

総説特集：うま味とおいしさを生み出す科学の—世界伝統から先端技術へ— 1

うま味、おいしさを生み出す科学技術の世界：味、香り、色

村田 容常*

(お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科)

うま味の発見を報告した池田菊苗博士の論文では、味、香り、色の三者がともに述べられている。また、味の生理学的役割も考察されている。おいしさの基本は味物質にある。しかし同時に香りや色もおいしさの重要な要素となる。糖（甘み）とアミノ酸（うま味を含む）との間で起こるメイラード反応は食品の香りや色に大きな影響を及ぼすが、同時に味にも影響を与えている。伝統食品のおいしさの要因は様々に科学的に解明され、その成果が食品の製造にフィードバックされている。本シンポジウムでは科学と技術に基づき、食品のおいしさやうま味がどのように改良、維持されているかを見てみたい。

キーワード：味、香り、色、メイラード反応

1. 味、香り、色とうま味の発見

うま味の科学的研究は、鰹節のうま味がグルタミン酸イオンであるとした1908年の池田菊苗博士の発見に始まる。論文が発表されたのは1909年で、その論文「新調味料に就いて」¹⁾の中で「～今日生理学者によって一般に認められて居るのは甘酸鹹苦の四味に過ぎませぬ。その他は皆是等の味の種々に混合したものであると説かれて居ります。(略)併ながら自分は此の外に少なくとも一つの區別があると信じて居りました。それは魚類肉類等に於いて吾人が「うまい」と感ずる一種の味でありまして鰹節昆布などの煮出汁に於いて其の味が最も明瞭に感ぜらるるのであります。(略)説明の為に此の味をうま味と名づけておきます。」と「うま味」の名が見える。うま味はその後、1985年の第1回うま味の国際シンポジウム、1990年第2回うま味の国際シンポジウム等を通じ世界的に第五の味として認知され、さらに学術用語として英語でも“umami”と表記されるようになった。

池田菊苗博士は同論文¹⁾の初めに、「諸種の感覚の内臭覺と味覺とは特に化学的感覚と称えらるるものでありまして物質の化学的構造と其の臭及び味と

の間に最も密接の関係あるべきとは明白であります。が実際學術的に究められた所は遺憾ながら尚ほ甚だ少ないと言はねばなりません。(略)光の感覚においては其の刺激が全く物理的であるに関わらず感覚の生じる所以を説明するには化学変化を仮定する学者がおります(略)。諸物質の化学的性質とその発し若しくは吸収する光の性質との関係に就きては(略)一方に於いてはスペクトロスコピーに為り一方に於いては色素の構造論となって居ります。」と述べており、味、香り、色の研究と化学との関係を述べている。さらに感覚と生理的役割の関係を述べ、「抑も嗜好は生物進化の結果主として生命の保護及び繁殖に必要な本能的作用を最適な径路に導く如く次第に発達して来たものであって食物に対する嗜好は成るべく栄養価値多きものを選択せしめる様になって居るべきは疑いを容れぬところあります。」と、嗜好性と栄養の関係に明瞭に考察している。今日味覺の持っている生理的情報としての役割は広く認められている(表1)が、明治24年(1909年)の段階でははなはだ慧眼と言える。

Received June 13, 2011; Accepted July 4, 2011

Scientific world producing umami and food acceptability: Taste, aroma, and color.

