

# 食感性工学によるおいしさの創出技術

相 良 泰 行

Sagara Yasuyuki

東京大学大学院農学生命科学研究科

## 1. はじめに

食品の「おいしさ」はヒトの知覚器官を総動員して評価されるが、そのプロセスでは「五感コミュニケーション」が重要な役割を演じている。例えば、鼻をつまんでジュースを飲むと味に変化を生ずる。これは鼻をつまむという行為が味覚と嗅覚との間のコミュニケーションを阻害したためである。また、筆者らは酸っぱいリンゴは硬く、甘いリンゴは柔らかく感じることを、さらに緑茶製品のペットボトルが中身の香味評価に多大な影響を及ぼすことを指摘した。これらの事実は知覚器官単一で「おいしさ」が評価されることは減多にないことを示唆している。したがって「おいしさ」の創出技術には五感コミュニケーションの効果を評価する方法論が求められる。

「食感性工学」のパラダイムと手法は、「食」にまつわるヒト個人の五感コミュニケーション、さらには消費者間のコミュニケーションを起点とした顧客満足型の新食品開発や加工プロセスの最適化などに役立つ手法を提供する。特に、食感性工学の根幹をなす「食感性モデル」は、このような「おいしさ」の生起・伝搬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る。本稿では、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てた事例を紹介する。

## 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五感コミュニケーション

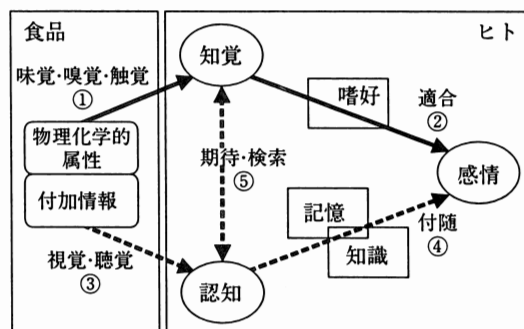


図1 「おいしさ」の食感性モデル

を表現するモデルとして、「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、食感性に係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、味覚・嗅覚・触覚によりセンシングされ、嗜好とのコミュニケーションを通じて、おいしさに影響する食品の成分や構造などを指す。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。例えば、GC-MSにより計測される飲料の揮発性成分に関するデータは「物理化学的属性」であり、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、評価の判定基準としておいしさに影響する因子と考えられる。

「認知」は主に視聴覚器官を通して、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、結果的には「態度」としておいしさに影響する。また「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、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) 知覚経路

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属性が味覚・嗅覚・触覚により知覚され（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「知覚経路」である。

## (3) 認知経路

この経路は知覚経路と並行し、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ると、それらに付随する感情が生じるとする「認知経路」（経路④）である。

## (4) 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、おいしさの評価に当たり補完する関係にある。この経路を「対応経路」（経路⑤）

と称する。この経路は、例えば、ジュースのブラインドテストにより、甘味と酸味とわずかな苦味が知覚されると、原料がグレープフルーツであることが推測される場合、逆にパッケージ情報の認知により、甘味と酸味とわずかな苦味が期待される場合などの相互作用を司る。

## 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、すなわち消費者の五感コミュニケーション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

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>I</i>	Ingredients: 成分	連続	機器分析
情報	<i>A</i>	Additional Information: 付加情報	名義	操作因子
知覚	<i>P</i>	Perception: 知覚	連続	官能評価 因子分析
嗜好	<i>H</i>	Hedonic Scale: 嗜好尺度	—	回帰分析
認知	<i>C</i>	Cognition: 認知	名義	記述的評価 テキストマイニング
記憶	<i>M</i>	Memory: 記憶	—	回帰分析
感情	<i>L</i>	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

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、ANNモデルを適用して、以下に示すような結果を得た。

- 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) 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。

## 5. 研究計画のデザイン

### (1) 研究手法のグランドデザイン

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したがって、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。

