

おいしさをあらわす日本語—食品のテクスチャーを表すことば—

食品総合研究所

食品機能研究領域食品物性ユニット

早川文代

はじめに

官能評価において、“かたい”、“こく”等、評価用語の選択は結果に大きく影響する。特に、テクスチャーは、味や匂いのような標準物質の設定が難しいことから、用語の重要性が高く、評価用語の選定は実験者および評価者の大きな負担となっている。かつて、吉川ら^{1),2)}がテクスチャー用語を収集、整理しているが、この調査からすでに40年が経過し、現代日本人の食生活にそぐわない点もある。そこで、テクスチャー評価の際に活用できる新しい用語リストを作成した。

日本語テクスチャー用語の収集³⁾

2003年に東北地方、首都圏、京阪神地区、九州地方の4地点で、食品分野を専攻する研究者116人に自由記述式のアンケートを実施し、また、専門書や辞書類からも用語を収集した。さらに、テクスチャー研究者55人に検証のアンケートを行い、長い経験をもつテクスチャー研究者4人にインタビューを実施して、最終的に、445語のテクスチャー用語リストを得た(表1)。

表1 テクスチャー用語一覧

| | | | | | |
|--------|----------|------------|---------|-----------|--------|
| 厚い | かくばった | かどばった | 皮ばった | くしゃっ | ぐちよぐちよ |
| * 脂っこい | かさかさ | * しみ切れない | キシキシ | ぐしゃっ | ぐちよっ |
| * 油っこい | がさがさ | * しみごたえがある | ギンギン | ぐずぐず | くつつく |
| * 脂っぼい | かさつく | * かゆ状の | ぎっしり | * ぐずれやすい | くにくにく |
| * 油っぼい | かすかす | からから | ぎとぎと | くたくた | ぐにやぐにや |
| 粗い | * かたい | * からっ | ぎとっ | くだけやすい | くにく |
| 泡状の | * 硬い | からみつく | * きめ細かい | くたっ | ぐにく |
| 泡の立つ | * 堅い | からり | 吸湿性がある | * 口あたりがよい | くにく |
| いがいが | * 固い | * カリカリ | 球状の | * 口ざわりがよい | ぐにく |
| * 糸を引く | 塊状の | ガリガリ | 吸水性がある | * 口どけがよい | くにくにく |
| * 薄い | かちかち | * カリッ | 強靱な | くちやくちやく | ぐにくぐにく |
| うろこ状の | がちがち | ガリッ | 切れやすい | * ぐちやくちやく | ぐにく |
| 液状の | * かしんかしん | 顆粒状の | 均一な | くちやく | くにくにく |
| 液のしたたる | かしんこちん | 軽い | くしゃくしゃ | ぐちやく | ぐにくにく |
| 重い | がっしり | 乾いた | ぐしゃぐしゃ | くちやくちやく | ぐにく |

表1 つづき

| | | | | | |
|-----------|------------|----------|-----------|----------|----------|
| * クリーミー | * しなっ | ちりちり | * 濃厚な | ぶよぶよ | ぼそぼそ |
| * クリーム状の | * しなびた | ちりっ | * のどごしがよい | ぶよぶよ | ぼそぼそ |
| 結晶状の | しなやか | * 粒状の | * のびた | ぶりっ | ほっくり |
| コキコキ | * 渋い | * つぶつぶ | のびる | * ぶりっ | ほっくり |
| * こくがある | しまりがある | * つぶれやすい | 糊状の | ぶりぶり | ほっこり |
| 固形の | 湿った | つまった | パキッ | * ぶりぶり | ほってり |
| * こしがある | * 霜降り状の | * つるっ | パキッ | ぶりん | ほってり |
| こちこち | * シャーベット状の | * つるつる | パキパキ | ぶりん | ほてっ |
| こちっ | * シャキシャキ | * つるり | パキパキ | ぶりんぶりん | ほてっ |
| こちんこちん | * シャキッ | * つるん | 歯切れがよい | * ぶりんぶりん | ほてほて |
| ごつごつ | シャクシャク | でこぼこ | 薄片状の | ふるふる | ポリッ |
| * こってり | しゃっきり | とげとげ | * 歯ごたえがある | ふるふる | ポリッ |
| * 粉状の | * シャリシャリ | どっしり | ばさっ | * ふるふる | ポリポリ |
| * 粉っぽい | * ジャリジャリ | * とろける | * ばさっ | ふるん | * ポリポリ |
| * 粉をふいた | * シャリッ | * とろっ | * ばさつく | * ふるん | ほろっ |
| 細かい | ジャリッ | * どろっ | ばさばさ | ふるんふるん | ほろっ |
| ゴムのような | * ジューシー | * とろとろ | * ばさばさ | * ふるんふるん | ほろっ |
| * コリコリ | 柔軟な | * どろどろ | * 歯ざわりがよい | * ふわっ | ほろほろ |
| ゴリゴリ | 取れん性の | * とろみがある | はじける | * ふわふわ | ほろほろ |
| * コリッ | じゅくじゅく | * とろり | パチパチ | ふわふわ | ほろほろ |
| ゴリッ | じゅるじゅる | * どろり | パフ状の | ふわふわ | ほろり |
| ころころ | じゅるっ | * なめらか | ばらっ | ふわり | ほろり |
| ごろごろ | シュワシュワ | にちやっ | ばらっ | 分離した | ほろり |
| ころっ | ジュワジュワ | にちやにちや | ばらばら | ふんわか | ほわっ |
| ごろっ | シュワッ | 乳状の | ばらばら | * ふんわり | ほわほわ |
| ころり | * ジュワッ | * にゆるっ | ばらり | べたっ | 膜状の |
| ごろり | ショリショリ | * にゆるにゆる | ばらり | べたっ | まったり |
| こわい(強い) | ショリッ | にゆるり | バリッ | べたつく | まとわりつく |
| ごわごわ | * 汁が多い | ぬたっ | * バリッ | * べたべた | * まろやか |
| ごわっ | * 芯がある | ぬちやっ | * バリバリ | べたべた | * 水飴状の |
| こわれやすい | * しんなり | ぬちやぬちや | * バリバリ | * べちやっ | * 水気が多い |
| * サクサク | すかすか | ぬとっ | * ひからびた | べちやっ | * 水っぽい |
| ザクザク | すかっ | ぬめっ | びちやっ | * べちやべちや | * みずみずしい |
| * サクッ | * すじっぽい | ぬめぬめ | びちやびちや | べちやり | 蜜状の |
| ザクッ | ずっしり | * ぬめりがある | びちやびちや | べちやり | 密な |
| 裂けやすい | 砂状の | ぬらっ | ふかっ | べちよっ | むちむち |
| * さっくり | 砂っぽい | ぬらぬら | ふかふか | * べちよべちよ | むつちり |
| ざっくり | すべすべ | ぬらり | ぶちっ | べったり | むにゆっ |
| さらさら | すべる | * ぬるっ | ぶちっ | べったり | むにゆむにゆ |
| ざらざら | スポンジ状の | * ぬるぬる | ぶちぶち | べったり | もさもさ |
| * さらっ | するする | ぬるり | ぶちぶち | べったり | もそっ |
| ざらっ | ズルズル | ねたっ | ぶちゆ | * べとっ | もそもそ |
| ざらつく | するっ | ねたねた | ぶちゆ | べとっ | * もちっ |
| さらり | ズルッ | ねちっ | * ふっくら | * べとつく | * もちもち |
| ざらり | するり | ねちねち | ふっくり | * べとべと | もったり |
| サンドイッチ状の | ずるり | * ねちやっ | ぶっくり | べとべと | もったり |
| しけた | * ゼリー状の | * ねちやねちや | ぶっつ | へなっ | * もっちり |
| * しけった | 繊維状の | ねちよっ | ぶっつ | へなへな | もろい |
| * しこしこ | 層状の | ねちよねちよ | ぶつぶつ | ぺらぺら | もろっ |
| しこっ | たらたら | ねっちり | ぶつぶつ | ぺろぺろ | もろもろ |
| * 舌ざわりがよい | だらだら | * ねっとり | ぶにぶに | ポキッ | * やわらかい |
| * 舌に残る | たらっ | * ねとっ | ふにやっ | ポキッ | * 軟らかい |
| しっかり | だらっ | ねとつく | ふにやふにや | ポキポキ | * 柔らかい |
| しっけた | たらり | * ねとねと | ふにやり | ポキポキ | ゆるい |
| * しっとり | だらり | ねばい | ぶにゆぶにゆ | * ほくほく | わた状の |
| じっとり | * 弾力がある | * ねばっ | ふによふによ | ほくほく | |
| じとじと | ちぎれやすい | * ねばつく | ぶによぶによ | * ほぐれやすい | |
| じとっ | ちぢれた | * ねばっこい | ぶによぶによ | ほこほこ | |
| じとっ | ちゆるちゆる | * ねばねば | * ふやけた | ほそっ | |
| しなしな | ちゆるっ | * ねばりがある | ぶよっ | ほそっ | |