* Masatsune Murata: Ochanomizu University, Department of Nutrition and Food Science, 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan; murata.masatsune@ocha.ac.jp; Fax: +81-3-5978-5755

表1 味、味物質と生物学的意義

味	味物質	生物学的意義
甘味	糖	エネルギー
うま味	アミノ酸 ヌクレオチド	タンパク質、アミノ酸栄養
塩味	食塩	無機物
酸味	有機酸	腐敗 エネルギー
苦味	アルカロイド	異物

2. メイラード反応や成分間反応により生じる味関連物質

おいしさの基本は味物質にある。しかし同時に香りや色もおいしさの重要な要素となる。例えば和の調味料の代表である醤油やみそは、食塩とグルタミン酸を高濃度を含んでいて、独特の香り、色を示す。この独特の香りや色にはメイラード反応（アミノカルボニル反応とも言う）（図1）が深く関わっている。メイラード反応は、糖などの還元基とアミノ酸、ペプチドなどのアミノ基との反応であるが、甘味成分（糖）とうま味成分（アミノ酸や核酸）が存在すると起こる反応であると言える。醤油やみその色は、原料中の糖とアミノ酸による成分間反応（メイ

ラード反応）により形成されるが、一部の香り成分も同反応により生じる。グルタミン酸の存在を、色や香りが間接的に示しているとも言える。伝統的調味料のおいしさの要因は様々に科学的に解明され、その成果が食品の製造にフィードバックされている。

近年、新たなうま味関連物質や味を増強する成分、こくや厚みに関与する成分などが、メイラード反応などの成分間反応により、加工や加熱調理中に形成されることが報告され始めた。図2にそれらの成分を示す。メイラード反応の初期生成物である*N*-グルコシル-グルタミン酸と*N*-(1-デオキシフルクトシル)-グルタミン酸の呈味性が見いだされた²⁾。

