【解説】

メイラード反応と着色・褐変

糖とアミノ酸が反応すると茶色くなる化学

村田容常

L. Maillard が、1912年に糖とアミノ酸を反応させ、Maillard 反応もしくはアミノカルボニル反応を見いだしたとき、反応溶液が茶色くなり、その茶色い物質をメラノイジンとした。それ以来メイラード反応による食品の着色・褐変は主に高分子褐色色素であるメラノイジンの形成によると考えられていたが、近年さまざまな低分子のメイラード色素が報告され、低分子色素の重要性が再認識されている。

メイラード反応によるメラノイジンと低分子色素の形成

図1にグルコースとアミノ酸とのメイラード反応のアウトラインを示す。グルコースのカルボニル基がアミノ基に求核付加し脱水するとシッフ塩基が形成される。シッフ塩基の二重結合が転移したものがアマドリ化合物である（初期段階）。中期段階ではアマドリ化合物から3-デオキシグルコソンの種々のカルボニル化合物が形成される。後期段階ではこれらの反応の中期段階で生じたさまざまなカルボニル化合物とアミノ酸が反応して色素や香気成分などが形成され、着色・褐変する。

Maillard Reaction and Browning: Chemistry of Browning Reaction between Saccharides and Amino Acids
Masatsune MURATA, お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系

表1にメイラード反応で形成される色素もしくは着色成分を分子量で大別し低分子色素と高分子色素（メラノイジン）の特徴を対比した。低分子色素は、化学構造の解析が可能であるということで分子量が1,000~2,000以下の分子とした。メラノイジンもタンパク質を基質としない場合は、分子量は1,000以下であるという考え方もある⁽¹⁾が、ここでは分子量1,000~2,000以上のものを高分子色素とする。高分子色素はメラノイジンということになるが、高分子といっても生体高分子であるタンパク質や多糖とはかなり異なる。タンパク質ではアミノ酸が、多糖では単糖が構成単位になるが、そのような構成単位はない。カルボニル基の供給源である糖は、反応中に脱水、開裂、重合、縮合などのさまざまな反応を起こす。アミノ基の供給源であるアミノ酸はカルボキシル基を除けば骨格を保っている場合が多いが、その存在状態は、遊離アミノ酸、ペプチド、タンパク質と多様である。これらの基質がランダムに反応するので、均一な高分子にはならず不均一でさまざまな部分構造を有する不定形の高分子の混合物がメラノイジンということになる。仮にグルコースとグリシンを基質としたモデル反応で褐変させても、多様な反応生成物が形成される。しか

◇◇◇ コ ラ ム ◇◇◇

メイラード（マイヤー）反応は、アミノカルボニル反応とも呼ばれ、アミノ酸などのアミノ基が糖などのカルボニル基に対して求核付加することから始まり、その後の褐変を伴う複雑な一連の反応をいう。フランス人化学者Louis C. Maillard (1878~1936) は、グリセロール溶液中でアミノ酸を加熱するとジペプチドが形成されることを見いだしていたが、1912年にポリオールとしてのグルセロールをグルコースに変えると全く異なる反応が起こることを偶然観察した。つまりアミノ酸と糖を含んだ水溶液を加熱すると、溶液が茶色く変色し（褐変もしくはブラウニングという）、香気が生じ、また二酸化炭素も発生することを見いだした。反応基質となる糖とアミノ酸は生物が作り、土壌などの自然界や食品中では普遍的に存在することから、この反応はさまざまな場面で起こる。最初に注目したのは、ビール研究者で、ビールの色や香りがこの反応により形成されると考えた。大麦を発芽させそれを乾燥し焦がしたものが麦芽である。麦芽を作る過程でメイラード反応が起こりビールの琥珀色や独特の香りが形成される。

本反応の食品学的意義としては、着色・褐変（醬油の色、パンの焼き色）、加熱香気の形成（焼き肉やトーストの香り）がまず挙げられるが、味を増強したり、修飾したりする物質の形成（熟成したり、煮込ん

だりして形成される風味）に関与していることも近年わかってきた。食品の品質の三大要素である色、香り、味（視覚、嗅覚、味覚）のいずれにも関与する（下表）。糖とアミノ酸が共存するとメイラード反応が起こるので、その色や香りは栄養素としての糖（エネルギー源）とアミノ酸（必須栄養素）のシグナル、情報とも言える。

