

近赤外分光法による栄養成分の迅速分析の有効性とその活用

奈良一寛*・桑野恵理子**・中條祥子**・佐藤幸子**・白尾美佳***

* 食生活科学科 食品化学研究室 ** 食生活科学科 調理学第二研究室

*** 食生活科学科 食品栄養学研究室

The effectiveness and utility of near-infrared spectrophotometry
for a rapid determination of nutrients in foods

Kazuhiro NARA*, Eriko KUWANO**, Shoko NAKAJO*, Sachiko SATO*
and Mika SHIRAO***

*, **, *** *Department of Food and Health Sciences, Jissen Women's University*

We examined the effectiveness of near-infrared spectrophotometry for the nutrient analysis of foods. The energy contents of 18 commercial confectionery products measured by near-infrared spectrophotometry were highly correlated with the values printed on the labels ($r=0.9712$), suggesting that this method can be used to rapidly determine the energy content of confectionery items. Regarding the nutrient contents of these samples, a high correlation between the measured values and those printed on the labels was observed for fat and carbohydrate, but a large discrepancy was found for protein. The energy and nutrient contents of “kasutera-imo” samples prepared using three different heating methods were determined by near-infrared spectrophotometry, and the values were compared with those obtained using the standard chemical analysis methods. The results showed that the near-infrared spectrophotometric values were within the specified tolerance ranges. These findings suggest that the energy content of confectionery products can be rapidly determined using near-infrared spectrophotometry.

Key words : near-infrared spectrophotometry (近赤外分光法), energy (エネルギー),
confectioneries (菓子類), calorie answer (カロリーアンサー),
rapid determination (迅速分析)

1. はじめに

近赤外分光分析とは、対象物に近赤外領域の波長の光を照射し、光の吸収される程度を測定することにより特定の成分を分析する手法であり、農水産物の成分分析や品質管理に広く用いられ、非破壊で目的の成分が簡便かつ迅速に行えるという特徴がある¹⁻⁵⁾。近年、食品のエネルギー測定も可能であるとされ、その利用についても検討されている⁶⁻⁸⁾。エネルギーをはじめとして栄養成分分析は、対象試料を化学分析することで算出するのが最も有効であると思われるが、多様化する食事状況や数多くある食材をすべて化学分析で対応することは、費用や迅速分析といった面からは困難である。したがって、食品中に含まれる栄養成分は、

日本食品標準成分表を用いて算出されることが多いのが現状である。また、食品は、一般に加熱調理によって重量変化や成分の損失が起こるが、日本食品標準成分表では、「調理による成分変化率の食品群・区分別一覧表」があるものの、数多くある調理加工品すべてに対応できているとは思えない。したがって、対象試料の簡便な測定法の開発が期待される。そこで我々は、近赤外分光分析による栄養成分の分析の有効性について詳しく見ることにした。本実験では、加工食品の基礎資料の収集のため、まず市販菓子類を用いて評価した。また加えて、江戸時代の料理については、当時の料理書から、調理によって再現がされ⁹⁻¹¹⁾、身近に見ることができるようになっているが、それらの

栄養成分分析を行った例はないことから、ここでは、江戸時代の料理書「甘藷百珍（珍古樓主人著）」より「かすてらイモ」を取り上げ、その分析も試みたのでここで報告する。

2. 実験方法

2-1. 供試材量

日本食品標準成分表（七訂）で和生菓子・和半生菓子類に分類される9品目、和干菓子類に分類される2品目、ケーキ・ペストリー類に分類される4品目、デザート菓子類、スナック類およびチョコレート類に分類されるそれぞれ1品目の合計18品目を試料として用いた（表1）。すべて近隣のスーパーマーケットおよびコンビニエンスストアより購入し、それぞれの試料をフードプロセッサー（株式会社テスコム、TK410）にて粉碎し、粉碎した試料を一定量採取し、近赤外分光法による分析に用いた。

2-2. 近赤外分光法による栄養成分分析

近赤外分光法による栄養成分分析には、カロリーアンサー（株式会社ジョイワールド・パシフィック、CA-HM）を使用した。カロリーアンサーは、ハログランプを光源として、光源からの白色光のうち、

