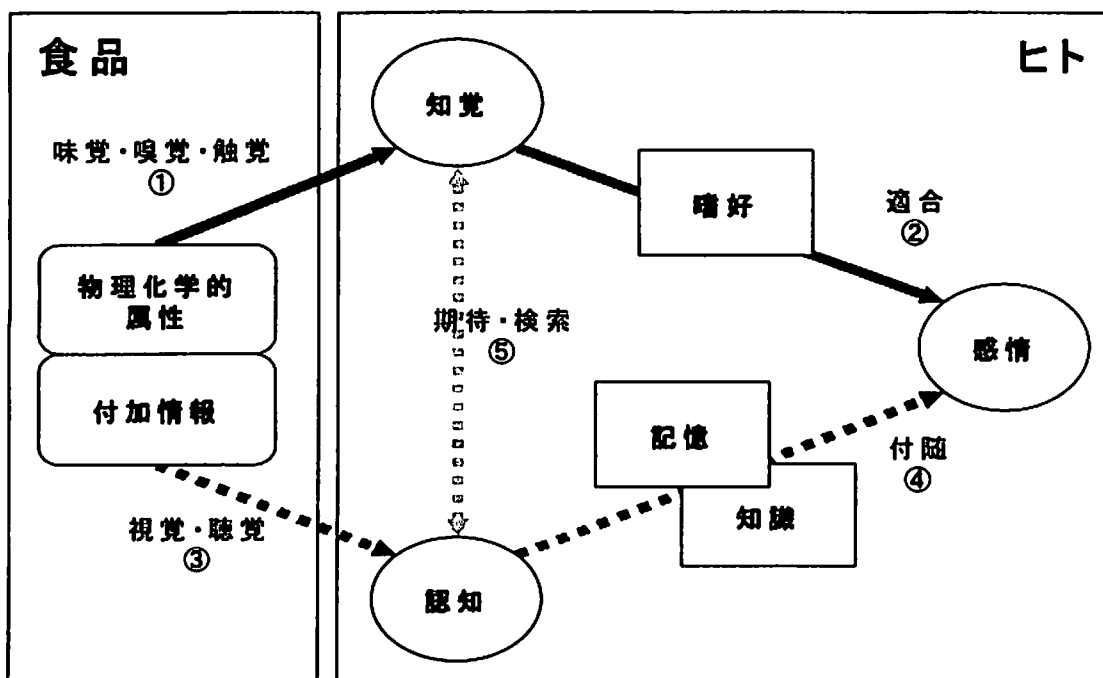


図1 「おいしさ」の食感性モデル

高級料理店のフォアグラのポワレに感じる滋味のあるおいしさなど、食品ごとに多様性が認められる。以下に、これら因子を介しておいしさが生じる過程を説明する。

(2) 物理化学的屬性から感情に至る過程

おいしさの生じる過程のうち、本モデルの扱う最も基本的な経路は、まず食品の物理化学的屬性が味覚・嗅覚・触覚により甘味や酸味として知覚され(経路①)、知覚と嗜好が合致するときに(経路②)、感情、すなわちおいしさが生じるとする経路である。例えば、グレープフルーツジュースにおいしさを感じる時、その過程としては、まずグレープフルーツに含まれる糖、有機酸およびリモニンなどの成分が、それぞれ甘味、酸味および苦味などの知覚を生じ、甘酸っぱさとほのかな苦みを好む消費者の嗜好に合えば、おいしさが感じられるものと解釈する。

(3) 情報から感情に至る過程

前項で説明した経路に並行する経路として、食品の情報が視聴覚により認知され(経路③)、認知に関連する記憶ないし知識が想起され、それらに付随する感情が生じるとする経路(経路④)が考えられる。再びグレープフルーツジュースを例にとると、「フロリダ産」、「低農薬栽培」などの付加情報が認知されると、現地で搾り立てのジュースを飲んだ旅行の記憶や、低農薬で健康に安心であるという知識が呼び起こされ、それらに付随する感情が生じるということは大いに起こり得ると考えられる。

(4) 知覚と認知の対応経路

上述した2つの経路はそれぞれ独立ではなく、相互に影響し合い、補完する関係にあると考えられる(経路⑤)。例えば、飲用前には何のジュースか分からない飲料を飲むことにより、甘味と酸味と僅かな苦味が知覚されると、推測により原料がグレープフルーツであることが認知される、という場合も考えられる。対称的に、飲用前にグレープフルーツジュースであることが認知されており、甘味と酸味と僅かな苦味が期待されることも考えられる。