表 ■ 食情報としての色、香り、味とメイラード反応の関係

食品からヒトへの 情報の流れ	色→	香り→	味
感覚器官	視覚	嗅覚	味覚
生理・栄養学的意味	なし	僅か	実質
摂取量	ゼロ	微量	通常量
糖、アミノ酸	なし	なし	甘味、うま味
メイラード反応産物	着色・褐変	加熱香気	味修飾物質

また、この反応に伴い抗酸化性が強まる。食物繊維作用や抗変異原性作用などの機能性も生じる。一方、アクリルアミドなどの変異原性物質もこの反応で形成される。このように食品の品質や安全性に大きくかわる反応のため食品学では必ず学ぶ。

・本間清一、村田容常編：“食品加工貯蔵学”，東京化学同人，2016，pp. 168-179.

・村田容常：日本味と匂学会誌，18, 75 (2011).

し、色素という点からは400~450nmの可視領域のE^{1%} (1%溶液の示す吸光度) は、ほぼ数十のオーダーになる。分子式もアミノ酸ごとに一定の範囲を示す。このような観点からはメラノイジンは一定の化学的性質を有していると言える⁽²⁾。

ところで、褐変（ブラウニング）というのは茶色くすんできるということであるが、茶色というものは曲者である。図2Aのような極大吸収を示すと、黄色い溶液になり、また図2Bのような極大吸収スペクトルを示すと赤い溶液になる。一方、糖とアミノ酸を反応させ茶色くなったモデル溶液、もしくはこの溶液から低分子物質を除いたもの（メラノイジン）の紫外・可視吸収スペクトルを測定すると図2Cのようになる。特異的な極大吸収がない。ヒトは黄色から赤色で明度が下がった色を茶色と呼んでいる。低分子色素が特異的な極大吸収を示すのと好対照である。メラノイジンは分子の中にさまざまな色素団（クロモフォア）を有するか、さまざまなクロモフォアをもった類似化合物の混合物であると言える（図2D）。

メイラード反応で形成される低分子色素

メイラード反応による着色・褐変はメラノイジンに起因し、その構造は不詳であるということになっていたが、近年多数の低分子色素化合物がメイラード反応により形成されることがわかってきた。低分子色素は直接着色に関与するほか、メラノイジン前駆体の可能性もある。この分野での特筆すべき成果は、早瀬らの研究である⁽³⁻⁶⁾。キシロールとグリシン溶液を放置しておくとき青色の溶液が形成される。その青色色素Blue-M1が1999年に単離構造決定された。放置すると茶色くなることからメラノイジンの前駆体の一つと考えられる。さらに青色色素Blue-M2や赤色色素が同定された。同じく1990年代後半にHofmannらが、フルフラールを添加したモデル溶液などから各種メイラード色素を同定している⁽⁷⁻¹³⁾。

このような流れのなかでわれわれもメイラード反応により形成される未知の低分子色素はまだ数多くあると考え、積極的に探索していくことにした。色は積算的である。仮に可視部の吸光度が0.01程度でわれわれが認知できないぐらい濃度的に色の薄い溶液を考えたとき、その

図1 ■ グルコースとアミノ酸 ($R-NH_2$) とのメイラード反応のアウトライン

3-デオキシグルコソン (3-DG), 1-デオキシグルコソン (1-DG), 5-ヒドロキシメチルフルフラール (HMF), メチルグリオキザール (MG), Advanced glycation end products (AGEs).

表1 ■ 分子量からみたメイラード色素

メイラード色素	低分子色素	高分子色素 (メラノイジン)
分子量	<1,000-2,000	>1,000-2,000
色素	単一分子	混合物 (類似物群)
色調	黄, 橙, 赤, 青	茶色
色の強度	個々の色素は微量のため弱い. 積算的.	主要色素
化学構造	同定可能	同定困難
重合・架橋	重合やタンパク質を架橋し高分子化, メラノイジン化する可能性	アミノ酸やタンパク質を含んだ高分子
電荷	さまざま	負に荷電 (含窒素の酸性物質)

ような濃度の物質が100個共存すれば吸光度は1になり, 強い色を表すことになる. そのような化合物一つひとつを明らかにしていくことが, メイラード反応による着色の全体を理解することにつながると考えた.