このリストの最大の特徴は、445 語と数が多いことである。中国語テクスチャー用語リスト⁴⁾では 144 語、英語の例で 77 語⁵⁾、ドイツ語の例で 105 語⁶⁾であった。これらは調査方法が異なるので、3倍、4倍といった比較はできないが、それにしても、「日本語のテクスチャー表現は数が多い」と言ってよいと考えられる。

445 語のうち、約 70%は“サクサク”、“しっとり”といった擬音語・擬態語であった。そもそも、英語などに比べて日本語には擬音語・擬態語が多い。テクスチャー表現に關しても例外ではないと言える。

1964 年に行われた吉川ら^{1),7)}のアンケートと今回のアンケートの比較を行った。図1は両調査における上位 50 語を比較したものである。両調査において、共通して出現が多い用語は“どろどろ”、“カリカリ”などであった。これらは 40 年前も現在も共通してよく使われていることが推察された。一方、出現が変化した用語もみられた。例えば、“もちもち”は近年のパンや麺の食感の流

| | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|----------|---------|-------|
| 出現無し | 今回の調査での上位50語 | もちもち | こしがある | ねばりがある | とても新しい | |
| | | ぶるぶる | ジャリジャリ | シュワシュワ | | |
| | | プチプチ | つるん | のどごしがよい | | |
| | | まったり | ジューシー | かみごたえがある | | |
| | | ごりごり | ぷりぷり | さっくり | | ふんわり |
| 少数意見 | 吉川らの調査で上位50語 | しこしこ | ほくほく | しっとり | ぼそぼそ | やや新しい |
| | | ねばねば | まるやか | ふっくら | | |
| | | どろどろ | カリカリ | ガリガリ | とろとろ | |
| | | ぬるぬる | ねっとり | こりこり | くちやくちや | |
| | | サクサク | ばさばさ | さらさら | 歯ごたえがある | |
| 吉川らの調査で上位50語 | 少数意見 | バリバリ | ざらざら | パリパリ | シャキシャキ | 共通 |
| | | べたべた | べとべと | つるつる | シャリシャリ | |
| | | ポリポリ | とろける | ぼろぼろ | とろり かたい | |
| | | ポリポリ | グシャグシャ | ネチャネチャ | | |
| | | パラパラ | サラッとした | 舌ざわりのよい | | |
| 出現無し | 出現無し | もろい | 脂(油)ぽい | クリーム状 | やや古い | |
| | | かみにくい | かみやすい | 水気の多い | | 粘い |
| | | 水気のない | ネチャつく | ニチャニチャ | とても古い | |

図1 テクスチャー用語の新旧比較

行とともに広まり、出現が高くなったと推測される。“ぶるぶる”や“つるん”は、さまざまなゲル状のデザートが登場し、それを受けて新しく作られた表現ではないかと考えられる。これらのように、時代による表現の変化には、新しい食品の登場、食感の流行、食嗜好の変化、言葉自体の変化等、いくつかの要因が背景にあると推測される。

消費者のテクスチャー語彙調査⁸⁾

官能評価は一般消費者を対象に行われることもある。また、専門家が評価した結果を一般消費者に説明することもある。このとき、一般消費者のテクスチャー描写の語彙について情報があればとても便利であろう。そこで、2004 年 6 月から 10 月にかけて、都市部の一般消費者を対象としてアンケートを実施した。

首都圏および京阪神地区にある大学、中学校、地方自治体主催の高齢者大学および消費者団体主催の勉強会等に在籍する人 3533 人に回答を依頼した。有効票数は 2437 であった。用語をアンケート用紙に列挙し、各用語について食表現であると思うか否かを質問した。既往の研究を参考にして、用語の認知度(「食表現だと思う」と回答した割合)が 75%を超える用語を「消費者のテクスチャー語彙」とした。その結果、消費者の語彙とされた用語は 135 語であった。これらには表1のリストに*を付した。

Rohm⁶⁾ は“crisp”、“crunchy”、“juicy”、“soft”、“creamy”に相当する言葉はいずれの言語でもよく使われると指摘している。日本の消費者のテクスチャー語彙においても相当する用語がみられる。したがって、これらは、異種の言語間で共通して消費者パネルによく使用される表現であることが確認された。

一方、ぬめりを表現する“つるつる”、“ぬるぬる”およびその類語、粘りや付着を表現する“ねばねば”、“べちゃべちゃ”およびその類語、弾力を表現する“ぷりぷり”およびその類語は、消費者の語彙に多数ある。古来、日本人は餅など粘りのある食品を好んで食べてきた。納豆、里芋、こんにゃくなど、粘りやぬめり、弾力が特徴の食品も日本人の食卓には数多い。日本でよく食べられている食材や日本人のテクスチャー嗜好が言葉の背景にあるのではないかと推測される。

終わりに

本リストを官能評価や消費者を対象とした調査の設計、消費者への情報発信の際に活用していただければ幸いである。

参考文献

- 1) 吉川誠次他, 品質管理, 19, 66-70 (1968).
- 2) 吉川誠次他, 品質管理, 19, 147-155 (1968).
- 3) 早川文代他, 食科工, 52, 337-346 (2005).
- 4) 早川文代他, 食科工, 51, 131-141 (2004).
- 5) Szczesniak, A. S. and Kleyn, D. H., *Food Technol.*, 17, 74-77 (1963).
- 6) Rohm, H., *J. Texture Stud.*, 21, 363-373 (1990).
- 7) 吉川誠次他, 第6回官能検査大会報文集, 38-67 (1965)
- 8) 早川文代他, 食科工, 53, 327-336 (2006).

