マルチチャネル味覚センサを用いた米の味の識別

正員 八尋 美希 (近畿大九州短大)

正員 都甲 潔 (九州大)

正員 飯山 悟 (近畿大九州工学部)

Discrimination of the Taste of Rice with a Multichannel Taste Sensor

Miki Yahiro, Member (Kyushu Junior College of Kinki University)

Kiyoshi Toko, Member (Kyushu University)

Satoru Iiyama, Member (Kinki University in Kyushu)

The eating quality of rice is evaluated by six attributes such as appearance, flavor, stickiness, hardness, taste and overall judgement. Taste can be measured with a multichannel taste sensor which uses lipid membranes as the receptor part. The sensor responds to each food by changes in the electric potentials from eight kinds of lipid membranes. In this paper, we investigated the taste of rice with a multichannel taste sensor. Four kinds of foreign cultivated rices and six brands of domestic rices (Koshihikari, whose producing district differed from each other) were used as samples. Following results were obtained.

1) Each type of rice was distinguished by output patterns of eight electric potentials in the taste sensor.

2) Using principal component analysis applied to these data, rices were clearly classified into two groups of domestic and foreign ones, whereas rice produced in Australia was close to domestic rices.

3) Sensory evaluations of cooked rices were made, and the result was found to correlate with outputs of the taste sensor.

4) Fresh rice was distinguished from rice, which was stored for one month in sunshine, using the taste sensor.

キーワード：マルチチャネル味覚センサ，脂質膜，味，主成分分析，米

1. はじめに

米は日本人の主食であり，毎日食べるものであるから，安全かつおいしいものが求められるのは当然である。しかも，近年，消費者の多くは価格よりも食味を基準にして米を選ぶ傾向になりつつある。従来，米のおいしさを示す方法¹⁾は大きく2つに分けられ，その1つは人間が行う官能検査であり，外観，香り，味，粘り，硬さ，つや，なめらかさ，甘味などの評価項目で判定していたが，これらはパネルの感覚や嗜好の個人差があり，これらをどう考慮すればよいかなどの問題が残されている。もう一方は，分析機器を使った方法であり，先ほどの味の項目を除く5項目についての代表的な測定装置として測

色色差計，ガスクロマトグラフィー，テクスチュロメータ，近赤外分光分析法，電磁波による方法などがある²⁾。これらの事実からわかるように，米に関しては味以外の要素が測定され，そのデータより判定されているのが現状である³⁾。

他方，味そのものは人の舌で評価され，よく訓練されたパネルと統計解析を用いれば十分に信頼できる結果を得ることが可能である^{5)~8)}。しかしながらこの方法は多分に時間と労力を要するものであり，他の評価項目同様に簡便な分析機器やセンサシステムの開発が望まれていた。

人は舌上の味蕾中に存在する味細胞で化学物質を受容しているが，味受容の基本原理は生体膜と化学物質の

相互作用であり、生体膜は脂質二分子層とタンパク質から構成されている。そこで我々は、生物の味受容機構を模倣するという目的で、生体膜の構成成分である脂質から作成した人工膜をセンサのトランスデューサとしたマルチチャンネル味覚センサを開発した⁹⁾。このセンサは5基本味に対して、それぞれ異なる応答パターンを示すので、ビール等の飲料食品やトマトのような固形食品について、味の識別が可能である^{10)~16)}。また、測定データに主成分分析等の多変量解析を施すことで、食品の味の定量化も可能になりつつある。そこで、本報ではマルチチャンネル味覚センサを用いて外国産米および国産米の計10種類の米についてその応答電位パターンから味の識別を試みた。同時に官能検査も行い、味覚センサの応答電位との関係も調べた。

2. 実験方法

2.1 マルチチャンネル電極

電極の正面図と側面図を図1に示す。この電極は、厚さ2mmのアクリル板に4個ずつ2列に直径0.5mmのAg線を通し、テーパ状の穴をあけた厚さ10mmのアクリル板をその上に貼付したものである。Ag線表面にはAg/AgClメッキが施されている。テーパ状の穴の中には100mMKClを封入し、テトラヒドロフラン(THF)にポリ塩化ビニル(PVC)を1%加えたペーストを用いて、その穴を塞ぐように脂質膜を接着した。

以上よりわかるように、この電極は脂質膜の両側に被測定溶液と100mMKClが接する構造になっており、生物の味受容部(味細胞)と対応させると、100mMKCl側を細胞内、膜を介した反対側の被測定溶液を細胞外とみなすことができる。

図1. マルチチャンネル電極

Fig.1. The multichannel electrode.