フルフラールや5-ヒドロキシメチルフルフラール (HMF) は, それぞれキシロースやグルコースからメイラード反応により生成する主要なアルデヒド類である. まず, フルフラールとHMFをリシン存在下pH 5の酢酸緩衝液中で加熱し, DADを装着したHPLCで分析した. DAD検出器は, 紫外-可視スペクトルを測定できるのでHPLCで分離された各ピークが色をもっているか, つまり色素化合物であるかどうかを判別できる. ヒトは380nm付近 (紫色) から780nm付近 (赤) の光を可視光として認知できるので, 400nm付近に極大吸収を示すものは紫色の補色すなわち黄色色素であると認識する. DAD-HPLCの結果, それぞれ2種の色素化合物が形成されていることがわかった. 単離・構造決定した結

果, それらは新規な pipecolic acid 誘導体であり, furpipate 類と命名した^(14, 15) (図3A-D). フルフラール-リシン系からは, furpipate (極大吸収370nm) とその脱炭酸体 (極大吸収360nm) を, HMF-リシン系からは 5-hydroxymethylfurpipate (極大吸収380nm) とその脱炭酸体 (極大吸収370nm) を同定した. 図4にfurpipateの予想生成経路を示す⁽¹⁶⁾.

次にこの化合物が反応溶液中で実際の程度寄与しているかを color dilution 法⁽⁸⁾で, 見積もった. まずfurpipate 溶液を順次希釈していき検知閾値 (A) を決定する. 次に反応溶液を同様に順次希釈していき, その検知倍率 (B) を決定する. そしてその反応溶液中のfurpipate 濃度 (C) を決定する. 本化合物の色素寄与率 (%) は $C/A/B \times 100$ で求まる. このようにして, ある条件で作成したフルフラール-リシン反応溶液中のfurpipateの色素寄与率を求めたところ25%となった. これは全く予想外のことであった. メイラード反応ででき

図2 ■ 吸収スペクトルと色の関係の概念図
A, 黄色; B, 赤色; C, 茶色; D, メラノイジン

図3 ■ 新規メイラード色素 (A, B, F-I, K, L, N-P) ならびにそのほかの関連化合物 (C, D, E, J, M, Q) の構造式

る色素はほとんどがメラノイジンであり、低分子色素が形成されてもそれは極微量で全体には大きな影響を及ぼさなかったと思っていたからである。Furpicateという単一の色素が反応溶液の色全体の25%も説明できるという

事実はいへんな驚きであった。脱炭酸体は3%ほどの色素寄与率を示したので、この両者で合わせて約3割の色の強さをしたことになる。HMF-リシン系ではより顕著で、5-hydroxymethylfurpicateとその脱炭酸体がそれ

図4 ■ Furpipateの予想生成経路

図5 ■ キシロース-リシン系メイラード反応溶液のHPLC分析例
E~Hの構造は図3参照。

ぞれ43, 18%の色素寄与率を示し、合わせて約6割になった。このことは反応条件を変えると、色調全体に大きな影響を与える単一の色素成分の含量を変えられる、つまり色調や鮮やかさをコントロールできる可能性を示したものである。色のコントロールという観点からは食品製造上重要な知見を提供できたものと考えている。

フルフラールは、キシロースなどのペントースから形成される。キシロース-リシン系反応溶液は、フルフラール-リシン系よりもはるかに色が強い。そこで、キシロース-リシン系で形成される色素をDAD-HPLCで探索した。その結果、主な4つの色素成分を検出した(図5)。クロマトグラムの後半に検出される化合物Eは、古くから知られている有機溶媒で抽出される黄色物質4-hydroxy-5-methyl-2-furfurylidene-3-(2H)-furanone⁽¹⁷⁾(図3, E)であった。窒素は含まれていない。クロマトグラムの真ん中あたりに可視領域付近に特定の特大吸収を示さない大きな山がある。この部分全体がメラノイジンと考えられる。その山のなかに440nm付近に極大吸収を示す3つのピーク(色素化合物)が検出された。この3つの化合物を単離・構造決定した結果、クロモフォアとしてピロリルメチリデンピロロン構造を有する、リ