4. 食感性モデルの定量化

これまで述べた各過程を数理モデルとして扱うためには、各因子を変数または係数と定め、これらの変数・係数間の関係を関数として記述する必要がある。表1に食感性モデリングの扱う変数・係数を示した。対象とする食品について、表に示す評価方法により各変数のデータを取得したのち、データの性質に即した関数を当てはめることにより、食感性モデリングが行われる。

(1) 食感性変数と係数

物理化学的屬性はその主要因である成分(I: Ingredients)で定義される量的変数であり、通常ベクトル量であると考えられる。香りが重要な食品においては、例えばGCによるRT(Retention Time:保持時間)ごとのピーク面積値が成分データに相当すると考えられる。基本的には従来から用いられてきた食品分析手法が有効であるが、より広域の食品、飲料全般やお惣菜など、について消費者の感性を明らかにするには、味覚センサや匂いセンサなどの計測手法が望まれる。

また知覚(P: Perception)も同様に量的変数であり、ベクトル量であると考えられる。テクスチャを有する一般の食品は、塩味、酸味、歯ごたえ、焦げ香など、複数の

独立な属性をもつ知覚を生じると考えられる。これは適切な項目による官能評価により量的な数値としてデータを得ることが可能である。また、感情 (L: Liking Score 嗜好度) も同様に官能評価により数値データを得ることが可能と考えられる。

嗜好 (H: Hedonic Scale) については、味や香りの好みを問うアンケートにより評価することは困難と考えられる。具体的な試料を摂取することなしに、香味に関する好みを回答することには大きな評価誤差が生じることが知られている。嗜好については、複数の試料の香味と嗜好度について評価された結果について、多変量解析を用いて相関係数または偏回帰係数などの指標を算出することにより、評価することが望ましい。

情報 (A: Additional Information) は、JAS 法の定める食品表示基準に準拠する範囲において生産者の任意により付加が可能であるが、食品素材・流通形態により限定される容器・包装などの素材・形状から意図しない情報が認知されることも起こり得る。成分表示など、量的に扱うことも可能な面もあるが、製品名や TV-CF など一般には質的変数として扱われると考えられる。

認知 (C: Cognition) および記憶 (M: Memory) は、自由記述・会話記録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データ化することが可能と考えられる。記憶については、食経験を問うアンケートによって得られるデータも利用可能と考えられる。いずれにしても質的な係数であるために、データベース構築あるいはパーティションなどの分析手法を用いることにより、他の変数との関連性を明らかにするモデルの係数と定義することが望ましい。

(2) 食感性関数

一般に食品は多成分系であり、かつ試料の作製および評価可能な数量には限りがあるという制約のため、食感性関数として PLS (Partial Least Squares: 部分最小二乗

表 1 食感性モデリングで定義される変数と係数

| 因子 | 変数・係数 | 内容 | 尺度 | 評価方法 |
|----|-------|------------------------------|----|--------------------|
| 成分 | I | Ingredients: 成分 | 連続 | 機器分析 |
| 情報 | A | Additional Information: 付加情報 | 名義 | 操作因子 |
| 知覚 | P | Perception: 知覚 | 連続 | 官能評価 因子分析 |
| 嗜好 | H | Hedonic Scale: 嗜好尺度 | - | 回帰分析 |
| 認知 | C | Cognition: 認知 | 名義 | 記述的評価 テキストマイニング |
| 記憶 | M | Memory: 記憶 | - | 回帰分析 |
| 感情 | L | Liking Score: 嗜好度 | 連続 | 官能評価 |

備考: 「嗜好」「記憶」については、係数として扱うものとする

法)は有効な分析手法である。また成分量と香味強度には非線形性が認められることも多いため、ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) やマルチスプラインによる応答曲面法などを適用する妥当性は高いと考えられる。さらに、香味に対する情報効果を定量的に評価するために構造方程式を適用する試みもある。

5. 緑茶飲料設計への応用

「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として、消費者の感性を考慮した緑茶飲料の設計手法について述べる。

(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) 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、香味の特徴を評価する4つの独立な知覚因子、すなわち「緑茶感(こく)」、「すっきり感」、「まろやかさ」、「香り」を抽出した。これらの知覚因子の寄与率はそれぞれ19.7%、23.8%、14.1%および10.4%であった。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。また、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、上述した4つの用語でおおよそ評価し得る事を示している。