タンパクふき取り法による自主衛生検査—食品製造現場での活用と有効性—

食品総合研究所
食品安全研究領域
食品衛生ユニット
川崎 晋

はじめに

食品の製造には様々な工程がある。原料の受け入れから始まって、洗浄、加工、殺菌、包装、そして出荷に至るまで、その工程は製造する食品について様々であるが、食品の製造ラインを常に清潔に保たなければならないのは、どの工程においても共通に当てはまることである。近年、食中毒の事例が数多く報告される中、食品製造業界においても如何に食中毒を未然防止するかという考え方が浸透しつつあり、自主的にさらなる衛生管理を行いたいという要望が高まっている。これまで「経験的に大丈夫」で済まされていた食品製造工程が、科学的に危険な作業工程を洗い出しその作業内容をマニュアル化するというように、具体的な対策までをも考えて実行されるようになってきた。中でも、食品製造ラインの洗浄度をモニタリングしたいという要望は企業からも強い。しかし、衛生環境を改善するためだけに検査管理項目を増やすことは大変であり、さらには労力だけでなく専門知識と技術を要求されるところが問題として残る。さらに、食品製造現場においては、誰にでも取り扱うことの出来る簡単で、特別な技術を必要としない製造ライン洗浄確認手法が求められる。特に重要なのは作業を始める直前に製造ラインが汚染されているか否かの判断であり、その場での判定結果により、洗浄をやり直すか決定しなければならない。その判定結果は主観的ではなく客観的な判定手法でかつ再現性のある科学的根拠に基づいた結果であることが望ましい。このようなニーズからタンパク拭き取り検査法による汚染判定法が開発されてきた。日常食品製造ラインなどで洗浄工程をモニタリングするために微生物検査が行われている中で、このような検査法がどのように活用できるか、その可能性を述べる。

タンパクふき取り検査法による迅速検査

タンパクふき取り検査法は、その名の通り、製造ラインに付着する汚染物質であるタンパク質の有無を迅速に捉えることで総合的な汚染度や洗浄度を迅速に評価する手法である。この方法は、結果がその場で判定できるために、製造ラインを使用する直前の汚染有無を確認できる手法となりうる。

現在、様々なタンパク拭き取り検査キットが販売されており、その検出原理はpH 誤差現象(タンパク質が存在するとアルカリ側に反応するpH 指示薬を用いてタンパク質を検出する)やビュレット反応によるものなどが挙げられるが、ここではpH 誤差現象による検出法について(図 1)示した。すなわち検査面を綿棒でふき取った後に、検出試薬と反応させることにより、目視で微量のタンパク質の有無を判定できる。このように、判定は 10 秒程度で得られ、短時間に高感度かつ誰でもタンパク質検出が可能となる。このように製造ラインのタンパク質の有無を調べることで汚染状況を即座に知ることができ、このような製造現場の汚染が存在するところは微生物学的な汚染リスクも高いため、作業衛生環境を向上できるツールとして活用できると考えられる。また、経験的な現場作業監督者による目視確認ではなく、科学的検出法による客観的な検査法であり、だれにでも活用できる。しかも現在市販されている多くのタンパク拭き取り検査キットは使い易く十分な感度がある。

タンパクふき取り検査法の製造現場での検証

このようなタンパク質ふき取り検査は、製造現場で即座に洗浄度の合否が判定できる、製造現場が活用しやすい迅速検査手法の一つであるにもかかわらず、その普及はあまりなされていないのが現状である。その理由として、「タンパクふき取りによる検査手法は確かに微量のタンパク質を検出できるが、微生物そのものを検出するものではない」ためである。確かに、タンパク質総量で考えると微生物1細胞のタンパク質総量はごくわずかであり、一般のタンパク質検出キットの検出感度である 30~60 マイクログラム程度ではとうてい検出できない。このように「タンパク質の汚染量と微生物汚染量との厳密な相関はない」と一般に捉えられている。しかし、微生物汚染の最もありえる汚染源は食材からの持ち込みであり、食品残渣に代表されるようなタンパク質汚染と微生物汚染との定量的関係までは行かなくとも定性的な関連は十分ありうると考えられる。ところが、タンパク質汚染と微生物汚染との相関について科学的

に相関を調べた論文は見当たらない。それゆえ、このような迅速検査手法の普及を考えるためには、実際の食品製造現場で検証し相関を確認する必要性があった。

まずはタンパクふき取り検査に必要な検出系を作成した。今回は前述したpH 誤差現象によるものをモデルケースとして作成し、単純に検査面を綿棒でふき取り、その綿棒を検出試薬に浸けるという形で検出を行うこととした。検出感度をアルブミン濃度で確認したところ、検出感度は約 40~80 マイクログラムであった(図2)。これを用いて検証実験を行うことにした。

ふき取り検査面は、洗浄が困難な箇所や製造機器と食品が接触する部位、食品製造に用いる道具などを選択した。例えば、冷蔵庫の取っ手、スライサーの刃、包丁・まな板などが挙げられる。さらに、ふき取り作業は、製造ラインの洗浄が行われている状態として「製造作業前後」と、製造ラインの洗浄が行えない状態として「製造作業中」の 2 種類の時間帯について検査を実施した。最終的に合計 152 箇所について、ふき取り検査を行った。タンパク質ふき取り検査法が微生物汚染度と関連性があるか調べるために、一般的に行われる微生物検査を実施した。微生物検査項目は一般生菌数・大腸菌群数・大腸菌・黄色ブドウ球菌について行った。さらに、従来の経験的な検査法との比較をおこないやすくするために作業現場監督者の目視による洗浄度の判定結果も合わせて行った。現場監督者により異常があると判断された場合は、そのように判断した内容を記録した。

得られた結果の概要を表 1 に示した。全 152 検体のうち、タンパクふき取り検査法で 73 検体が陽性と得られた。その 73 検体の内(9+44+15)=68 検体は微生物学的検査結果や現場監督者による目視判定結果と関連性を持っていた。中でも 44 検体はタンパク検査陽性かつ微生物学的検査陽性にもかかわらず作業現場監督者による目視判定結果では陰性であるケースであった。44.7%(68/152)が現場監督者による目視判定結果では不十分という結果であり、僅かな汚染を目視では見逃すことを示していた。特に、68 検体のうち 4 検体は洗浄作業後での検査結果であり、洗浄作業後でのタンパク陽性結果はこのケース以外に認められなかった。これは洗浄作業が行われた後で、見た目には問題無いと考えられる場所でも微量な汚染を検出できたという、有効的に活用できたケースを示している。タンパクふき取り検査陽性 73 検体のうち 5 検体に関しては、微生物学的汚染や現場監督者による目視判定結果による原因との関連を見つけられなかったが、この 5 検体についてはタンパクふき取り検査の擬陽性

と考えるよりも、むしろ微量な付着タンパクを検出できたというケースとして理解した方が良いでしょう。すなわち、このふき取り部位は微生物の付着は確認できない(10CFU/100cm²以下)が、いずれ微生物がこの部分に付着するであろうし、さらに時間経過と共に増殖する危険性を持つ箇所と言える。逆に、タンパクふき取り検査結果が陰性と得られたのは78検体あり、その殆どである75検体は微生物汚染・現場監督者による目視判定結果と同じく陰性の結果と得られた。残りの3検体は、微生物学的検査結果が陽性であったが、タンパクふき取り検査結果は陰性と得られた。この3検体においての一般生菌数はいずれも30 CFU/100cm²以下という値であり、微生物検査での検出限界に近い値であった。従って、タンパク汚染を指標として食品製造ラインでの汚染を検出することにより衛生管理を行うことは微生物汚染の推察に十分活用できると考えられる。

このように、タンパクふき取り検査結果は概ね微生物学的検査結果や現場監督者による目視判定結果に示される汚染を包括して検出できており、タンパクという指標により汚れを認識し、自主衛生検査に活用できる可能性が示唆された。最終的に94.7%((9+44+15+76)/152)が、タンパクふき取り検査結果と何かしらの汚染原因と一致し、その有効性を確認できた。

終わりに

このように、実際の製造現場との協力により、タンパク質ふき取り検査法は微生物学的リスクを包括的に捉えられる有効な検出手段となりうることが検証できた。タンパクふき取り検査法は、特別な技術を必要とせず、客観的な汚染判定が可能なことから、比較的活用しやすいツールと言える。特に、洗浄不良箇所をタンパクふき取り検査法により、その場において検出結果をフィードバックし対処を施すことができるのは、大きな優位点である。

食品の製造過程の汚染度をモニタリングするためにタンパクふき取り検査法以外にも様々な迅速検査法が開発されている。当所も様々な迅速検査技術の開発に携わっている。しかしながら、食品衛生環境の向上を考えるために、検査法をどのように活用すべきかを提言することはなかなかできない。タンパク質ふき取り検査法は単純な手法であるけれども、使い方次第で有効な情報を与え、効果的な衛生環境の改善に役立てることができるものとする。

参考文献

- 1) 日本食品微生物学会雑誌 23:230-236, 2006.
- 2) 食品と開発 33:39-42, 1999.
- 3) 月刊 HACCP141:32-40, 2007.