シン2分子とキシロース2分子からなる橙色の化合物(図3, F-H)を同定し^(18, 19), dilysyldipyrrolone A, B, Cと命名した。Dilysyldipyrrolone AとBの色素寄与率はそれぞれ5, 10%であった。2分子のリシンのε-アミノ基がクロモフォアに組み込まれた dilysyldipyrrolone Bが主要色素であった。一方, dilysyldipyrrolone Aは、1分子のリシンのε-アミノ基ともう1分子のリシンのα-アミノ基が取り込まれている。このことはリシンと別のアミノ酸を共存させ反応を起こさせると、リシン1分子と別のアミノ酸1分子が取り込まれた dilysyldipyrroloneと同じクロモフォアをもつ化合物群が生じると考えられた。実際そのような反応溶液を作成し、各種アミノ酸が取り込まれた類縁化合物群(図3, I)を同定した⁽²⁰⁾。食品中にはさまざまなアミノ酸が共存することからこのように複数のアミノ酸を取り込んだ形の色素も形成されていると思われる。

キシロースなどのペントース系メイラード反応はグルコースなどのヘキソース系メイラード反応より色付きが強い。これはヘキソースよりペントースのほうが開環型、すなわちアルデヒド型が多いためであると同時にその後の着色反応も強まるためである⁽²¹⁾。グルコースから生じる1-デオキシグルコソンや3-デオキシグルコソンに対応するのは、1-デオキシペントソンや3-デオキシペントソンである。Dilysyldipyrrolone類はこれらデオキシペンソン類から形成されると思われるが、キシロース由来のメラノイジンの形成には、1-デオキシペントソン由来の反応中間体4-hydroxy-5-methyl-3-(2H)-furanone(図3, J)も重要であることを見いだした⁽²²⁾。

ヘキソースで比べるとグルコースに比べ開環型の割合が高いガラクトースのほうがグルコースより色付きが強い。これが実際の食品製造に影響している一例が、チーズの貯蔵褐変である。さまざまなチェダーチーズの貯蔵褐変を比べたところ、褐変しやすいものはガラクトース含量が高いことがわかった⁽²³⁾。このチーズでは、製造過程でラクトースから生じたガラクトースが一部残存し、それが貯蔵中にメイラード反応を起こし褐変したと考えられる。アミノ基が十分ある場合には、カルボニル量が褐変の律速因子となる。

アミノ基の供給源はアミノ酸、ペプチド、タンパク質であるがビタミン類も基質になる。チアミン由来のメイラード香気成分は多数知られているが、色素の形成については知られていなかった。そこでチアミンのモデル反応で色素ができないかを調べてみた。チアミン-グルコース-リシン系の反応液中に色素の存在を確認したため単離・同定した。その結果、ピリミジン環とジアゼピ

ン環が縮合した新規色素pyrizepine (図3, K) を同定した⁽²⁴⁾. 本物質は水溶液中では両性イオン (図6A) になっている.

ところで食品を塩酸加水分解することは食品分析上よく行う. このとき反応溶液が褐変する. 大豆タンパク質をキシロース存在下酸加水分解すると低分子色素が形成されることを偶然見いだした. この色素を単離・構造決定した結果, フラン環とシクロペンタチアジン環を有する新規色素furpenthiazinate (図3, L) を同定した⁽²⁵⁾. この化合物は水溶液中では互変異性を示したため (図

図6 ■ Pyrizepine (A) ならびに furpenthiazinate (B) の溶液中における平衡や互変異性化

図7 ■ Pyrrolothiazolate ならびに pyrrolooxazolate A と pyrrolooxazolate B の生成経路の概略

6B) NMR 分析だけでは構造決定できず, 還元体の構造を決定し同定した. 酸加水分解中に生成したフルフラール, 炭素数4個のカルボニル化合物, システインの3者が縮合して形成されたと考えられる.

食品中の低分子メイラード色素

食品中に実際存在しているメイラード色素はほとんどがメラノイジンであると考えられているため, 低分子色素についてほとんど調べられていない. 実際ビールや醤油をそのままDAD-HPLCで分析しても, 顕著な低分子色素は検出できない. これは種々の低分子色素が存在していてもそれぞれは少量で, メラノイジンにかぶってしまうため分析できないためかもしれないと考えられた. そこで溶媒分画などの前処理をしてからDAD-HPLC分析してみた. まず醤油を酢酸エチルで抽出し, メラノイジンを除いて分析したところ, 365nmに極大吸収を示す淡黄色化合物を検出した. この化合物を単離・同定した結果, 醤油の香気成分として知られている2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-thiophenone (図3, M) と同定した⁽²⁶⁾. 本物質は, 醤油, 味噌, ビールなどメイラード反応を起こしている食品に幅広く存在した⁽²⁷⁾. また, 本物質はシステインから生じる硫化水素が反応中間体のカルボニル化合物と反応して形成されたと考えられた. 一般にチオール基を有するシステインはカルボニ