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

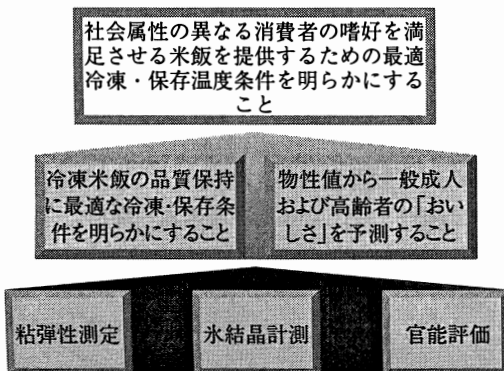


図2 研究のスキーム

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。したがって、本稿ではこれ以降、この計測項目については言及しない

### (2) 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。この手順にしたが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) 保存温度と保存期間

炊飯・放冷法については、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て決定した。

炊飯後の試料は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。保存後の試料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」とし、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。

#### (3) 計測・評価・ANN分析の手順

これらの試料について、テンシプレッサを用いた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

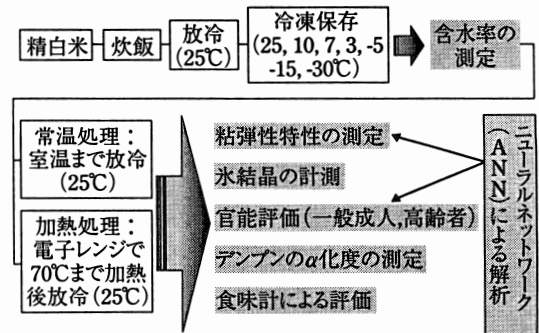


図3 測定項目・実験条件

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

写真1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。

## 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」・

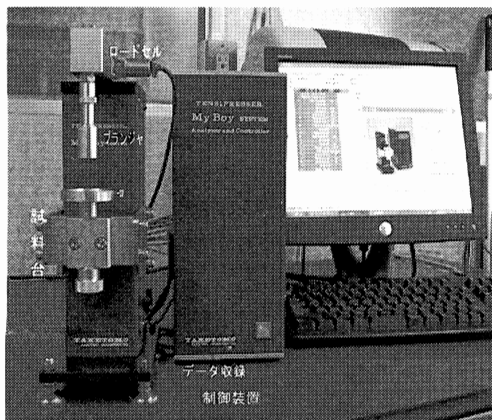


写真1 テンシプレッサ

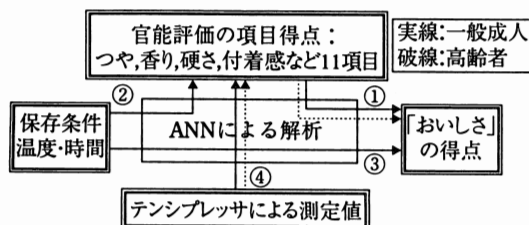


図4 ニューラルネットワークモデルによる解析手順

「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。

## 8. ANNモデルの適用

### 解析項目と手順

本研究で行った解析項目と手順の概要を図4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したがって、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) テンシプレッサにより得られた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）。

## 9. 粘弾性パラメータの経時変化

図5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

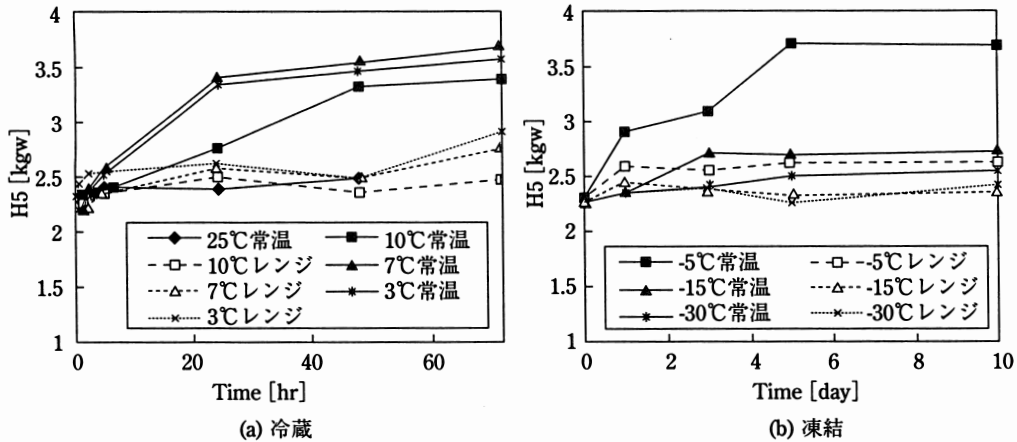


図5 保存期間中に測定されたコシヒカリの「硬さ (H5)」に関する経時変化

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、説明できることが分かった。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。