1100～2200nmの近赤外線を食品に照射し、食品からの反射光の強度を検出している。2nmごとに550データ採取し、たんぱく質、脂質、炭水化物およびエネルギー、さらには水分量が、試料100g当たりで算出できるとされている。

粉碎した試料は、機器に付属のふたを持った専用標準セル（セル容量19mL）に均一に広げて盛り付け、分析に供した。近赤外分光法においては、精度よく分析するために検量線の作成が重要である。カロリーアンサーにおいても試料に適した検量線をもつモードの選択が必要であることから、ここでは、市販菓子類の分析は「和菓子・洋菓子・菓子パン」モードで行った。

2-3. 「かすてらイモ」の調製

江戸時代の料理書「甘藷百珍（珍古樓主人著）」（1978年）には、奇品、尋常品、妙品および絶品の4つに分類され、合計123品のサツマイモの調理法が取りまとめられている。その中から、妙品に分類される「加須底羅イモ（かすてらイモ）」を、現在の調理方法を参考に材料および配合量を検証し、以下のように再現した。あらかじめ砂糖（20g）、片栗粉（10g）および溶き卵（50g）を混ぜておき、それに水で洗った後、皮ごとすりおろしたサツマイモ（150g）を加え、さらに混ぜ合わせ生地を作成した。「甘藷百珍」では、加熱方法について、「焼き鍋で上面と下面とを焼き」との記載があるが、本実験では、「蒸し」、「焼き」および「オープン」の異なる3つの加熱方法で調製した。

「焼く」；アルミホイルで作成した型（縦12.5cm×横12.5cm）に生地を高さ1.0cmまで流し込み、薄く油を敷いたテフロンフライパン（直径約26cm）で、中火より少し弱いくらいで片面4分ずつ両面を焼いた。なお型の内側には薄く油をぬった。

「蒸す」；ステンレス製の流し型（縦12.5cm×横12.5cm）に高さ1.0cmになるように生地を流し込み、蒸し機内温度を100℃とし、弱火にて15分間蒸した。

「オープン（200℃）」；アルミホイルで作成した型（縦12.5cm×横12.5cm）に生地を高さ1.0cmま

表1 実験に用いた市販菓子類（18品目）

| 試料名 | 商品名 | 製造元 |
|---------------|------------|-------------|
| <和生菓子・和半生菓子類> | | |
| カステラ | かすてら | 山崎製パン(株) |
| 大福もち | 塩豆大福 | 足立産業(株) |
| どら焼き① | どら焼き | 米屋(株) |
| どら焼き② | 栗どら焼き | 米屋(株) |
| まんじゅう① | 黒糖まん | 山崎製パン(株) |
| まんじゅう② | もみじまん | 山崎製パン(株) |
| もなか | 小豆最中 | 足立産業(株) |
| ようかん① | 煉羊羹 | 米屋(株) |
| ようかん② | 栗むし羊羹 | 山崎製パン(株) |
| <和干菓子類> | | |
| かりんとう | 黒糖かりんとう | 東京カ rint(株) |
| せんべい | えびせんミックス | (株)山三商会 |
| <ケーキ・ペストリー類> | | |
| シュークリーム | ミニシュー | ヨネザワ製菓(株) |
| ドーナツ | ミルクドーナツ | 宮田製菓(株) |
| バターケーキ | メーブルフィナンシェ | (株)香月堂 |
| ワッフル | ワッフルバター | (株)コモ |
| <デザート菓子類> | | |
| カスタードプリン | ブッチプリン | グリコ乳業(株) |
| <スナック類> | | |
| ポテトチップス | ポテトチップス | カルビー(株) |
| <チョコレート類> | | |
| チョコレート菓子 | パイの実 | (株)ロッテ |