ル化合物と付加体を作りやすいため着色を抑制すると考えられるが、Sを含む化合物を醤油色素として単離したことから、積極的にシステインとグルコースを反応させ、色素ができないかをDAD-HPLCを用いて検討した。その結果、システインとグルコースを加熱したモデル溶液中に微量の色素（極大吸収300と360nm）が形成されることを見いだした。この反応溶液にリシンを加えるとこのピークが数倍大きくなった。色素化合物を単離・構造解析した結果、新規なピロロチアゾールカルボン酸誘導体でpyrrolothiazolate（図3, N）と命名した⁽²⁸⁾。抗酸化性を示し⁽²⁹⁾、醤油などに検出された。色素寄与率はたいへん低く1%に満たないが、これらの食品の色調はメラノイジンだけでなくさまざまな低分子色素化合物群により形成され、本物質はその一部を担っていると考えられた。その構造は、システインに変えてセリンやスレオニンを反応させるとピロロチアゾール環ではなくピロロオキサゾール環が形成されることを想起させた（図7）。そこでスレオニンもしくはセリンにリシンとグルコースを加え反応させたところ、300と360nmに極大吸収を示すpyrrolothiazolateとは異なるピークを認めた。それぞれ単離し、想定化合物（pyrrolooxazolate AとB；図4, O, P）であることを確認した⁽³⁰⁾。これらの化合物がpyrrolothiazolate同様実際の食品に存在しているかどうかは今後調べてみたい。Furpinate類については、化合物Dがパンのクラストなどに存在していることが報告されている⁽³¹⁾。

次にビール中の色素化合物について述べる。ビールの色素は主にメラノイジンであり、低分子色素については研究されていなかった。実際ビールそのものをDAD-HPLC分析しても醤油と同様メラノイジンと思われる山なりのピークに隠れて低分子色素は検出されなかった。そこで、中酸性物質画分と塩基性物質画分に分け、再度分析したところ、塩基性物質画分に275, 340, 405nmの3カ所に極大吸収を示す物質を確認した。この物質を単離し、perlolyrineと同一した⁽³²⁾（図4, Q）。Perlolyrineは、ホソムギ（*Lolium perenne*）から蛍光を有するアルカロイドとして単離された化合物で⁽³³⁾、その後メイラード反応によりトリプトファンとHMFからも形成されることが知られている⁽³⁴⁾。市販ビールを調べたところ淡色ビールで3.2~8.0 μ g/100mL、黒ビールで4.8~14.0 μ g/100mL程度のperlolyrineが存在していた⁽³²⁾。色素寄与率はたいへん低く、1%に満たなかった。ビールの色は主にメラノイジンによるものであるが、多種多様な低分子色素化合物群も形成されていて、perlolyrineもその一部を担っていると考えられた。なお、perlolyrine

は醤油中の辛味増強成分としても同定されている⁽³⁵⁾。

以上述べたように、メイラード反応による着色・褐変は、構造不詳のメラノイジンによるものであり、その化学的解析は困難であると思われていたが、近年の機器分析法の進歩と相まって、新規メイラード色素が解明されてきた。これら低分子色素は直接着色に関与するほか、メラノイジンに取り込まれたり、高分子化するときの架橋構造になったり、メラノイジン前駆体になる場合もある。このような基礎的知見が、メイラード反応のより詳細な科学的理解や食品の品質向上につながることを期待したい。