これらの結果より、コシヒカ리를 7・3・-5°C 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°C 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処理によりほぼ解消されることが分かった。ただし、-5°C 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。

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°C以上、-15°C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ーやおいしさ」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。

図6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、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。

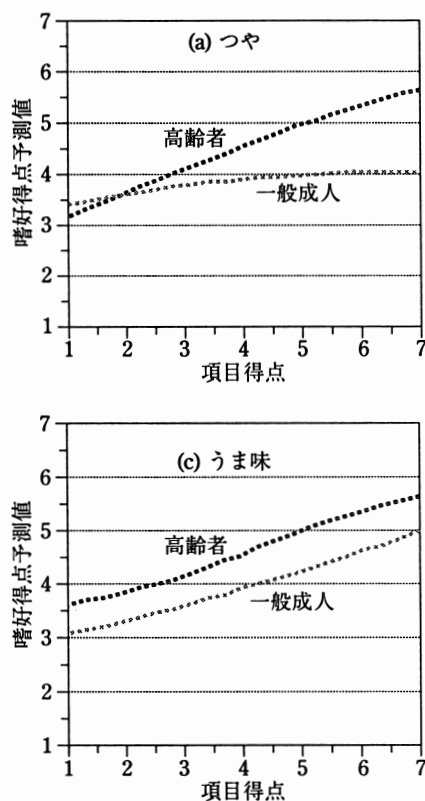


図6 項目得点と「おいしさ」(一般成人と高齢者の比較)

図7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

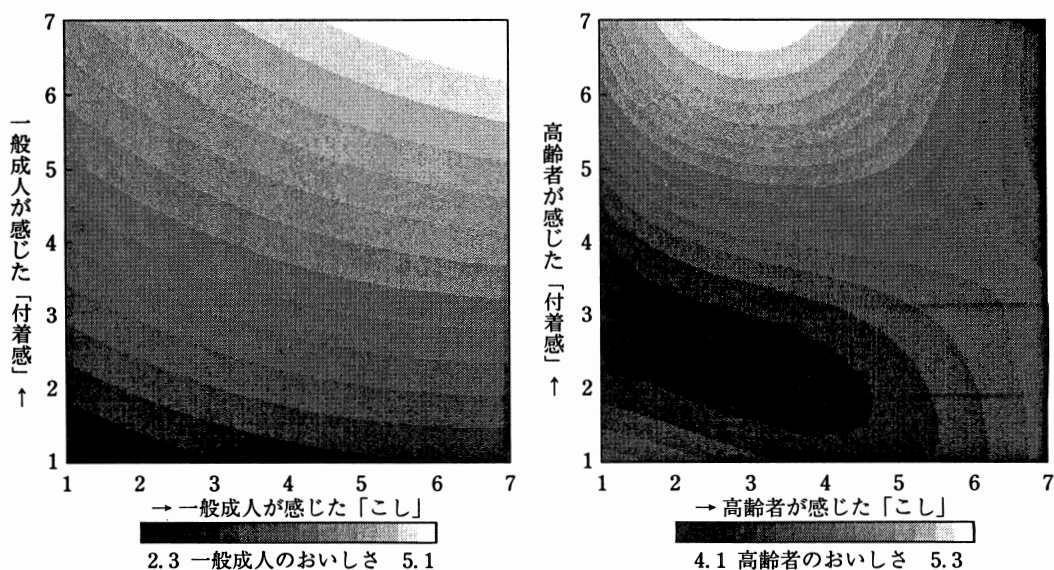


図7 「こし」と「付着感」が「おいしさ」に及ぼす影響

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。

### 11. 最適保存条件

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」のスコアに及ぼす影響についてANN解析し、得られた結果を「おいしさ」の等高線図として図8に示した。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。

### 12. 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。この解析による典型的な結果として、図9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。この図に示されるように、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を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。