2.2 脂質膜

脂質膜は合成高分子であるPVCをTHFに溶かし、脂質と可塑剤としてのジオクチルフェニルフォスフォネートを混入したものである。これをシャーレ上で約30分間放置した後、約2時間あたため、THFを揮散させ

ると透明なやわらかいフィルム状の脂質膜が形成される。厚さは約200 μ mであった。

各チャンネルに使用した脂質の材料およびその略称を表1に示した。DOPはジオクチルフォスフェート、TOMAはトリオクチルメチルアンモニウムクロライド、OAmはオレイルアミン、DAはデシルアルコール、OAはオレイン酸である。他のDOP:TOMA=9:1、DOP:TOMA=3:7やDOP:TOMA=5:5などは2種類の脂質の混合物であり、数値はモル濃度の比率を表している。

表1. 各チャンネルに用いた脂質

Tab.1. Lipid materials.

チャンネル	脂 質
1	DOP : TOMA = 3 : 7
2	トリオクチルメチルアンモニウムクロライド (TOMA)
3	DOP : TOMA = 5 : 5
4	オレイルアミン (OAm)
5	ジオクチルフォスフェート (DOP)
6	DOP : TOMA = 9 : 1
7	デシルアルコール (DA)
8	オレイン酸 (OA)

2.3 測定装置

味溶液が入ったビーカーに味覚センサのマルチチャンネル電極と参照電極(東亜, HS-205C)を入れ、両電極間の電位を測定した。各チャンネルからの電気信号は、8チャンネルのアナログスイッチによって入力切り替えを行い、デジタルボルトメータでA/D変換してコンピュータ(NEC製9801)に取り込んだ¹⁴⁾。

2.4 試料

サンプルの米については1994年度に輸入された外国産米と、同年に収穫された国産米であり、福岡市のスーパー及び小売店で一般に販売されている袋詰めの精白米を購入した。外国産米の産地はアメリカ、タイ、中国、オーストラリアの4種類である。国産米は産地が異なる6種類のコシヒカリ(宮崎、新潟、島根、佐賀、福岡A、福岡B)で、試料米はすべて1994年10月に購入した。これらの米は、1994年11月の試験までの間室温で保管した。

なお、「保存米」については基準米である宮崎コシヒカリを1カ月間直に天日にさらしたものを使用した。

2.5 基準溶液およびサンプル溶液作成方法

炊飯はナショナル電子ジャー炊飯器SR-MF18型(1.8リットル炊き)を使用して行った。米80g(90ml)に蒸留水90mlを加え、20回攪拌後換水して合計5回同様に洗米を繰り返した後、ザルにあげて水切りした。その後蒸留水900mlを加え、粥状になるよう「おかゆモード」に設定し直ちに炊飯した。このときの室温・水温はともに25 $^{\circ}$ Cであった。なお後述するような検討の結果、加水量は米の体積の10倍とした。炊飯直後に米粒を取り除き、残りの溶液をビーカーに移し、

蓋をして 30 分間冷凍庫に入れ室温付近まで冷却した。この後、宮崎コシヒカリを基準溶液とし、これ以外の米はサンプル溶液とした。

2.6 測定方法

脂質膜を貼った電極を基準溶液中に半日以上浸したまま冷蔵庫に保存することによりプリコンディションを行った。以下のように基準溶液からみたサンプル溶液という相対測定を行った¹⁰⁾。今サンプル溶液と基準溶液の性質の差が大きいとすると、センサをサンプル溶液に浸漬したとき、膜の状態が大きく変化する。その結果、センサの味応答特性が変化し、味の異なる基準溶液とサンプル溶液との間で電極の出し入れをすると電位応答にヒステリシスを生じやすい。しかし、あらかじめサンプル溶液に近い基準溶液でプリコンディションを行っておくと、米の成分を脂質膜に十分浸透させることができ、その状態をベースにすることでそこからの変化が測定可能となる。プリコンディションを行った電極を用いて、米の味という微妙な味の計測も可能となった。