(3) 香味成分-知覚因子-嗜好度の関連性

機器計測により定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。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。

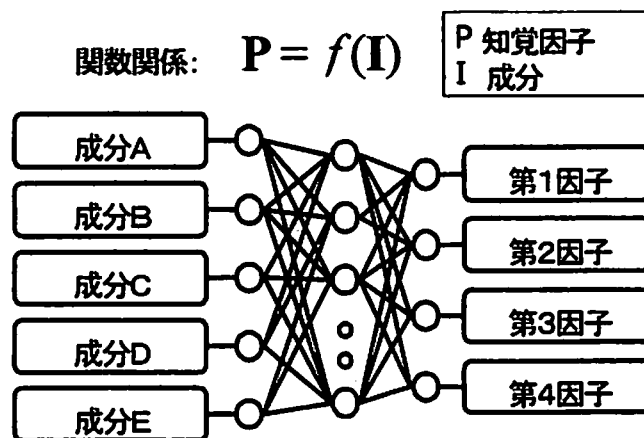


図2 ANNモデルの構造

次に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。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、他の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。

これまでの結果より、香味成分濃度と知覚因子の間には、非線形関係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事が可能となった。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、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を用いた。

(4) 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、最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、パネルの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最適な茶飲料の香味成分配合法を検討した。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OLおよび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分かった。