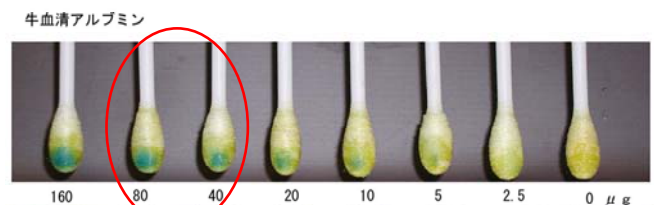
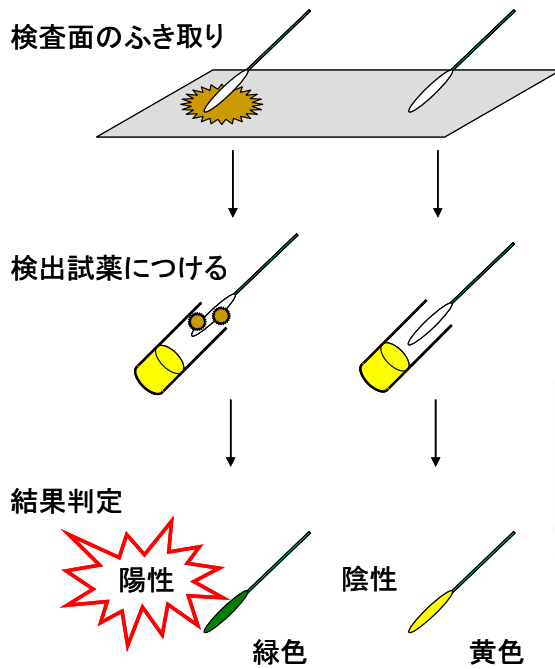


図2. タンパク検出系の感度の確認。
40~80 μgのタンパク量が拭きとれれば誰でも目視により検出できる。

図1. pH誤差法によるタンパク拭き取り検査法の操作工程。

表1. 実動食品製造ラインでの蛋白質ふき取り検査結果と微生物汚染等との関係。

| タンパク検査 | 微生物汚染 | 現場監督者の 経験的判断 | 試験数 | | |
|--------|-------|-----------------|--------|-------|-----|
| | | | 製造作業前後 | 製造作業中 | 合計 |
| + | + | + | 0 | 9 | 9 |
| + | + | - | 4 | 40 | 44 |
| + | - | + | 0 | 15 | 15 |
| + | - | - | 0 | 5 | 5 |
| - | + | - | 1 | 2 | 3 |
| - | - | - | 57 | 19 | 76 |
| | | | 62 | 90 | 152 |

蛋白質検査が
何らかの汚染
原因と一致

目視判断で汚
染を見逃した数
(見た目での判
断では不十分)

← 非検出として一致

+; 陽性, -; 陰性

国産タマネギの産地判別

－ DNAマーカーによる品種識別と無機元素分析－

食品総合研究所
食品分析研究領域
分析ユニット
堀田 博

はじめに

野菜などの農産物の生産地の店頭での、日本国内、外国産などの産地表示が 2000年より義務づけられた。その産地の判別が確実にできる、科学的な判別技術の試みは、種々の農産物で行われてきた。その中で、農産物中に含まれる無機元素の組成や同位対比を利用した産地判別^{1,2)}は、ワイン³⁾や米⁴⁻⁶⁾、茶⁷⁾、コーヒー⁸⁾、ジャガイモ⁹⁾などで先行し、その技術を応用して、当研究所と(独)農林水産消費安全技術センターとの共同で、長ネギ¹⁰⁻¹²⁾や梅^{13,14)}、黒大豆^{15,16)}の、現場で使われる実用化技術として発展し、判別マニュアルも公表されている¹⁷⁾。

これらの技術は日本産と外国産(中国、アメリカ、オーストラリアなどの大陸性の国々)との判別を目標とした技術であり、日本国内産地間の判別についてはほとんど手をつけていなかった。

このような情勢の中で、輸入割合が高い野菜として、ここ数年の国内生産量が110～120万トン、輸入量も生鮮野菜の中では最も多い30万トン前後である「タマネギ」の産地判別に着手した。これまでの判別技術を開発した農産物と違うタマネギの生産・流通での特徴として、外食や加工食品(総菜やスープ)などの加工・業務用需要が50%以上あり、それには輸入品が適しているため小売店頭にはほとんど出ていなかったこと、国内産地も、北海道、兵庫県、佐賀県の3地域だけで国内産の75～80%を占めるなど産地が集中していたことである。それが国内産品に近い中国からの輸入が増えて産地偽装がとりざたされ、国内産地間でもある有名産地のタマネギ販売量が出荷量より明らかに多いなどの産地偽装が疑われるデータもあった。

そこで、タマネギの産地判別を始めるに当たり、その無機元素の組成や同位対比を調査して、判別を行う既に確立されている判別手法に加え、最近急速に発展している遺伝子 (DNA)による品種判別¹⁸⁻²⁰⁾を行い、北海道、佐賀県、兵庫県の各地域により異なっている品種から日本国内の産地を推定する、二段構えの態勢で、タマネギの産地判別プロジェクトを行った。しかし、タマネギは他殖性作物 (主に異なる個体間で受精、同一品種でもDNA配列に違いがある)であるため、自殖性 (主に同じ個体内の雄花と雌花の間で受精)又は栄養繁殖 (クローンによって繁殖)作物、同一品種のDNA配列はほとんど同じ)で既に確立している品種判別手法が使えず新たな手法を開発せねばならなかったが、それに成功したので、それら成果をここに報告する。

材料と実験方法

(1)産地の確実な試料を集める

農産物の産地判別で最も重要なのが、産地の確実な試料の収集である。今回はそれに加えて多くの品種の収集も合わせて行った。外国産のタマネギについては、現地に行つての購入はできないので、民間流通業者から、原産地が明記された小分けされていない物入手した。

品種については、各道県研究機関が所有している物と近隣農家から収集した物、さらに種苗会社から種子を入手して、品種識別に使用した。

(2)無機成分組成の分析

タマネギ 1個の可食部分を測定材料とした。無機成分の組成を測定する試料は、硝酸と過塩素酸、さらにフッ化水素酸を使い、微量な無機元素が溶け出す可能性があるガラス器具類は用いずに、フッ素樹脂やポリプロピレン等のプラスチック製容器で、調製を行った。

無機成分組成の定量は、誘導結合高周波プラズマ発光分析装置 (ICP-AES と略す)と誘導結合高周波プラズマ質量分析装置 (ICP-MS と略す)で行つた。共にプラズマに試料を噴霧してその発光やイオン化したものを測定する装置である。

ICP-AES ではナトリウム (Na)、マグネシウム (Mg)、リン (P)、カリウム (K)、カ

ルシウム (Ca)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、ストロンチウム (Sr)、バリウム (Ba) の 11 元素を、ICP-MS ではリチウム (Li)、アルミニウム (Al)、バナジウム (V)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、ルビジウム (Rb)、イットリウム (Y)、モリブデン (Mo)、カドミウム (Cd)、セシウム (Cs)、ランタン (La)、ネオジウム (Nd)、サマリウム (Sm)、ガドリニウム (Gd)、タングステン (W)、タリウム (Tl) の 18 元素を測定した。