で流し込み、あらかじめ200℃で予熱したオーブンで15分間焼き上げた。なお型の内側には薄く油をぬった。

2-4. 「かすてらイモ」の栄養成分分析

加熱方法の異なる3種の試料をそれぞれミキサーにて均一にした。均一にした試料の一部を採取し、たんぱく質、脂質、水分、灰分を測定した。なお、水分は105℃常圧加熱乾燥法、たんぱく質および脂質はケルダール法およびソックスレー抽出法、灰分は550℃の灰化法によって測定し、炭水化物は差し引き法（水分、たんぱく質、脂質および灰分の合計を100gから差し引き）により求めた。「かすてらイモ」は主となる材料がサツマイモであることから、エネルギー値は、それぞれの定量値にFAOのエネルギー換算係数を乗じたものの総和で算出した。また、粉碎した試料は、カロリーアンサーによって、「イモ類」モードにて栄養成分分析も行い、得られたたんぱく質、脂質および炭水化物からエネルギーを求めた。

3. 結果および考察

3-1. 市販菓子類の近赤外分光法による栄養成分分析

菓子類18品目のエネルギーを近赤外分析によって測定した（表2）。各試料6回繰り返し測定したとこ

表2 市販菓子類の近赤外分光法により測定したエネルギー量

| 試料名 | 熱量 (kcal/100g) | | |
|----------|----------------|------|------|
| | 測定値 | 標準偏差 | 変動係数 |
| カステラ | 298 | 0.6 | 0.01 |
| 大福もち | 299 | 6.6 | 0.02 |
| どら焼き① | 310 | 5.7 | 0.02 |
| どら焼き② | 299 | 8.0 | 0.03 |
| まんじゅう① | 267 | 5.1 | 0.02 |
| まんじゅう② | 260 | 4.2 | 0.02 |
| もなか | 319 | 2.7 | 0.01 |
| ようかん① | 303 | 9.3 | 0.04 |
| ようかん② | 261 | 7.7 | 0.03 |
| かりんとう | 442 | 2.1 | 0.01 |
| せんべい | 448 | 6.5 | 0.01 |
| シュークリーム | 274 | 7.8 | 0.03 |
| ドーナッツ | 455 | 11.0 | 0.02 |
| バターケーキ | 536 | 4.3 | 0.01 |
| ワッフル | 453 | 7.0 | 0.01 |
| カスタードプリン | 166 | 3.5 | 0.02 |
| ポテトチップス | 572 | 7.4 | 0.02 |
| チョコレート菓子 | 500 | 5.6 | 0.01 |

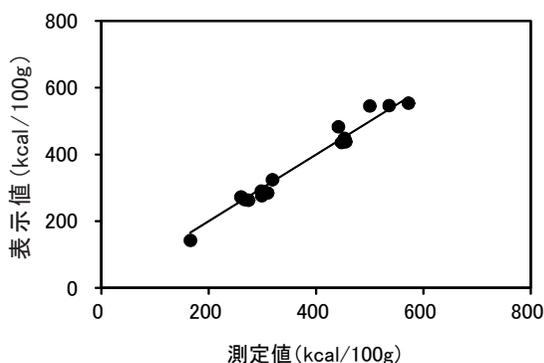


図1 近赤外分光法による測定値と表示値との関係

ろ、変動係数は0.01～0.04であった。「ようかん①」における変動係数が他の菓子類に比べ大きかったが、近赤外分光法による測定値と、各試料の表示値との間には高い相関 ($R^2=0.9712$) が認められた（図1）。花松ら⁷⁾は、洋菓子および菓子類で、成分分析による計算値と近赤外分析による測定値が高い相関を示しているが、本実験でも同様の結果であったことから、市販の菓子類では、近赤外分析によるエネルギーの簡易的な迅速測定が可能であることが確認された。