測定は以下のような手順で行った。

- 1) マルチチャンネル電極および参照電極を基準溶液に入れて 120 秒後の電位 (V_0) を測定した。これを前回との測定との差が $\pm 0.5\text{mV}$ 以下になるまで繰り返した。
 - 2) 安定性が確認できたら、サンプル溶液の中に電極を入れ、120 秒後の電位 (V) を測定した。
 - 3) 洗浄溶液 (1mMKCl) の中に電極を入れ、マグネッスターラーで約 30 秒間洗浄した。
 - 4) 上記 1)~3) の動作を全部で 3 回繰り返した。
- つまり、サンプル溶液中の電位と基準溶液中の電位の差、($V - V_0$) を応答電位とした。基準溶液はプリコンディション後、同じ条件で作成し、各サンプル毎に新しいものと交換した。測定は 25°C で行った。

2.7 米飯の官能検査

サンプルの米 160g (180ml) を 360ml の蒸留水で 10 秒間洗米し、これを繰り返し、米の重量の 1.5 倍、タイ産米のみ 1.8 倍の水を加えた。これを 30 分間吸水させたあと、粥作成時と同様のマイコン制御炊飯器の「ふつう」モードで炊飯し、本学生 10 名をパネルとして、日本穀物検定協会の方法に準じて官能検査を実施した¹⁷⁾。官能検査項目は総合・外観・香り・味・粘り・硬さの 6 項目で、基準米 (福岡 B) と 3 種類の試験米を相対法で比較し、総合・外観・香り・味では基準米を 0 として良い~不良、粘りでは強い~弱い、硬さでは硬い~軟らかいについて +3 から -3 までの 7 段階評価で示した。官能検査は、異なる日に 2 回、同一パネルで行い、基準米以外に合計で 6 種類の試料米を評価した。

3. 結果および考察

3.1 マルチチャンネル電極の応答特性

図 2 に基準米を測定した結果を示す。ここでの応答電位の不偏標準偏差は 3 番のチャンネルを除き $\pm 1\text{mV}$ 以

内であり、後述のように異なる品種の米では数 mV は異なるパターンを示すので、試料識別が可能な精度であることがわかる。ただし、ビールやコーヒーなどの他の測定対象^{10)~12)}に比べてやや大きな不偏標準偏差であった。

図 2. 基準米の応答電位の平均値と不偏標準偏差
Fig.2. Response pattern for standard rice.

図 3. 基準米溶液中の電極の NaCl 応答
● 3:7, ○ TOMA, □ 5:5, ■ OAm
△ DOP, ▲ 9:1, × DA, ◇ OA
Fig.3. Response of a multichannel sensor to NaCl.

ひき続き、各脂質膜の性質を知るために基準溶液中に NaCl 濃度が 1, 10, 100, 300, 400 mM となるよう NaCl を添加し、濃度に対する応答の依存性を調べた (図

3). 例えばOA膜(8番のチャネル)はNaClの濃度が高くなるにつれ、基準米より正值の方へ応答していることから、この膜は陽イオンである Na^+ に反応し、負の電荷を持つ膜として機能していると考えられる。実際、OA膜はカルボキシル基という負の電荷をもつ脂質で構成されており、この脂質はNaClやHClといった電解質の味物質に対し濃度とともに電位が上昇することがわかっている¹⁵⁾ことから、プリコンディション下でも本来の性質を保持していることが判明した。一方、DA膜(7番のチャネル)と9:1膜(6番のチャネル)は負値の方へ応答していることから、プリコンディションでプラス膜に変化していることがわかる。