それぞれの産地から収集した試料の元素濃度データを基に、解析解析ソフト (Statistica Pro 06J) を用いて線形判別分析を行った。

(3) 同位対比の分析

タマネギの橙色の皮部を材料として用いた。そこからストロンチウムを抽出した。同位体の定量を専門に行う特殊なマルチコレクター型 ICP-MS で、ストロンチウムの原子量 86 と 87 の同位体を測定し、同位対比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を求めた^{5,6)}。

(4) タマネギ品種識別用の DNA マーカーの開発²²⁾

「タマネギ」「ネギ」など他殖性 (主に異なる個体間で受精) 作物は同一品種でも DNA 配列に違いがあり (多くの多型が存在)、一個体での品種識別はできないと推測された。そこで、品種を集団と考え、複数の個体を調査して遺伝的「ばらつき」の程度を比較することにより、品種の特徴を捕らえ識別した。即ち、品種の同定法として使用するのではなく、品種名が正しいか否かの識別法として用いることを前提とした。

まず、品種間で存在頻度の異なる 19 の DNA マーカーを作製した。次に、DNA 多型試験は、海外で栽培され日本に輸入されている主な 13 品種と北海道、兵庫県、佐賀県、各産地での作付面積が 1% 以上ある品種及びこれから作付面積が増えると予想される 3 品種、計 45 品種を用いた。なお、母球が手に入った物は鱗片から、母球が入手できなかった物は種子から発芽させた子葉を用いた。各 24 個体を使い、アリアル頻度に基づくカタログを作製し、各品種を適正に識別できるか、確認した。即ち、19 マーカーについて、予め品種ごとの存在頻度 (アリアル頻度 : パントが検出された個体数 / 24 個体) を調査しておき (カタログ化)、調査試料集団とカタログ品種間の 2 群の

比率の有意差検定を行った注)。試料集団と該当するカタログ品種集団のマーカー頻度に有意差が認められなければ、試料に表示された品種名が適正であると推定できる。なお、品種識別のためには最低15個体からサンプルを作りそれを分析した。

注)2群の比率の差の検定式 (青木2002)

$$Z_0 = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{p(1-p)(1/n_1 + 1/n_2)}}$$

第1群のケース数を n_1 、陽性数を r_1 、第2群のケース数を n_2 、陽性数を r_2 、各群の比率を $p_1=r_1/n_1$ 、 $p_2=r_2/n_2$ 、2群をプールした全標本中の陽性数の比率を $p=(r_1+r_2)/(n_1+n_2)$ としたとき、検定統計量は本式で計算され、 Z_0 は正規分布に従う

青木繁伸 (2002) <http://aok2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Hiritu/diff-p-test.htm>

(5) ブライント試験

開発した判別 識別法が適切な方法であるか否かを調べる試験として、産地名、品種名を伏せた試料を参加研究機関に送付し、開発した無機成分組成による産地判別法及びDNA マーカーを使った品種識別法により、産地の特定、品種の推定を行い、これらの産地判別法、品種識別法が実用化できるか否かを検証した。

結果と考察

(1) 無機成分組成による判別²³⁾

北海道、兵庫県、佐賀県及び外国産のタマネギの産地を判別するため、それぞれの産地から収集した試料の元素濃度データを用いて線型判別分析を行い、北海道、兵庫県、佐賀県及び外国産の間で分類する4群判別モデルと、4産地のうちの1産地と他の3産地の間で分類する2群判別モデル4種類の計5種類の判別モデルを構築した。

その結果、4群判別モデルでは、北海道産、兵庫県産、佐賀県産及び外国産の分類率は、それぞれ88%、84%、94%及び82%で分類され、クロスバリデーションによる検証で、85%の的中率で判別できた(表1、図1)。

北海道産と外国産(7元素)、兵庫県産と外国産(8元素)及び佐賀県産と外国産(8元素)間で分類する3種類の2群判別モデルでは、それぞれ96%、97%及び94%の分類率で分類でき、クロスバリデーションによる検証では、それぞれ94%、95%及び9

4%の的中率で判別できた(表2)。

表1. 4群判別モデルによる分類とクロスバリデーションの結果

| 産地 | 試料数 | 分類 (%) | クロスバリデーション (%) |
|-----|-----|--------|----------------|
| 北海道 | 108 | 88 | 86 |
| 兵庫県 | 77 | 84 | 87 |
| 佐賀県 | 52 | 94 | 85 |
| 外国産 | 72 | 82 | 81 |
| 計 | 309 | 87 | 85 |

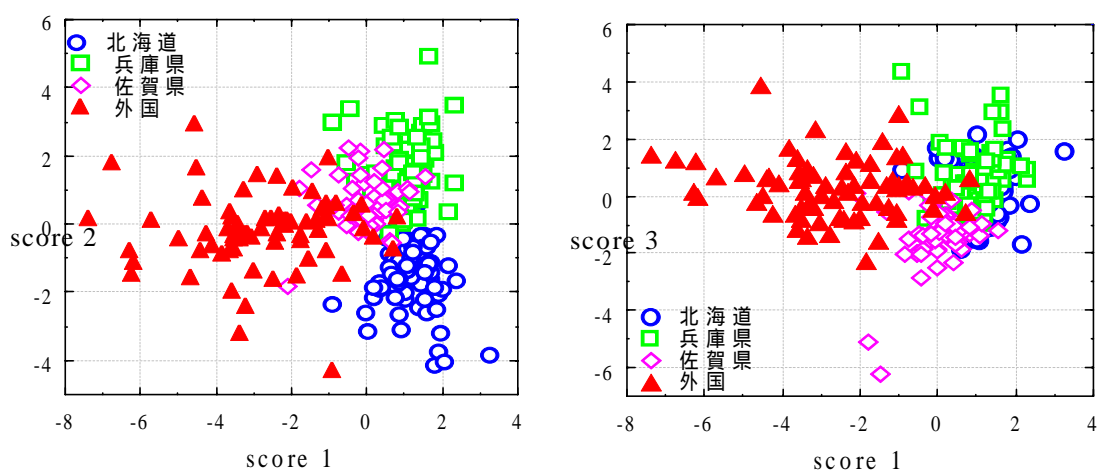
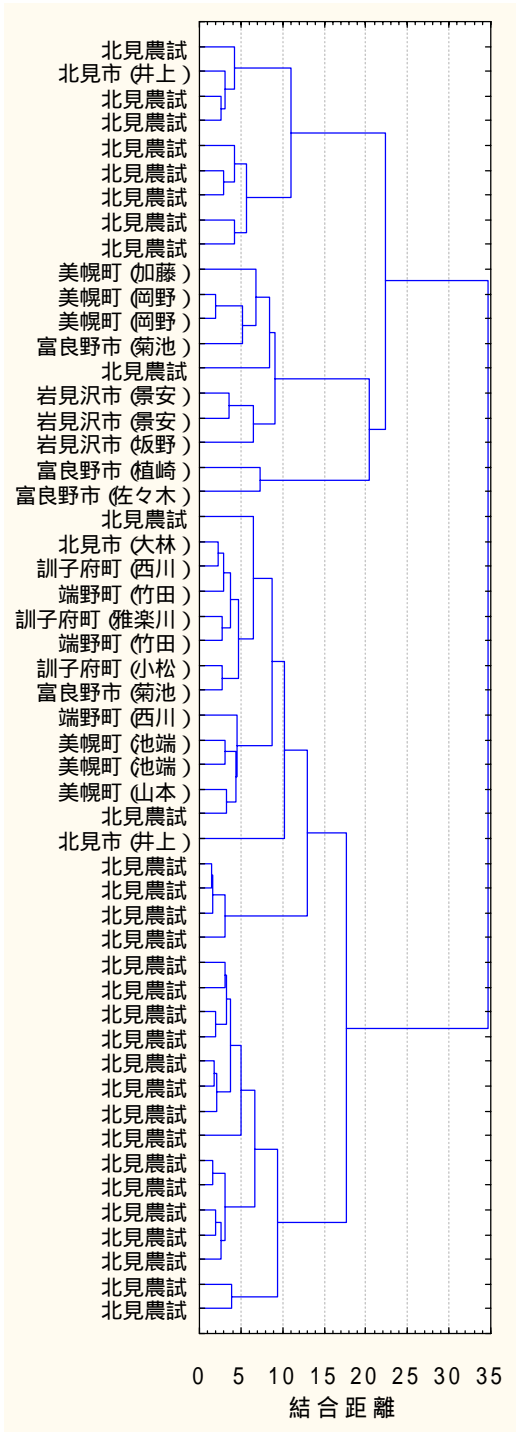