次に各成分（たんぱく質、脂質および炭水化物）における測定値の詳細について見るとともに、各成分の測定値と各試料の表示値とを比較した（表3）。たんぱく質および脂質の変動係数は、0.02～0.10および0～2.44であり、同一試料間のバラつきが大きかった。一方、炭水化物の変動係数は0.01～0.05とたんぱく質、脂質に比べバラつきが小さく、成分によっても差異があることが明らかとなった。「ようかん①」は、いずれの成分でも変動係数が大きくなり、「ようかん②」は、たんぱく質と脂質の変動係数が大きくなった。また、「まんじゅう①」および「まんじゅう②」は、脂質の変動係数が他の試料に比べて顕著に大きかった。「ようかん①」では、エネルギーにおける変動係数が他の菓子類に比べ大きかったが、各成分のバラつきが、その結果に影響していると考えられた。「ようかん」および「まんじゅう」の同一試料間のバラつきは、粉碎、攪拌による均一化が不十分であることも考えられることから、今後、これらの試料については、ミキサーによる粉碎方法を検討する必要があると考えられた。また、「ようかん」および「まんじゅう」は、いずれも黒色を示している試料であったこと

表3 市販菓子類の近赤外分光法により測定したたんぱく質、脂質および炭水化物量

| 試料名 | たんぱく質 (g/100g) | | | 脂質 (g/100g) | | | 炭水化物 (g/100g) | | |
|----------|----------------|------|------|-------------|------|------|---------------|------|------|
| | 測定値 | 標準偏差 | 変動係数 | 測定値 | 標準偏差 | 変動係数 | 測定値 | 標準偏差 | 変動係数 |
| カステラ | 6.8 | 0.2 | 0.03 | 3.5 | 0.1 | 0.04 | 60.1 | 0.3 | 0.02 |
| 大福もち | 4.8 | 0.5 | 0.10 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 70.0 | 1.6 | 0.02 |
| どら焼き① | 6.6 | 0.3 | 0.04 | 5.5 | 0.4 | 0.06 | 58.4 | 0.5 | 0.01 |
| どら焼き② | 6.1 | 0.3 | 0.05 | 4.7 | 0.6 | 0.12 | 57.9 | 1.0 | 0.02 |
| まんじゅう① | 6.7 | 0.5 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | 1.56 | 59.8 | 0.6 | 0.01 |
| まんじゅう② | 6.1 | 0.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 2.44 | 58.7 | 0.6 | 0.01 |
| もなか | 6.2 | 0.4 | 0.07 | 1.0 | 0.6 | 0.59 | 71.3 | 1.6 | 0.02 |
| ようかん① | 5.0 | 0.6 | 0.10 | 1.7 | 0.8 | 0.44 | 66.8 | 2.9 | 0.05 |
| ようかん② | 5.1 | 0.5 | 0.09 | 0.1 | 0.2 | 1.67 | 59.8 | 1.5 | 0.03 |
| かりんとう | 8.5 | 0.2 | 0.02 | 16.5 | 0.6 | 0.05 | 64.8 | 1.1 | 0.02 |
| せんべい | 6.0 | 0.1 | 0.03 | 15.0 | 0.9 | 0.06 | 72.2 | 0.7 | 0.01 |
| シュークリーム | 6.2 | 0.2 | 0.02 | 15.0 | 1.1 | 0.07 | 28.5 | 0.4 | 0.01 |
| ドーナッツ | 6.0 | 0.3 | 0.05 | 23.5 | 1.6 | 0.06 | 54.9 | 0.8 | 0.01 |
| バターケーキ | 7.8 | 0.3 | 0.04 | 33.7 | 0.9 | 0.03 | 50.5 | 1.3 | 0.02 |
| ワッフル | 6.5 | 0.2 | 0.03 | 24.7 | 1.0 | 0.04 | 51.2 | 0.7 | 0.01 |
| カスタードプリン | 7.2 | 0.2 | 0.02 | 3.1 | 0.2 | 0.08 | 27.5 | 0.8 | 0.03 |
| ポテトチップス | 7.2 | 0.3 | 0.04 | 33.9 | 1.1 | 0.04 | 58.9 | 1.1 | 0.02 |
| チョコレート菓子 | 7.9 | 0.2 | 0.03 | 26.4 | 0.8 | 0.03 | 57.6 | 0.6 | 0.01 |