3.2 基準溶液の濃度調整

従来すべての味に対応可能な測定の基準液としては、人の唾液に相当する無味の希薄電解質溶液すなわち1mM KClが用いられてきた^{13),15),16)}。しかし、電極への米の成分の吸着等を考慮するなら、基準溶液の成分は被測定溶液のそれに近いものがよいと考えられる。マルチチャネル味覚センサでの測定は、人が食べるのに近い状態での測定が望ましいが、白飯の測定は困難なことから、米は粥状に炊飯した。しかし、どのような粥状が最適かは検討の余地がある。そこで人が食する状態になるべく近い濃度で、かつ各サンプルの特徴が期待できる粥の濃度を調べることにした。そのために米と蒸留水の積比による応答電位を調べた結果が図4である。この測定でのプリコンディションは粥の濃度を1:10で行った。NaClに対する応答電位は脂質の親水基が水溶液中で解離し、膜表面が正負いずれの電荷を持つかに左右されている¹⁸⁾。負の電荷を持っていたOA膜(8番のチャネル)の応答電位は、体積比が1:100, 1:50, 1:20と減少すると溶液中のイオン強度の増加、つまり電解質の味

図4. 米と蒸留水の体積比が異なる基準米溶液の測定パターン

■1:5, △1:10, ▲1:20, ○1:50, ●1:100

Fig. 4. Output patterns for different volume of standard rice.

物質の濃度増加にともない応答電位は上昇する。

しかし、正の電荷を持つ他のチャネルはそのような傾向が見られず、この結果はこれらのチャネルがイオン強度以外の吸着物質等の米の成分を拾っていることを示唆する。さらに1:5の体積比の基準米のパターンはイオン強度との関連性も先の1:10などと比べて明確ではない。また、1:5の体積比で粥を作成するとその溶液の部分が少ないため、安定な膜/溶液界面が形成されず、安定した測定が行えなかったとも考えられる。これらのことからできるだけ米の割合が高く、しかも安定した測定が行えるサンプルとして、基準溶液は1:10の体積比で作成した粥を使用することとした。

3.3 マルチチャネル味覚センサによる米の識別

米の品種改良が進んでいる今日、その種類は日本でおおよそ1,000品種、世界中で10万品種あるのではないかとされている。図5は外国産米の味応答で、アメリカ産米が基準溶液より負方向に大きく応答し、OAm膜(4番のチャネル)および9:1膜(6番のチャネル)ともに約-20mVであった。中国産米はアメリカ産米とOAm膜(4番のチャネル)のみ異なる応答をしていた。タイ産米については9:1膜(6番のチャネル)のみが大きく負方向に反応していた。オーストラリア産米はどのチャネルも基準溶液より正方向に反応していたが、チャネルの応答電位はゼロつまり基準米のそれに近かった。このことから、オーストラリア産米は他の外国産米と比較すると、国産米の味の成分に近いと考えられる。

図5. 外国米の測定パターン

●アメリカ産米, ○タイ産米
■中国産米, □オーストラリア産米

Fig.5. Output patterns four brands of foreign cultivated rice.

一方、図6は国産米の同一品種すなわちコシヒカリ5種に対する味覚センサ応答である。これら国産米は

OAm 膜 (4 番のチャンネル), 9 : 1 膜 (6 番のチャンネル), OA 膜 (8 番のチャンネル) を除いてすべての応答電位が $\pm 10\text{mV}$ 内にあり, 図 5 の外国産米の応答電位に比べて応答電位の幅が小さかった。

さらに味覚センサで測定した米の識別精度について t 検定を行った。その結果, 例えばタイ米と中国米で 8 チャンネルのうち 3 : 7 膜 (1 番のチャンネル), TOMA 膜 (2 番のチャンネル), 5 : 5 膜 (3 番のチャンネル), 9 : 1 膜 (6 番のチャンネル), DA 膜 (7 番のチャンネル), OA 膜 (8 番のチャンネル) の 6 つにおいて, 5 % の危険率で米の応答パターン間に有意差が認められた。他の米についても先程と同様に米の応答パターン間に有意差が見られ, 特に 5 : 5 膜 (3 番のチャンネル), DA 膜 (7 番のチャンネル) が外国産米および国産米のすべての米の識別に有効であることが判明した。以上のように, 味覚センサで測定した米の応答パターンから米の識別は可能であることがわかる。

図 6. 国産米の測定パターン

●福岡 A, ○島根, ▲新潟, △福岡 B, ■佐賀

Fig.6. Output patterns for five brands of domestic rice.