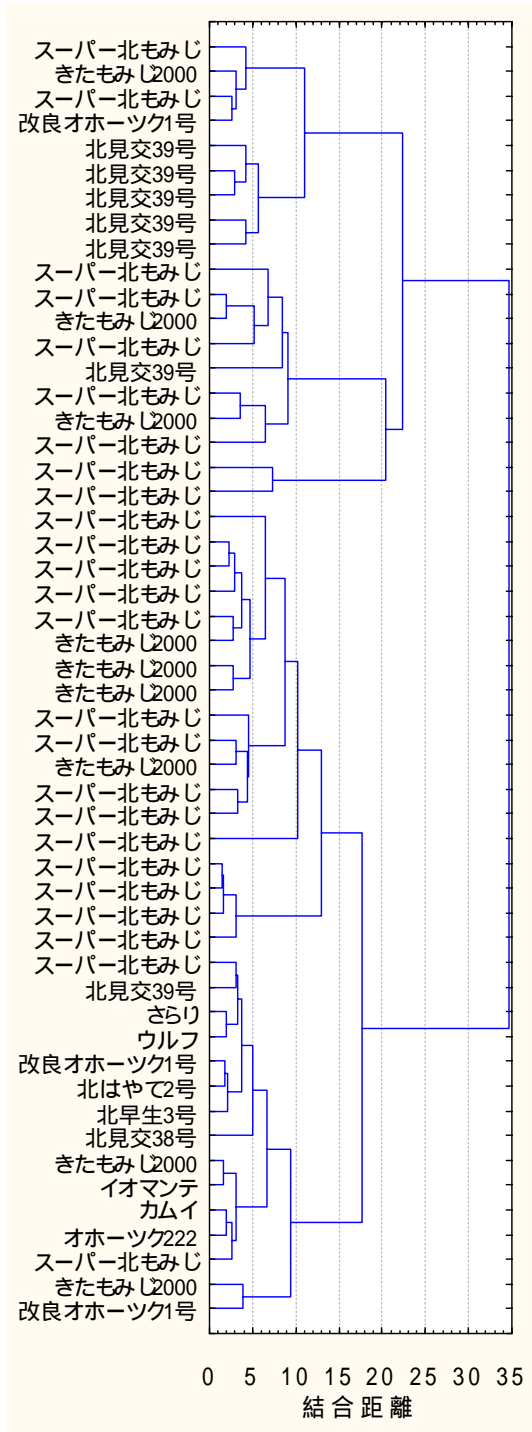
図1. 12元素 (Na, Mg, P, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba) からなる4群の判別関数によるスコアのプロット、3つの判別関数に各元素濃度を代入して得られる値のプロット

表2. 2群判別モデルによる分類とクロスバリデーションの結果

| 判別対象産地 | 判別元素 | 試料数 | 分類 (%) | クロスバリデーション (%) |
|--------|--------------------------|-----|--------|----------------|
| 北海道と | 7元素 | 108 | 100 | 100 |
| 外国産間 | (Na,P,Mn,Sr,Mo,Cd,Ba) | 72 | 89 | 86 |
| 計 | | 180 | 96 | 94 |
| 兵庫県と | 8元素 | 77 | 100 | 100 |
| 外国産間 | (Na,P,Mn,Zn,Sr,Cd,Cs,Ba) | 72 | 93 | 90 |
| 計 | | 149 | 97 | 95 |
| 佐賀県と | 8元素 | 52 | 98 | 98 |
| 外国産間 | (Na,Mg,P,Mn,Rb,Sr,Mo,Ba) | 72 | 92 | 90 |
| 計 | | 124 | 94 | 94 |



生産地で表示



品種名で表示

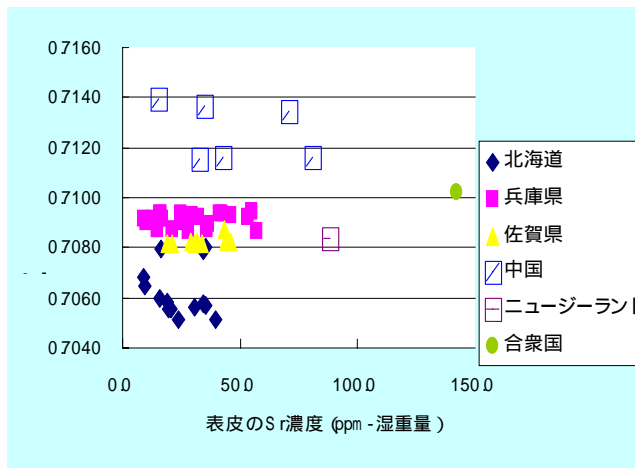
図2.52タマネギ試料の21元素 (Li、Na、Mg、Al、P、K、Ca、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Y、Mo、Cd、Cs、Ba、Tl)濃度の基準値を用いた試料についてのクラスター分析による樹形図。距離計算にはユークリッド距離を用い、結合方法はウォード

法を用いた。

北海道産タマネギについて、多くの元素はその施肥条件や連作年数、品種により濃度の変動が確認されたが、産地間で濃度差の大きい元素を多数組み合わせることで、品種や栽培条件が変わっても北海道内の産地間の判別も可能であった(図2)²⁴⁾。

構築したモデルを38点のブライント試料に適用した結果、4群の判別モデルでは71%の的中率で4群に判別でき、2群の判別モデルでは北海道かそれ以外、兵庫県かそれ以外、佐賀県かそれ以外及び外国かそれ以外かの判別モデルにより、それぞれ92%、79%、79%及び90%の的中率で正しく判別できた。

(2)同位対比による判別



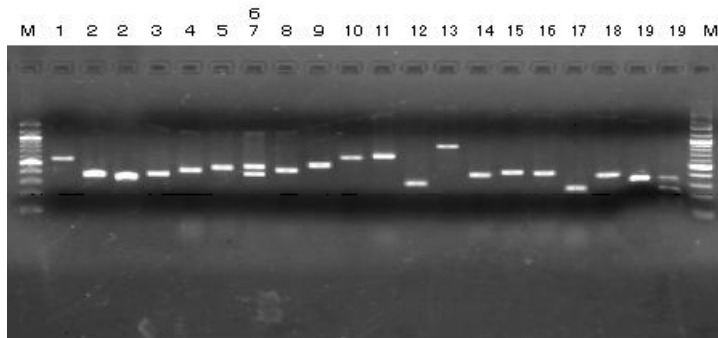
測定機器の使用期間が限られるために測定数が少ないが、国内産と外国産のタマネギ間は、Sr同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)とそれらのSr濃度と併用すると判別でき、また、国内産タマネギ間の同位対比も、概ね判別可能な違いが見られた²⁵⁾。