から、黒色が近赤外分光による食品のエネルギー分析に及ぼす影響についても今後詳しく見ていくことも必要であると思われた。

各試料における栄養成分の表示値と、近赤外分光法における測定値との関連性について見ると、脂質および炭水化物は、それぞれ $R^2=0.9761$ および $R^2=0.9037$ と高い相関がみられた。一方で、たんぱく質は、栄養成分の表示値と測定値との差異が大きい試料が多かった。試料別にみると、「プリン」では、他の試料に比べ、たんぱく質、脂質および炭水化物の測定値が表示値と差異が大きかった。「プリン」は他の試料と比較しても明らかに弾力や粘性といった物性が異なること、また、水分含量も多いことから、それら物性が近赤外分光法による測定に影響を及ぼしていると考えられた。今後は、近赤外分光法による測定値と物性との関連についても検討していくことで、より高精度な測定が可能になると思われた。

各成分(たんぱく質、脂質および炭水化物)でみると、かならずしもすべてで高い相関が認められなかったものの、図1に示されたように、エネルギーは、すべての試料で、同一試料間のバラつきは比較的小さく、近赤外分光法による測定値と表示値との間には高い相関が認められた。これは、本実験で用いたほとん

どの試料で、全エネルギーの多く(約91~98%)を、脂質および炭水化物が占めていることが関与していると考えられた。脂質および炭水化物はいずれも近赤外分光法による測定値と表示値との間に高い相関が認められた成分であることから、それらの値から算出したエネルギーが、表示値に近似したという可能性も否定できない。したがって今後は、全エネルギーに対して、たんぱく質比率の高い試料での詳細な検討も必要になると思われた。

3-2. 加熱方法の違いが「かすてらイモ」の出来上がりにも与える影響

「甘藷百珍」における「かすてらイモ」の記載によると、加熱方法は「焼き鍋で上面と下面とを焼き」とある。現代の調理加熱方法に応用し、ここではまず加熱方法の違いによる出来上がりの比較を行うこととした。本実験では、「焼く」、「蒸す」および「オープン(200℃)」の3種の加熱方法により「かすてらイモ」を調製し、それぞれの出来上がりについて比較した。「焼く」では、外観の焼き色が好ましく、香りも香ばしく、表面がカリッとして、内部はしっとりしていた。「蒸す」では、表面が少し黒っぽくなり、食感はもっちりしており、粘り気も少し感じられた。「オー

ブン」では、「焼き」と同じように表面に焼き色がつき、食感もフワフワしており、蒸しパンのような食感であった。加熱条件により食感が明らかに異なることが感じられた。

一般に、調理加工品の栄養成分の算出には、原料すべての配合重量に加え、計算値を求める際には合理的な根拠に基づき、重量変化率や加熱などによる栄養成分含量の変動など、調理加工の影響を計算値に反映させることが望ましいとされている。しかしながら、加熱による栄養成分の変化について、様々な調理加工法がある中で、すべてを明らかにすることは容易ではない。したがって、迅速に、しかも簡便に栄養成分を把握する手段が必要とされる。また、江戸時代の料理書からの再現は多く見られるものの、それらの栄養成分を分析したという報告はほとんどない。そこで、調理加工品への近赤外分光法の応用の検討のため、加熱方法の異なる3種の「かすてらイモ」の栄養成分分析を行うこととした。

異なる加熱方法で調製した3種の「かすてらイモ」の熱量を図2に示した。公定法による化学分析では、加熱方法の違いで熱量（分析値）が異なっていた。一方で、近赤外分光法による測定で得られた熱量（測定値）においても、分析値と同様の傾向が認められた。分析値と測定値の間には高い相関（ $R^2=0.9653$ ）が認められたことから、近赤外分光法によるエネルギーの迅速測定は可能であることが示唆された。しかしながら、近赤外分析法による測定値は、化学分析による分