3.4 “保存米”による応答電位の変化

米を長期間おいしく食べるためには, 適切な条件で保存することが欠かせない。なぜなら米は時間の経過とともに食味が低下していくからである。米は古くなると粘りやつやがなくなり, 匂いも変化することが知られているので, 微妙な味も変化すると考えられる¹⁹⁾。そこで購入直後の基準米と基準米を精米後 1 カ月間直に天日干しにした米 (“保存米”) を測定した。図 7 より “保存米” は 9 : 1 膜 (6 番のチャンネル), DA 膜 (7 番のチャンネル) および OA 膜 (8 番のチャンネル) で大きく応答

パターンが異なっていることがわかる。

図 7. “保存米”の測定パターン

○基準米, ▲保存米

Fig.7. Output patterns for stored rice.

3.5 主成分分析結果

マルチチャンネル味覚センサは 1 つのサンプルにつき 8 チャンネルの独立したデータを得ることができるが, データが多すぎるため, 逆に被測定対象間の違いを直感的に知るのは困難である。そこで今回得られたデータの分散共分散行列を用いて主成分分析を行った。なお主成分分析に使用したソフトは「C 言語による最新アルゴリズム辞典 主成分分析 princo.c」を改良したものである²⁰⁾。主成分分析は 2 次元以上あるデータの持つ情報をできるだけ情報量を失うことなく, 少ない次元へ縮約する多変量解析の 1 つの方法である。つまり, 8 次元のバラツキのあるデータをそれより少ない次元の情報に縮約することでデータの説明を行う。

各チャンネルの固有ベクトルおよび固有値を表 2 に, 第 1 主成分と第 2 主成分のプロットを図 8 に示した。OAm 膜 (4 番のチャンネル) と 9 : 1 膜 (6 番のチャンネル) の第 1 主成分の固有ベクトルの値がそれぞれ 0.5073, 0.6593 と他のチャンネルより大きく, これら 2 チャンネルが第 1 主成分の特徴を決定していることがわかる。それぞれの第 1 主成分, 第 2 主成分, 第 3 主成分の寄与率は順に 73.2%, 16.7%, 6.6% であり, この 3 つの主成分で累積寄与率は 96.5% であった。つまり, 第 3 主成分まででこの測定結果の説明ができた。図 8 の第 1 主成分で見ると外国産米は負方向に大きくその領域が広がり, 国産米は正方向に位置している。第 2 主成分については負方向に国産米が広がっている。よって, オーストラリア産米を除く外国産米と国産米のクラスタリングが図 8 でほぼ可能であった。オーストラリア産米は国産米に近いところに位置していた。また “保存米” は外国産米, 国産米のどちらも異なる 8 チャンネルの応答電位パ

ーンを示したが、図8では基準米（宮崎コシヒカリ）に近いところに位置していた。

表2. 各チャンネルの固有ベクトルおよび固有値

Tab.2. Eigenvector and eigenvalue.

チャンネル	固有ベクトル		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
1	0.1636	0.1934	-0.1885
2	0.3761	0.0968	-0.1846
3	0.1532	0.1891	-0.1091
4	0.5073	0.3665	0.7397
5	0.1593	0.0614	0.1133
6	0.6593	-0.6888	-0.1661
7	0.2173	0.2913	-0.2891
8	0.2090	0.4691	-0.4973
固有値	198.7	45.4	18.0
寄与率(%)	73.2	16.7	6.6
累積寄与率(%)	73.2	89.9	96.5

図8. センサ出力を用いた主成分分析結果

● 外国産米, ○ 国産米

Fig.8. Principal component analysis applied to the response patterns.