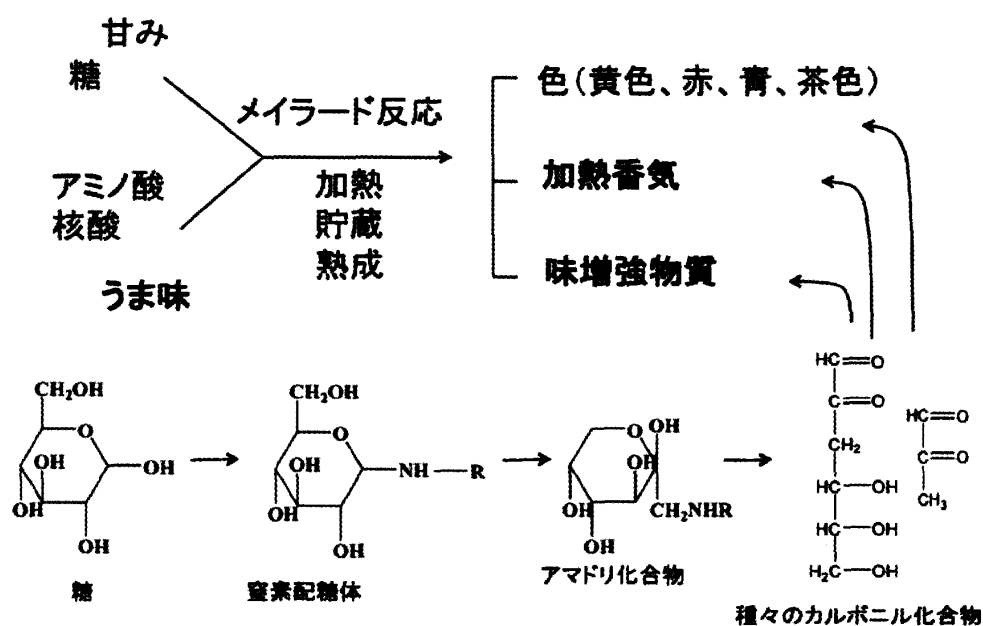


図1 メイラード反応とおいしさ

うま味、おいしさを生み出す科学技術の世界：味、香り、色

前者は、グルタミン酸とグルコースの窒素配糖体で、後者はアマドリ化合物である。いずれもうま味様の味を呈する。その閾値は1-2 mM程度であり、グルタミン酸ナトリウムと同程度である。乾燥トマト中には *N*-(1-デオキシフルクトシル)-グルタミン酸 (アマドリ化合物) が1.5 g/100 g程度存在した³⁾。麦芽中には13 - 33 mg/100 g存在するが、ビール中では検出されなかった⁴⁾。欧州では乾燥したアミガサタケがスープ、シチュー、ソースなどの味付けに使われる。アミガサタケの一種であるアジボソアミガサタケ (*Morchella deliciosa*) というキノコ中から、(S)-リンゴ酸 1-O-β-グルコピラノシドがうま味様の呈味性物質として同定された^{5, 6)}。やや酸味も呈するが、閾値は6 mM程度であり、グルタミン酸ナトリウムの5分の1程度の味の強さだと報告されている。本物質とグルタミン酸、アスパラギン酸、リンゴ酸、クエン酸、酢酸、γ-アミノ酪酸が、アミガサタケの味のキー化合物であるとしている⁶⁾。本物質は乾燥中にグルコースと乳酸から形成されると思われる。ビーフブイヨンやビーフブロスからは、*N*-(4, 5-ジヒドロ-1-メチル-4-オキソ-1*H*-イミダゾール-2-イル) -L-アラニン⁷⁾ や *N*-(1-カルボキシエチル) -6-ヒドロキシメチル) ピリミジウム-3-オール 内部塩 (alapyridaine)⁸⁾ が味修飾物質や味増強物質として報告されている。前者はビーフブイヨンのブロスの味の必須成分として見いだされた。クレアチンとグルコースから生成される⁹⁾。閾値は209 μMで、ビーフシチュージュース中に411 μM存在している。Alapyridaineは、ビーフブロスから甘味を増強する成分として見いだされた。うま味も増強する。アラニンとグルコースのメイラード反応により生じる⁸⁾。

核酸系化合物としては、*N*-ラクトイルグアノシン 5'-リン酸がうま味持続物質として報告されている。鰹節中に0.2 - 2.4 mg/g存在するがカツオには存在しない¹⁰⁾。また、酵母エキスより *N*-(1-カルボキシエチル) グアノシン 5'-リン酸がうま味増強物質として同定された¹¹⁾。本物質は5'-GMPとジヒドロキシアセトンやグルセルアルデヒドとの反応により形成される。*S*体の閾値が0.19 mMで、*R*体の閾値が0.85 mMであることから、*S*体が主要呈味活性成分である。*S*体は5'-IMPの6-7倍のうま味増強効果を示した¹²⁾。

メイラード反応のカルボニル基の多くは甘味成分である糖由来である。またアミノ基はアミノ酸やペプチドのアミン酸が主なものである。うま味と甘みが強い食品はメイラード反応の基質が多いことになり、同反応が進みやすいことになる。食品の香りと色に大きな影響を及ぼすメイラード反応が味にも寄与しているという事実は、食嗜好的に興味深い。

3. 味、香り、色の関係

先に示した、味関係メイラード反応生成物は、色や香りは示さない。筆者は、食品の色物質やメイラード反応を研究しているが、最近醤油の低分子黄色色素として、2, 4-ジヒドロキシ2, 5-ジメチル-3 (2*H*)-チオフェノン (図3) を同定した¹³⁾。本物質は黄色の針状結晶であり、焦げたような香りを呈する。グルコースとシステインのメイラード反応 (図3, 4) により形成される香気物質で、醤油中のメイラード低分子色素としては初めて同定されたものである。本物質は近年加熱ニンニクの機能成分としても報告されている¹⁴⁾。一般に香気成分は低分子の揮発性の化合物で色を示さないが、本色素は、メイラード反応により形成される色素であり、香ばしい香りも呈する。味は未詳であるが、味、香り、色の内二つを有している化合物である。

味、香り、色の関係を、食の情報の流れもしくは生物学的な意味から考えてみたい (表2)。食物の生理学的意味は栄養素の摂取にあるので、味が最も重要になる。甘味があればエネルギーを予想でき、うま味があればタンパク質の存在が期待できる。一方、味は口にしなければ分からない。摂取する量も多くなる。危険な成分が存在しても一緒に摂取することになる。香気成分は、味成分よりずっと低濃度で嗅覚により検知できる。香り成分自体の生理学的意義は低くても、おいしい食物や危険な食物の情報源としては貴重である。