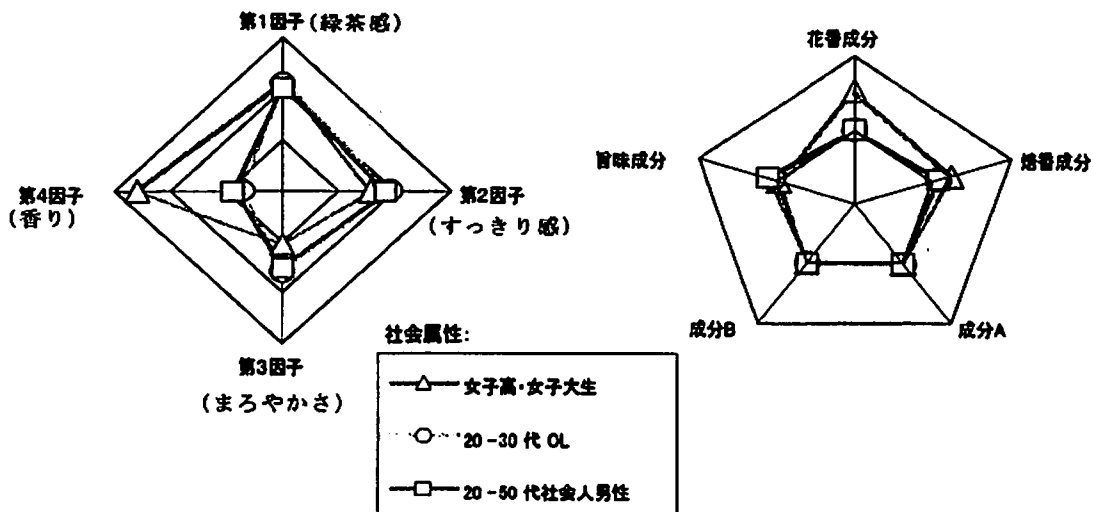


図3 消費者の社会属性による嗜好度の相違

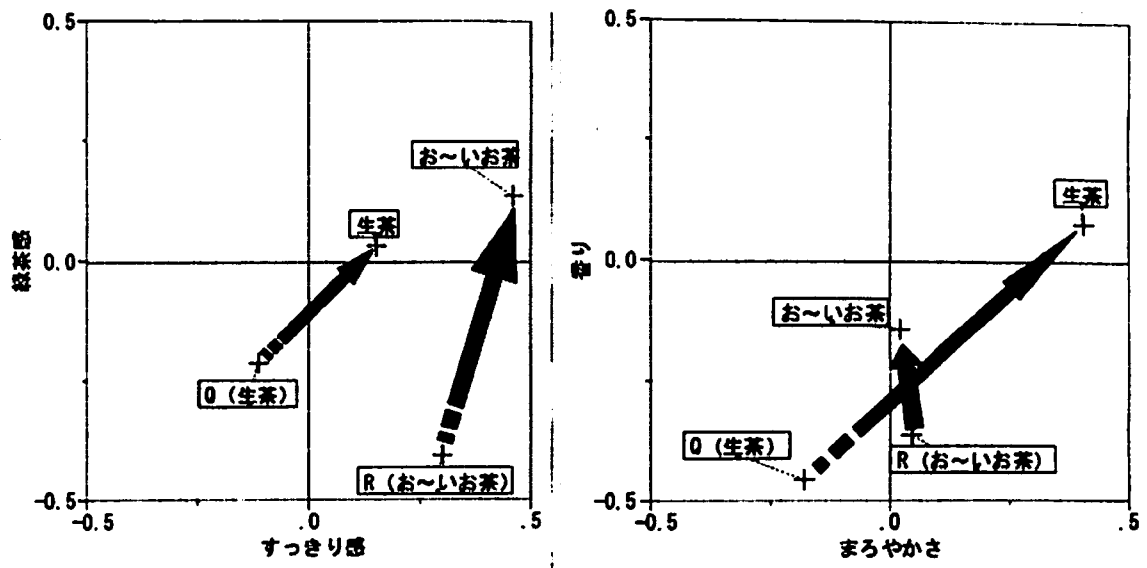


図4 パッケージデザインによる香味への情報効果

(5) パッケージデザインの効果

食感性モデルの付加情報-認知-嗜好度-感情(嗜好度)の経路を利用して、緑茶製品のペットボトルのデザインが香味の官能評価スコアに及ぼす影響を評価した事例について紹介する。緑茶の魅力構造を調査するためあるコンビニエンスストアにおける緑茶製品の購買履歴データより、長期にわたって良く売れている2つの既製品「生茶」および「お〜いお茶」をサンプルに選び、首都圏数箇所にてこれらをサンプルとする消費者パネルによる官能調査を行った。消費パネルは20~40代の男女180~250名であり、調査の実施回数は5回である。評価方法はペットボトルを消費者に提示するか否かによるオープンおよびブラインド評価、すなわちパッケージ情報の有無による香味の評価であり、評価用語30項目による7段階評価法を採用した。これらの評価スコアに対する主成分分析から、香味に関する4つの知覚因子、すなわち「緑茶感(こく)」、「すっきり感」、「まろやかさ」、「香り」が抽出された。図4はこれらの知覚空間におけるペットボトルの香味評価に対する情報効果を示したものである。

例えばブラインドテストによる「生茶」の香味の評価スコアは、ペットボトルを提示するオープン評価により、いずれの知覚因子スコアにおいても各段の増大を示している。このことは市場に定着している商品に付加されている情報がペットボトルを介して香味の評価に劇的な効果をもたらすことを意味している。すなわち、新商品の設計においては、香味だけでなく同時にパッケージやTVコマーシャルなどの設計・制作指針を検討することが重要である。

6. 将来展望

本稿では筆者が新しく提唱している「食感性モデル」の概要とその適用例について紹介したが、成分の計測手法、操作する付加情報、官能評価項目など、取得すべき変数データの具体的内容ひとつとっても、感性モデリングには未だ多くの課題が残され

ている。また量的変数と質的変数の両方が存在し、それらの関数関係も様々であることから、複数のケモメトリクス手法やデータマイニング手法を応用することが必要と考えられる。しかしながら、本モデルはこれをコンポーネントとして組み込んだ五感センサの小型・モバイル化、または本モデルを適用した食嗜好評価尺度の標準化などの技術向上により、将来期待されているユビキタス時代の到来にも対応した食情報機器の開発や社会システム構築ツールとして利用されるものと考えられる。

本稿で紹介した応用例に示されるように、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、認知ないし記憶が食感性に与える影響を評価することも可能と考えられる。

これら技術開発に併行し、非言語的に脳の活動を反映する EEG(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(誘発電位)の計測・分析を通じ、感性に関わる神経生理学的な活動を明らかにするなどの基盤的研究も進展している。このような基礎科学の分野でも、食感性に関わる脳内情報処理プロセスのモデリングや食嗜好形成メカニズムのモデリングなど、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。

参考文献

1. 相良泰行：「食品感性工学」，朝倉書店，東京（1999）
2. 相良泰行：日本官能評価学会誌，3（2），87（1999）
3. 相良泰行：日本味と匂学会誌，8（2），153（2001）
4. 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）
5. 相良泰行：おいしさをさぐる食品感性工学：化学工業日報社（2004）