文献

- 1) T. Hofmann: *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 3891 (1998).
- 2) B. L. Wedzicha & M. T. Kaputo: *Food Chem.*, **43**, 359 (1992).
- 3) F. Hayase, Y. Takahashi, S. Tominaga, M. Miura, T. Gomyo & H. Kato: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **63**, 1512 (1999).
- 4) S. Sasaki, Y. Shirahashi, K. Nishiyama, H. Watanabe & F. Hayase: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **70**, 2529 (2006).
- 5) Y. Shirahashi, H. Watanabe & F. Hayase: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **73**, 2287 (2009).
- 6) F. Hayase, T. Usui & H. Watanabe: *Mol. Nutr. Food Res.*, **50**, 1171 (2006).
- 7) T. Hofmann: *Helv. Chim. Acta*, **80**, 1843 (1997).
- 8) T. Hofmann: *Carbohydr. Res.*, **313**, 203 (1998).
- 9) T. Hofmann: *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 932 (1998).
- 10) T. Hofmann: *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 3896 (1998).
- 11) T. Hofmann: *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 3902 (1998).
- 12) T. Hofmann & S. Heuberger: *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*, **208**, 17 (1999).
- 13) O. Frank & T. Hofmann: *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 6303 (2000).
- 14) M. Murata, H. Totsuka & H. Ono: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **71**, 1717 (2007).
- 15) H. Totsuka, K. Tokuzen, H. Ono & M. Murata: *Food Sci. Technol. Res.*, **15**, 45 (2009).
- 16) M. Murata: "The Maillard Reaction. Interface between Aging, Nutrition and Metabolism," ed. by M. Thomas & J. Forbes, RSC Publishing, Cambridge, 2010, p 188.
- 17) J. Ames, A. Apriyantono & A. Arnoldi: *Food Chem.*, **46**, 121 (1993).
- 18) J. Sakamoto, M. Takenaka, H. Ono & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **73**, 2065 (2009).
- 19) Y. Nomi, J. Sakamoto, M. Takenaka, H. Ono & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**, 221 (2011).
- 20) Y. Nomi, R. Masuzaki, N. Terasawa, M. Takenaka, H. Ono, Y. Otsuka & M. Murata: *Food Funct.*, **4**, 1067 (2013).
- 21) Y. Mikami & M. Murata: *Food Sci. Technol. Res.*, **21**, 813 (2015).
- 22) Y. Mikami, M. Nakamura, S. Yamada & M. Murata: *Food Sci. Technol. Res.*, **23**, 283 (2017).
- 23) A. Igoshi, Y. Sato, K. Kameyama & M. Murata: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* (Tokyo), **63**, 412 (2017).
- 24) A. Igoshi, K. Noda & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **82**, 1425 (2018).
- 25) K. Noda, R. Masuzaki, Y. Terauchi, S. Yamada & M. Mu-

- rata: *J. Agric. Food Chem.*, **66**, 11414 (2018).
- 26) M. Satoh, Y. Nomi, S. Yamada, M. Takenaka, H. Ono & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**, 1240 (2011).
 - 27) R. Furusawa, C. Goto, M. Satoh, Y. Nomi & M. Murata: *Food Funct.*, **4**, 1076 (2013).
 - 28) K. Noda, S. Yamada & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **79**, 1350 (2015).
 - 29) K. Noda, N. Terasawa & M. Murata: *Food Funct.*, **7**, 2551 (2016).
 - 30) K. Noda & M. Murata: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **81**, 343 (2017).
 - 31) X.-M. Chen, Y. Dai & D. D. Kitts: *J. Agric. Food Chem.*, **64**, 9072 (2016).
 - 32) C. Nagai, K. Noda, A. Kirihaara, Y. Tomita & M. Murata: *Food Sci. Technol. Res.*, **25**, 81 (2019).
 - 33) J. A. D. Jeffreys: *J. Chem. Soc. C*, 1091 (1970).
 - 34) S. H. Lee, S. J. Jeong, G. Y. Jang, M. Y. Kim, I. G. Hwang, H. Y. Kim, K. S. Woo, B. Y. Hwang, J. Song, J. Lee *et al.*: *J. Agric. Food Chem.*, **64**, 3401 (2016).
 - 35) M. Oshida, Y. Matsuura, S. Hotta, J. Watanabe, Y. Mogi & T. Watanabe: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **81**, 987 (2017).

プロフィール

村田 容常 (Masatsune MURATA)

＜略歴＞1979年東京大学農学部農芸化学科卒業／同年サッポロビール株式会社入社／1988年お茶の水女子大学家政学部講師／2004年同大学教授，現在に至る．この間1982～1986年北里研究所大村智研究室＜研究テーマと抱負＞食品の加工貯蔵に伴う着色・変色（非酵素的ならびに酵素的褐変）の化学的解析＜趣味＞水泳，山登り

Copyright © 2019 公益社団法人日本農芸化学会
DOI: 10.1271/kagakutoseibutsu.57.213