図3.各生産地産物のSr濃度と同位体比

(3)品種判別²⁶⁾

北海道、兵庫県、佐賀県及び外国産の45品種の判別を試みた。一個体からの遺伝子抽出では予想通り品種を識別できなかったが、同一品種のDNAマーカーのアリール頻度を比較した結果、0.1%及び1%の両水準で、年次間及び地域間における有意な差は確認されなかった。そこで、遺伝的「ばらつき」の程度を比較した。

まず、19種のSTS化したDNAマーカーを開発した(図4)。それらを使い、国内外の計45品種のアリール頻度に基づくカタログを作成し(表3)、2群の比率の差の検定を行うことにより、0.1%及び1%有意水準で一部の品種間を除いて識別が可能であった。各品



注)

マーカー名は、1. OPB3-577、2. trnL.F insert、3. OPF6-382、4. OPH-429、5. AP143、6. CHI-M1、7. CHI-M2、8. OPN10-443、9. OPBG19-516、10. OPW13-636、11. OPN20-690、12. OJ39、13. OPF6-873、14. AP110、15. ANS、16. F3H、17. DFR、18. Xba I、19. ND4

2. は375bp(図左)を+、350bp(図右)を-、19. は制限酵素処理で切(図右)を+、不切(図左)を-とし、その他のマーカーは有無を+-で調査。

図4 タマネギの品種識別に用いた19種類のDNAマーカー

数値は19マーカーのうち0.1%有意水準において有意差が確認されたマーカー数

この手法によるブライント試験(品種名を伏せたサンプルの品種名を、この手法により分析して推定する)では、参加4機関全て品種識別でき、他殖性作物でも品種を集団として捉え、マーカーの頻度比較で品種識別できることが示された。

その中で、中国からの輸入品の一つがもみじ3号(北早生3号)と特定された。やはり日本の品種が中国に持ち出されていることが判明し、残念ながら品種判別だけでは外国産であるか否かは判定できないことがわかった。

終わりに

小売店頭での原産地表示を確実にして、全ての消費者にそれらの表示の信頼性を受け入れてもらうには、市販されている全ての農産物の科学的に信頼される産地判別法の開発が必要であると考えている。今のところ、個々の農産物毎に判別式を作らねばならないので、やはり産地偽装が起こりやすい輸入割合が高い農産物が優先されることになる。また、判別法が開発された農産物でも、品種の変遷などにより年々バージョンアップする必要もあるので、全ての輸入農産物の判別法が開発されるには時間がかかるだろう。

しかし、新たな偽装表示農産物が現れても、その科学的判別はすぐに開発できる技術が確立されているので、日本農林規格(JAS)法にある原産地表示に関する「食品の表示」の信頼性の守りは確実である。

参考文献

- 1) Schwartz R. S. and L. T. Hecking, Determination of geographic origin of agricultural products by multivariate analysis of trace element composition, *J. Anal. At. Spectrom.*, 6 (8), 637 - 642 (1991)
- 2) Kelly S., K. Heaton and J. Hoogewerff, Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis, *Trends in Food Science & Technology*, 16 (12), 555-567 (2005).
- 3) Martin, G. J., C. Guillou, L. M. Martin, M. T. Cabanis, Y. Tep and J. Aerny, Neural factors of isotope fractionation and the characterization of wines, *J. Agric. Food Chem.*, 36, 316-322 (1988).
- 4) 安井明美 ,進藤久美子 ,玄米中の無機元素組成による産地判別 ,分析化学, 49 (6), 405-410 (2000)
- 5) Oda, H., Kawasaki, A and T. Hirata, Determination of the geographic origin of brown-rice with isotope ratios of $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, *Anal. Sci.*, 17, i1627-i1630 (2001).
- 6) Kawasaki, A., Oda and T. Hirata, Determination of strontium isotope ratio of brown rice for estimating its provenance, *Soil. Sci Plant Nutr.*, 45 (5), 635-640 (2002).
- 7) Fernandez-Caceres P. L. , M. J. Martin, F. Pablos, and A. G. Gonzalez, Differentiation of tea (*Camellia sinensis*) varieties and their geographical origin according to their metal content, *J. Agric. Food Chem.*, 49 (10), 4775-4779 (2001).
- 8) Anderson K. A. and B. W. Smith, Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee, *J. Agric. Food Chem.*, 50 (7), 2068 -2075 (2002).
- 9) Anderson, K. A., B. A. Magnuson, M. L. Tschirgi and B. Smith, Determining the geographic origin of potatoes with trace metal analysis using statistical and neural network classifiers, *J. Agric. Food Chem.*, 47, 1568-1575 (1999).
- 10) 有山薫 ,堀田博 ,安井明美 ,ネギの産地判別のための無機元素測定法の確立と予備的検討 ,分析化学 , 52 (11) 969-978 (2003)
- 11) Ariyama K., H. Horita and A. Yasui, Application of inorganic element ratios to chemometrics for determination of the geographic origin of Welsh onions, *J. Agric. Food Chem.*, 52 (19), 5803-5809 (2004)
- 12) Ariyama, K., H. Horita and A. Yasui, Chemometric techniques on inorganic elements composition for the determination of the geographic origin of Welsh onions, *Anal. Sci.*, 20, 871 (2004)
- 13) 井上博道 ,梅宮善章 ,増田欣也 ,中村ゆり ,国内のウメの微量元素濃度による産地判別 ,日本土壌肥料学会誌 , 76 (4), 441-446 (2005)

- 14) 井上博道,梅宮善章,中村ゆり,ウメ干しの仁の微量元素濃度による日本産と中国産の判別,日本土壤肥料学会誌,76(6),875-880(2005)
- 15) 法邑雄司,鈴木忠直,條照雄,安井明美:日本産と中国産の黒大豆「丹波黒」における無機元素組成の差異,日本作物学会,74(1),36-40(2005)
- 16) 法邑雄司,鈴木忠直,小阪英樹,堀田博,安井明美「無機元素組成による黒大豆「丹波黒」の一粒産地判別,日本食品工学会誌,53(12),619-625(2006)
- 17) 農林水産消費安全センターホームページ、http://www.famic.go.jp/technical_information/index.html
- 18) 國久美由紀,松元哲,DNA分析によるイチゴの品種の識別,農業及び園芸,76(1),180-184(2004)
- 19) 紙谷元一,竹内徹,楠目俊三,DNA多型による白インゲンマメ品種「雪手亡」の識別,育種学研究,6,29-32(2004)
- 20) 大坪研一,中村澄子,今村太郎,米のPCR品種識別におけるコシヒカリ用判別プライマーセットの開発,日本農芸化学会誌,76(4)87-94(2005)
- 21) 塚崎光,福岡浩之, Song Yeon-Sang, 山下謙一郎,小島昭夫,他殖性植物における品種識別ならびにF1純度検定に適した品種育成法の提案:ネギを事例として,育種学研究,5(別2)196(2003)
- 22) 臼井裕一,足立静香,紙谷元一,中島寿龜,山元義久,鈴木忠直,安井明美,タマネギの品種識別用DNAマーカーの開発,日本食品科学会誌,53(9)498-504(2006)
- 23) Ariyama K. Y. Aoyama, A. Mochizuki, Y. Homura, M. Kadokura and A. Yasui, Determination of the geographic origin of onions between three main production areas in Japan and other countries by mineral composition, *J. Agric. Food Chem.*, 55(2), 347-354(2007).
- 24) Ariyama, K., Nishida, T., Noda, T., Kadokura, M., Yasui, Effects of fertilization, crop year, variety and provenance factors on mineral concentrations in onions, *J. Agric. Food Chem.*, 54(9), 3341-3350(2006)
- 25) 望月証,ストロンチウム同位体比によるタマネギの産地判別技術,ひょうごの農林水産技術,144,p4,(2006).
- 26) 臼井裕一,足立静香,紙谷元一,中島寿龜,山元義久,鈴木忠直,安井明美,統計的手法を用いたDANマーカーによるタマネギの品種識別,日本食品科学会誌,53(9)505-513(2006)