多種多様な香りがあることから、食物を予想する上での情報量はとても多く、後天的に学習するにもふさわしい。食べる前から香りをかぐことでおいしい食品か、食べたことがない食品か、危険そうな食品かなどを予想できる。色や形の視覚情報はさらに、進んでいるともいえる。見るだけで全く物質の接触や摂取がない。摂取する物質濃度はゼロである。安全性からいえば、とても高い。物質の取り込

村田 容常

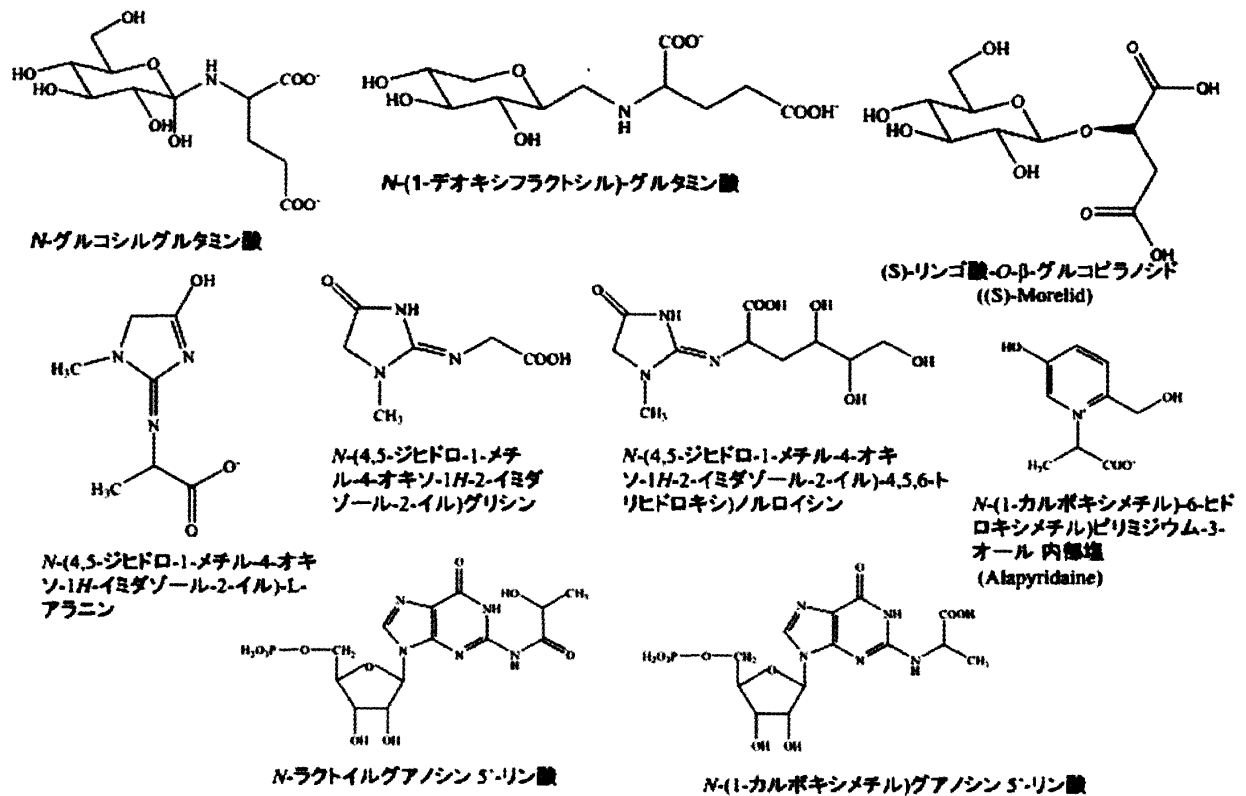


図2 味関連のメイラード反応や成分間反応生成物

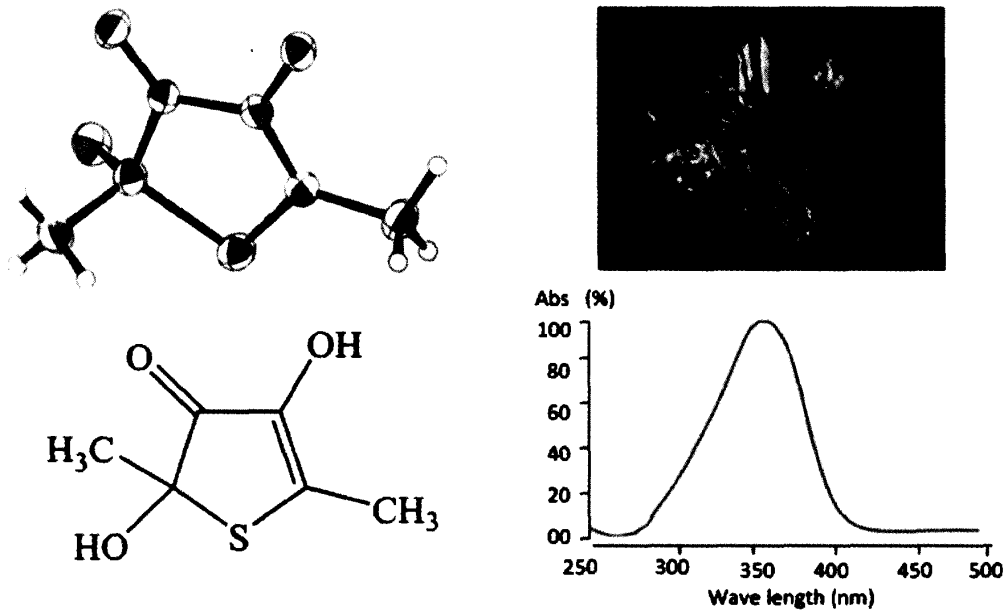


図3 2,4-ジヒドロキシ-2,5-ジメチル-3(2*H*)-チオフェノン

みという意味での応答は全くないが、視覚情報によりかなりのことが予想できる。メイラード反応をこの流れで見てみると、メイラード反応の基質となる

のはカルボニル基とアミノ基であり、甘味とうま味がある食品は糖とアミノ酸が豊富なので、メイラード反応は進行しやすいことになる。その結果、着色

うま味、おいしさを生み出す科学技術の世界：味、香り、色

表2 色、香り、味の食情報の関係

情報の流れ (食品からヒトへ)	色 → 香り → 味 → 栄養生理
生理学的 栄養学的 意味	なし → 少ない → 実質
感覚器官	視覚 → 嗅覚 → 味覚
生体の摂取量	ゼロ → 微量 → 通常濃度
安全性	高い → やや低い → 低い
加熱による反応 メイラード反応	色素 → 加熱香り → 味修飾物 形成 成分形成 質の形成