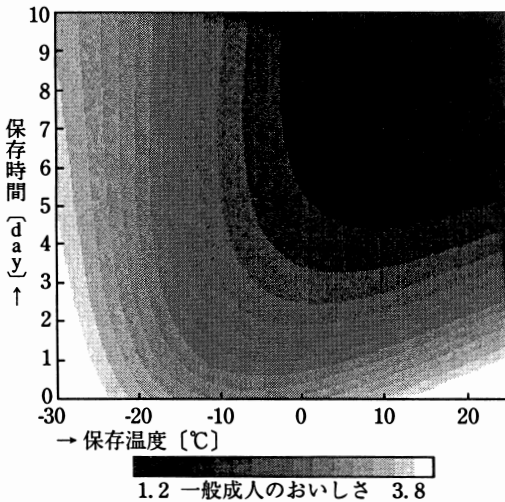
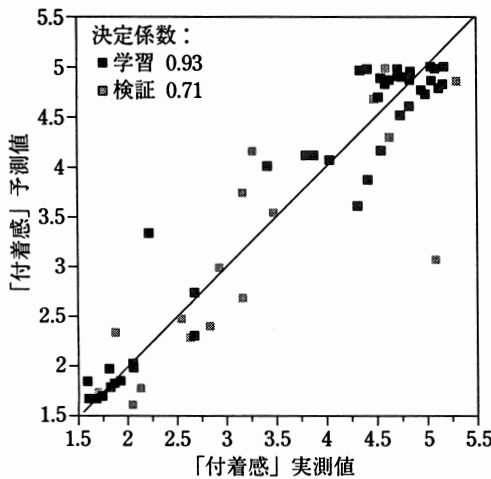
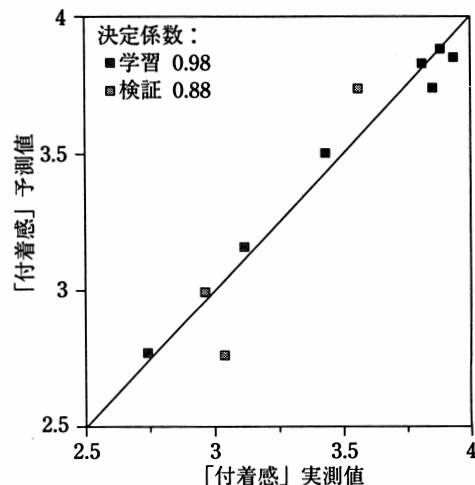


図8 コシヒカリの保存条件と「おいしさ」の関係



(a) 一般成人



(b) 高齢者

図9 ANN解析により計測データから予測した「付着感」



### 13. おわりに

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る。特に、ANNモデルによる解析は、消費者の五感コミュニケーションを起点とする工学、すなわち、Consumer-oriented Engineeringを具体的に実現した典型例であり、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) 相良泰行: 冷凍, 78 (914), 30 (2003)
- 10) 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)



さがら・やすゆき

東京大学大学院農学生命科学研究科  
農学国際専攻 教授

1972年東京大学大学院農学研究科農業  
工学専攻博士課程在学中に東京大学農  
学部助手採用。83年農学博士, 85年東  
京大学講師, 88~90年インドネシア共和国ポゴール  
農科大学大学院客員教授に派遣。97年東京大学助教  
教授。03年同教授現在に至る。

- 99年アジア・オセアニア乾燥会議メダル賞
- 02年第13回国際乾燥シンポジウムにてクリオフィルマ凍結乾燥賞
- 03年第2回北欧乾燥会議最優秀R&D賞
- 趣味: モダンジャズプロデュース, 精神分析, 映画・民族音楽集録ほか多趣味

HACCP≒ISO14000+ISO9000

## HACCP推進の看板をあげましょう

### 推進から認証まで、取得に役立ちます!!

# マイター・マイターグリーン



●マイターおよびマイターグリーンは合成色素剤を使用した環境浄化剤です。種の継承のために抗菌作用を神から与えられているニワトリのタマゴでもより安全で良質な鶏卵生産のためにHACCPが養鶏場に役立っています。

◀岩手県の大手養鶏場では、これを使用してHACCP推進農場であることをアピールしています。

臭い・臭いのないきれいな製造工場をHACCP

●使い方が広いため、ぜひ、ご相談下さい。

製造販売元  株式会社 **養日化学研究所**

〒463-0074 名古屋市守山区町北9-25 TEL.052-791-2084 (代)