3.6 米飯の官能検査結果

官能検査結果を表3に示す。総合値を見ると新潟産コシヒカリ、オーストラリア産米の順に良食味米と判断された。

総合値と味との相関が0.835、外観0.733、香り味では0.628と高い相関を示し、各量は必ずしも独立ではないが、同様の報告が米飯食味試験値に関してなされている²¹⁾。

これら6項目の官能検査のデータを主成分分析した結果が図9である。外国産米は左側に、国産米は右側に

位置し、図8と相対値が類似していることがわかる。類似する理由としては、最初の米の成分の違いが、咀嚼した後米の味を生じる他の化学成分や組成の違いといった形で反映されているものと考えられる。つまり、センサは味を生じる米の化学成分を拾い、官能検査では咀嚼した後の味を拾っているのであるが、官能検査での味の違いが当初の化学成分の違いに由来する要素を持っているため、結果的に味覚センサは官能検査と高い相関を示したものと考えられる。

また、センサ出力を用いて米の味の定量化を試みた。そのため、表3に示した米の味の官能検査結果を目的変数、センサ出力に由来するPC1、PC2等を説明変数とした。ただその際注意しなければならないことは、説明変数の数を増やしていくと、たとえこの説明変数が意味のない量であっても、必然的に相関が高くなるという事実である。そこでまず目的変数（味）を1つの説明変数（PC1）で重回帰分析し、そのときの自由度調整済み決定

表3. 官能検査結果

Tab.3. Sensory evaluations.

品種	総合	外観	香り	味	粘り	硬さ
アメリカ産米	-2.4	-2.0	-2.5	-2.1	-1.3	0.8
タイ産米	-1.8	-1.2	-1.1	-1.9	-1.7	1.2
中国産米	-2.5	-2.6	-2.2	-2.3	-1.6	2.1
オーストラリア産米	-0.6	0.1	-0.4	-1.0	-1.0	0.7
新潟	-0.1	0.0	-0.4	-0.7	0.8	-0.4
佐賀	-0.3	-0.3	-0.6	-0.8	-0.6	0.5

図9. 官能検査結果を用いた主成分分析結果

● 外国産米, ○ 国産米

Fig.9. Principal component analysis applied to the sensory evaluations.

係数 $\hat{R}$ を計算する。次に2つの説明変数(PC1, PC2)で同様に $\hat{R}$ を計算する。以下この操作を続け、 $\hat{R}$ が最大のところで重回帰式を求めるという一種のステップワイズ法を採用した²²⁾。

結果を図10に示す。味覚センサ出力はかなりよく米の味を表すことに成功していることがわかる。このとき自由度調整済み決定係数 $\hat{R}$ は0.7987であった。また回帰式は

$$Y = 0.046 \times PC1 - 0.050 \times PC2 - 1.060$$

であった。つまり、米の味は味覚センサ出力に基づく2つの説明変数で定量化することが可能である。

図10. 重回帰分析の結果

Fig.10. Multiple regression analysis.

4. まとめ

米のおいしさは外観、香り、粘り、硬さ、味などの評価項目で一般的に評価されている。この中でも味は、定量的な評価がもっとも難しい部類に属している。味はその人の食習慣や食文化を基礎にした主観的な感覚で表現されることが多く、また客観的に測定する方法がこれまでなかったためである。脂質膜を味のトランスデューサとして用いるマルチチャネル味覚センサは、主観的に表現されていた味を定量的に評価する機器として開発された。

そこで米の味をマルチチャネル味覚センサを用いて、外国産米4種、国産米6種の応答電位を測定し、次の結果を得た。

(1) 各種の外国産米や国産米のマルチチャネル味覚センサ出力パターンはそれぞれ大きく異なっていた。このことから、味覚センサを用いて米の種類や産地を識別する可能性が示された。