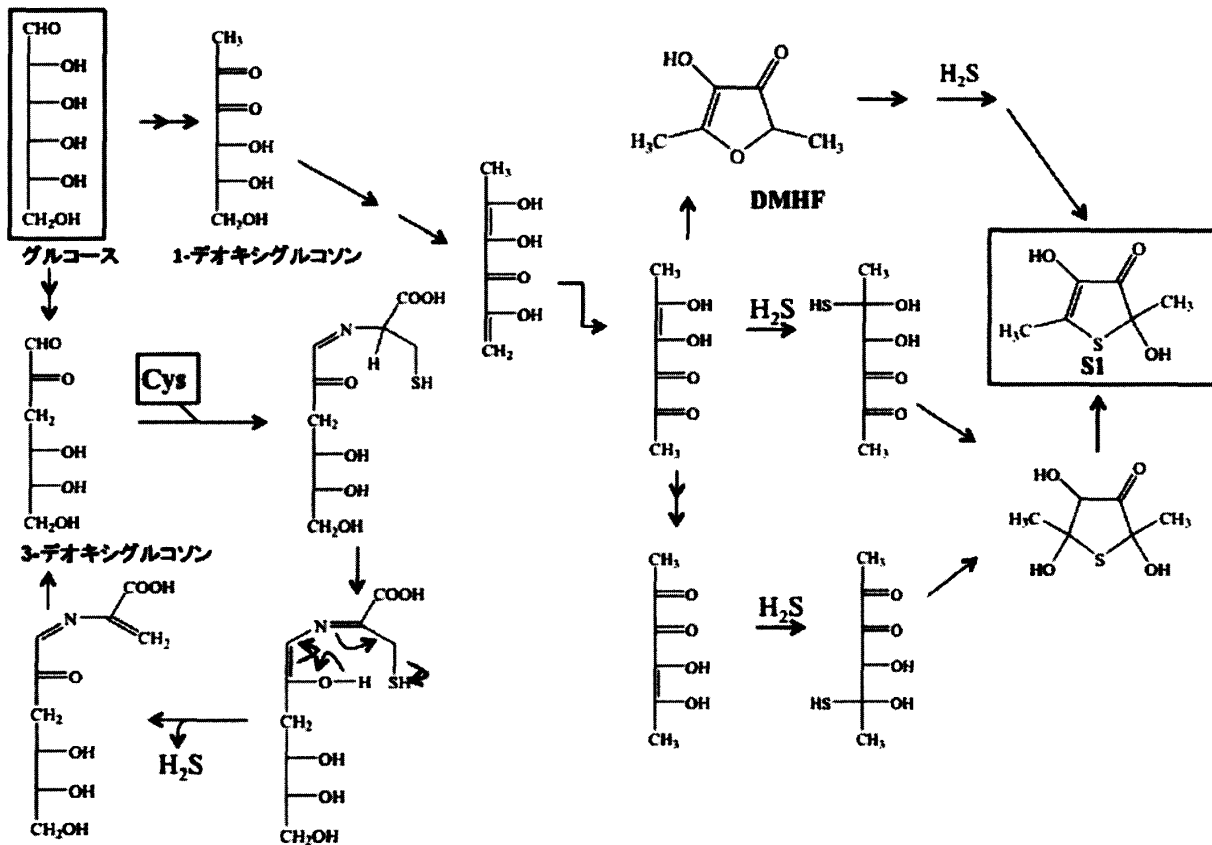


図4 2,4-ジヒドロキシ-2,5-ジメチル-3(2H)-チオフェノン (S1) の予想生成経路

(褐変) 反応がおけるとともに、香り成分も形成される。さらに味修飾物質も形成されることも分かってきた。甘味やうま味が豊富な食品は、香ばしい香りがし、適度に色づきがしていると言える。ウナギのかば焼きやパンを見たりしただけで、香ばしい香

りがただよってくるような気がし、おいしそうに見えるのはこのためである。

4. 本シンポジウムのねらい

うま味調味料の製造はこんぶから抽出精製したの

が始まりであるが、その後、加水分解法、合成法、発酵法と製造技術や精製技術が劇的に改良された。現在では高純度の製品が安定的かつ安価に供給されるようになってきている。このようにおいしさを作り出す科学と技術はたゆまなく進歩して、我々の食生活の維持、進展に貢献している。本シンポジウムでは、科学と技術に基づき食品のおいしさや、うま味がどのように改良、維持されているかを見てみたい。うま味調味料の元となっているグルタミン酸の生産の技術がどのように進展してきたか、味に大きな影響を及ぼす香りや味との接点はどうなっているのか、新技術を利用してどのように新しくおいしい食品を食品企業は作り出すのか、移ろいやすいおいしさを維持するための技術はどうなっているのか、加熱調理することとおいしさの関係はどこまで分かっているのかなどについて、食品の科学的解析や新技術が我々の食卓にどのようなすばらしさを与えてくれているかを考察したい。