食品照射履歴検知技術の実用化－光ルミネッセンス(PSL)の活用－

食品総合研究所

食品工学研究領域 反応分離工学ユニット 蘓原昌司、鍋谷浩志

食品安全研究領域 上席研究員 等々力節子

はじめに

食品への放射線照射は、有効な殺菌・殺虫技術の 1 つであり、放射線照射食品の健全性は世界保健機関(WHO)等の国際機関によっても確認され、海外では実用化が進められている。照射食品の適正な流通管理のため、検知技術が必要であり、CEN 規格(欧州標準化委員会)には、すでに 10 種類の検知方法が採択されている(2005.06 現在)。一方、日本では、馬鈴薯(ばれいしょ)の発芽抑制のため 150 グレイ以下のガンマ線(放射線)照射は例外的に認められているが、殺菌を目的とした食品へのガンマ線(放射線)照射は禁止されており、海外で照射処理をされた食品の輸入も認められていない。

CEN 規格には、香辛料などの照射検知法として熱ルミネッセンス(TL; Thermoluminescence)法や光ルミネッセンス(PSL; Photostimulated luminescence)法などの発光計測法がある。国内では平成 17 年 7 月 6 日に「放射線照射された食品の検知法について」(食安発第 0706002 号)により、TL 法による照射食品の検知方法が通知された(通知法)。TL 法は高精度であるが判別までの一連の操作には約 3 日を要することからより迅速な判定方法が必要とされている。PSL 法は数分以内で照射履歴を判別できることから主にスクリーニング法利用されるが、既存 PSL 法(EN-13751)では判別基準となる積算発光量を事前に設定する必要があり、より客観的な判別方法が必要とされていた。

本研究では輸入食品の履歴検証や消費者への信頼できる情報提供の観点から、迅速に照射食品を検知する技術として、新たに PSL 計測装置を開発し、基準発光量を必要としない客観的な判別方法を見出した。

既存 PSL 法(EN-1375)の原理と現状

PSL は食品そのものではなく、微量に混入した鉱物等の結晶構造が発光源と考えられている。放射線由来のエネルギーは結晶構造中にトラップされ、光励起(刺激)によ

り光として放出する。装置の構成も比較的簡単であり、測定者の熟練を必要としない。測定精度は TL 法に比べると若干劣るものの、測定試料の前処理が不要なことからスクリーニング方法としては十分有効と考えられている。

既存 PSL 法(EN-13751 推奨装置)では、サンプルごとに一定の閾値を設け、それ以上の発光量のときは照射履歴ありと判断する。しかしながら、この方法では外部標準(基準発光量)を利用するため客観性が劣ること、さらに、CEN 規格の PSL 推奨装置は、日本の環境(電源・高温・多湿)に適していないこと等より、国内での使用には最適とは言い難い状況であり、安定動作し客観的に評価できる装置の開発が必要であった。

PSL 計測装置の開発

PSL 計測装置は自発極微弱発光計測装置の改良(励起光源、各種フィルタ追加)により作製した。励起用の光源には市販の近赤外 LED 照明、励起光カット用には赤外カットフィルタを使用した。強い PSL シグナルを得るため、効率よく試料を照射できる光源、フィルタ等を検討し検出感度を向上させた(図1)。具体的な発光計測手順は①励起光を照射せずに 10 秒間測定し、試料からの自発発光量の変化により遅延発光がないことを確認、②励起光を照射して 100 ミリ秒間隔で測定するものとした。

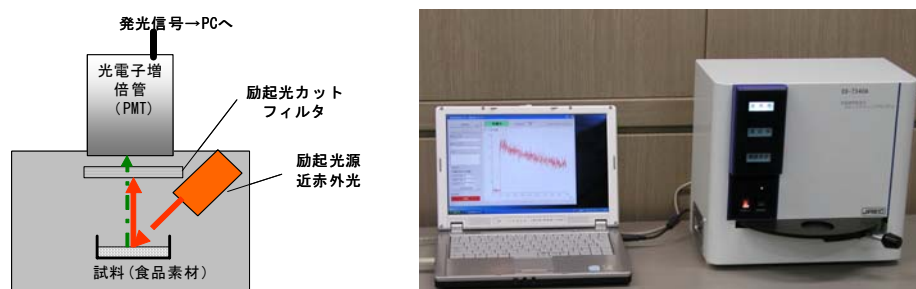


図1 PSL 測定装置の構造の概略と開発装置
(左:概略図、右:開発装置)

新規 PSL 評価法とその性能

開発装置により試料からの PSL 強度変化を計測したことで、放射線照射された試料では励起光照射後 PSL の発光量は減衰し、対照区では PSL が生じないことを明らかにした(図2)。本判別法は既存 PSL 法のような判別基準の発光量は不要である。

この現象は多くの食品でも確認され、TL 法での判別結果とも相関があった¹⁾。さらに、本装置ではガンマ線照射処理後2年経過したパプリカの放射線照射履歴も判別可能であった(図3)。

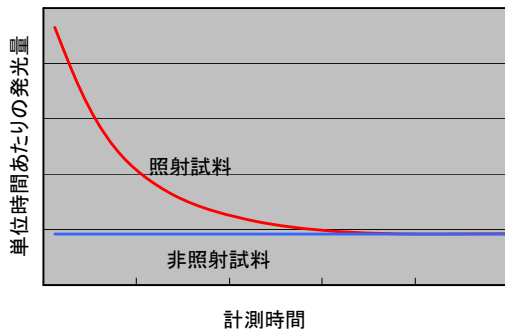


図2 新しいPSL 判別方法(概念図)
放射線照射試料は単位時間あたりの発光量が時間とともに減少する。
非照射試料は発光しない。

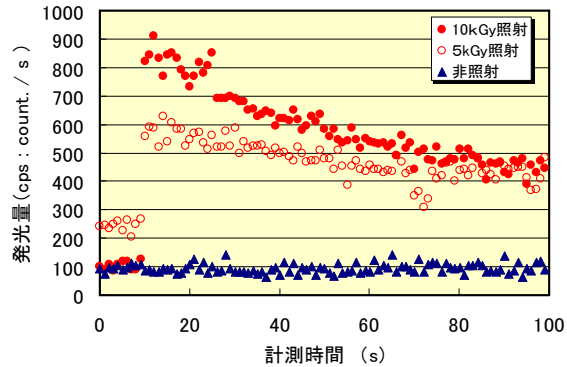


図3 ガンマ線照射処理2年後の検知の可能性
パプリカ(2004/08/22 照射、2006/09/08 測定)

終わりに

本研究により開発された PSL 開発装置および判定方法は、食品の放射線照射履歴を簡易にかつ迅速に計測できたことから、食品照射履歴検知のスクリーニング法として有効である。今後は研究室間共同実験により計測法の妥当性を確認し、より信頼性の高い計測法となるよう研究を推進したい。

なお、本研究は、食品総合研究所と地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター、日本放射線エンジニアリング株式会社との共同研究に基づく成果である。

参考文献

1) 等々力節子ら、市販香辛料の熱ルミネッセンス(TL)及び光ルミネッセンス(PSL)応答の比較、食総研報、No.71、91-96(2007)。

関連特許

1) 特許公開 2007-47132、放射線照射判別方法および放射線照射判別システム