(2) 主成分分析により、外国産米と国産米のクラスタリングができたが、オーストラリア産米は国産米に近い

ところに位置した。

(3) 1カ月”保存米”は、新米とは全く異なる応答電位パターンを示すことから、両者の識別も可能であった。

(4) 官能検査結果との比較からマルチチャネル味覚センサは米の味を総合して識別できる可能性が示唆された。

ただし、ここで行われた粥の測定は、ビールやコーヒー等の飲料食品の測定^{10)~12)}に比べ、不偏標準偏差が大きかったので、測定系や測定方法の改良が必要であると考えられる。また今回はマルチチャネル味覚センサを用いて米の銘柄や品質の識別が行えるかどうか的を絞ったため、センサ出力と化学成分との対応付けは行わなかった。今後、各種米の化学成分及び食味の差も測定し、センサ出力と比較することで、米の味の定量化が可能になると期待される。

(平成8年8月19日受付,平成8年11月21日再受付)

文 献

- (1)横尾政雄：米のはなしI,技報堂出版 (1993)
- (2)食品産業オンラインセンサー技術研究組合編：食品産業とセンサー,光琳 (1991)
- (3)雑賀慶二：食品工業,光琳, 12, 37-43 (1992)
- (4)庄司一郎, 倉沢文夫：日本家政学会誌, 43,219-227(1992)
- (5)阿久澤さゆり, 澤山 茂, 川端晶子：日本家政学会誌,42,441-450(1991)
- (6)松江勇次：日本家政学会誌,43,1027-1032(1992)
- (7)会田久仁子, 角野幸子, 水野時子, 角野 猛, 山田幸二：日本家政学会誌, 46,871-875(1995)
- (8)丸山悦子, 坂本 薫, 岡井紀代香：日本調理科学会誌,28,224-230(1995)
- (9)都甲 潔：味覚センサ,朝倉書店(1993)
- (10)池崎秀和, 林 健司, 山中章巳, 立川理江子, 都甲 潔, 山藤 馨：電子情報通信学会論文誌, J74C-II, 434-441(1991)
- (11)K.Toko,T.Murata,T.Matsuno,Y.Kikkawa,K.Yamafuji : Sensors and Materials,4,141-151(1992)
- (12)Y.Kikkawa, K.Toko, K.Yamafuji : Sensors and Materials,5, 83-90(1993)
- (13)Y.Kikkawa, K.Toko, T.Matsuno, K.Yamafuji : Jpn.J. Appl.Phys., 3 ,5731-5736 (1993)
- (14)S.Iiyama,M.Yahiro,K.Toko : Sensors and Materials,7,191-201(1995)
- (15)K.Hayashi, M.Yamanaka, K.Toko, K.Yamafuji : Sensors and Actuators,B,2,205-213(1990)
- (16)K. Toko, T. Matsuno, K. Yamafuji, K. Hayashi, H. Ikezaki, K. Sato, R. Toukubo, S. Kawarai : Biosensors Bioelectronics,9,359-364(1994)
- (17)竹生新治郎：米の科学, 朝倉書店(1995)

-
- (18) K.Oohira, K.Toko, H.Akiyama, H.Yoshihara, K.Yamafuji : J.Phys.Soc.Jpn., 64, 3554-3561 (1995)
(19) 倉澤文夫 : 米とその加工, 建帛社 (1982)
(20) 奥村晴彦 : C言語による最新アルゴリズム辞典, 技術評論社 (1991)
(21) 掘野俊郎, 岡本正弘 : 中国農研報, 10, 1-15 (1992)
(22) 石村貞夫 : すぐわかる多変量解析, 30-31, 東京図書 (1992)

八尋 美希 (正員) 1967年2月18日生まれ。92年福岡教育大学大学院家政教育専攻修了。96年4月近畿大学九州短期大学生活情報科講師, 現在に至る。応用物理学会, 日本家政学会会員。

都甲 潔 (正員) 1953年2月23日生まれ。80年九州大学工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。工学博士。90年九州大学工学部電子工学科助教授。現在に至る。応用物理学会, 膜学会, 生物物理学会, 電子情報通信学会会員。

飯山 悟 (正員) 1946年7月1日生まれ。73年3月九州大学農学研究科食糧化学工学専攻博士課程修了。農学博士。91年4月近畿大学九州工学部工業化学科教授, 現在に至る。農芸化学会, 生物物理学会会員。