参考文献

- 1) 池田菊苗：新調味料に就いて。東京化学会誌 30, 820-836 (1909)
- 2) Beksan E, Schieberle P, Robert F, Blank I, Fay LB, Schlichtherle-Cerny H and Hofmann T: Synthesis and sensory characterization of novel umami-tasting glutamate glycoconjugates. *J. Agric Food Chem* 51, 5428-5436 (2003)
- 3) Davidek T, Kraehenbuehl K, Devaud S, Robert F and Blank I: Analysis of Amadori compounds by high-performance cation exchange chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Anal Chem* 77, 140-147 (2005)
- 4) Wittman R and Eichner K: Detection of Maillard products in malts, beers, and brewing colors. *Z Lebensm Unters Forsch* 188, 212-220 (1989)
- 5) Rotzoll N, Dunkel A and Hofmann T: Activity-guided identification of (S)-malic acid 1-O-D-glucopyranoside (morelid) and gamma-aminobutyric acid as contributors to umami taste and mouth-drying oral sensation of morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.). *J Agric Food Chem* 53, 4149-4156 (2005).
- 6) Rotzoll N, Dunkel A and Hofmann T: Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushroom (*Morchella deliciosa* fr.). *J Agric Food Chem* 54, 2705-2711 (2006)
- 7) Shima K, Yamada N, Suzuki E and Harada T: Novel brothy taste modifier isolated from beef broth. *J Agric Food Chem* 46, 1465-1468 (1998)
- 8) Ottinger H and Hofmann T: Identification of the taste enhancer alapyridaine in beef broth and evaluation of its sensory impact by taste reconstitution experiments. *J Agric Food Chem* 51, 6791-6796 (2003)
- 9) Sonntag T, Kunert C, Dunkel A and Hofmann T: *J Agr Food Chem* 58, 6341-6350 (2010)
- 10) Rijke E, Ruisch B, Bakker J, Visser J, Leenen J, Haiber S, Klerk A, Winkel C and Konig T: LC-MS study to reduce ion suppression and to identify N-lactoylguanosine 5'-monophosphate in bonito: A new umami molecule. *J Agric Food Chem* 55, 6417-6423 (2007).
- 11) Festring D and Hofmann T: Discovery of N-(1-carboxyethyl) guanosine 5'-phosphate as an umami-enhancing Maillard-modified nucleotide in yeast extracts. *J Agric Food Chem* 58, 10614-10622 (2010).
- 12) Festring D and Hofmann T: Systemic studies on the chemical structure and umami enhancing activity of Maillard-modified guanosine 5'-monophosphate. *J Agric Food Chem* 59, 665-676 (2011).
- 13) Satoh M, Nomi Y, Yamada S, Takenaka M, Ono H and Murata M: Identification of 2, 4-dihydroxy-2, 5-dimethyl-3 (2H)-thiophenone as a low molecular weight yellow pigment in soy sauce. *Biosci Biotech Biochem* 75, (2011) *In press*.
- 14) Hwang IG, Woo KS, Kim DJ, Hong JT, Hwang BY and Lee YR: Isolation and identification of an antioxidant substance from heated garlic (*Allium sativum* L.). *Food Sci Biotech* 16, 963-966 (2007)

うま味、おいしさを生み出す科学技術の世界：味、香り、色

<著者紹介>

村田 容常 (むらた まさつね) 氏略歴

1979年 東京大学農学部農芸化学科卒業

1979年 サッポロビール株式会社入社 (～1988年)

1987年 農学博士

1988年 お茶の水女子大学家政学部食物学科講師

1993年 同大学生生活科学部生活環境学科助教授

2004年 同大学生生活科学部食物栄養学科教授

2007年 同大学大学院人間文化創成科学研究科教授 (～現在に至る)