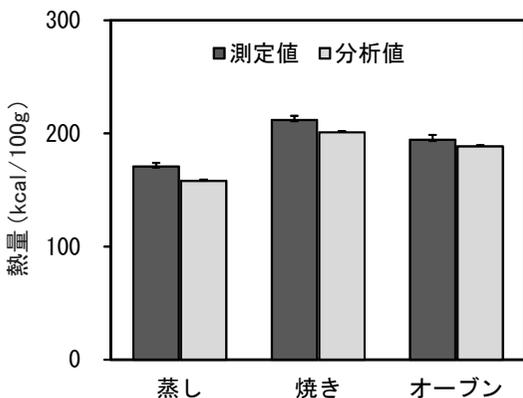


図2 異なる加熱方法で調製した「かすてらイモ」の熱量
測定値：近赤外分光法で得られた値
分析値：公定法による化学分析で得られた値

析値よりも約3～8%高く評価されていることが確認された。これは、近赤外分析法による測定で得られた熱量では *Atwater* の換算係数が用いられエネルギーが算出されているのに対して、化学分析によるエネルギーは、主材料がサツマイモであることから、FAOのエネルギー換算係数が用いて算出したためであると推察される。複数の原材料からなる加工食品では、エネルギーの算出の際、*Atwater* の換算係数を適用するのが一般的であるが、主原料の配合割合等が確認できる場合は、適した換算係数を用いることが必要であると思われる。そこで、近赤外分析法で得られたたんぱく質、脂質および炭水化物の各成分にFAOのエネルギー換算係数を乗じてエネルギーを再計算した。再計算前と同様に、近赤外分析法による測定値は、化学分析による分析値よりも高い値であったが、再計算前の値に比べ、明らかに化学分析値に近似し、近赤外分光法に測定値と化学分析値との間の相関がさらに高まっていた（ $R^2=0.9742$ ）。本実験で行った近赤外分光法によるエネルギー測定では、*Atwater* の換算係数を用いても、化学分析値の許容差の範囲にあり、有効に利用できると思われる。しかし、主となる原料やその配合割合によって、適切な換算係数を用いることが、さらに精度の高い数値を求めることに必要であり、望まれると考えられた。

4. まとめ

近赤外分光分析による栄養成分の測定の有効性について、市販の菓子類を用いて調査した。また加えて、江戸時代の料理については、栄養成分分析を行った例はないことから、ここでは、「甘藷百珍」より「かすてらイモ」を取り上げ、その栄養成分について化学分析と近赤外分光法による分析を行った。

1) 市販菓子類18品目のエネルギーを近赤外分光法によって測定した。近赤外分光法による分析値と各試料の表示値との間には、高い相関が確認された。

2) 各試料における栄養成分の表示値と、近赤外分光法における測定値との関連性について見ると、脂質および炭水化物では、高い相関がみられたが、たんぱく質は、栄養成分の表示値と測定値との差異が大きい試料が多かった。

3) 異なる3種の加熱方法で調製した「かすてらイモ」において、公定法で得られた分析値より算出した

エネルギーと近赤外分光法による測定値より得られたエネルギーとの間には高い相関が認められた。

以上のことから、菓子類において、近赤外分光法によるエネルギーの測定は、簡易で迅速にできる有効な手段であると考えられた。

近赤外分光法は、非破壊によって、迅速で簡便に成分を測定できることから、さまざまな分野で利用されている。実用化されたよい例が、醤油の成分分析であり、JAS 格付検査の分析法として採用され¹²⁾、製造の現場で広く利用されている。食品の栄養成分測定やその評価にも、非常に簡易的に分析できることから、今後、利用されていくことが期待される。近赤外分光法による熱量分析では、各成分において、今以上の高精度な検量線の作成が必要になり、それによって、より有益な情報が得られ、さらに利用価値も高まるものと考えられた。

参考文献

- 1) 恩田匠、辻政雄、小宮山美弘：近赤外分光分析法によるスモモ果実の糖度、酸度および硬度の非破壊計測、日食工誌、41(12)、908-912 (1994)
- 2) 藤原孝之、本庄達之助：近赤外分光法によるイチゴ果汁の糖および酸含量の測定、食科工、43(7)、841-848 (1996)
- 3) 小宮山誠一、加藤淳、本田博之、松島克幸：可視および近赤外分光法によるジャガイモデンプン価の非破壊計測と選別技術への応用、食科工、54(6)、304-309 (2007)
- 4) 河野澄夫：近赤外分光法の現状と将来への展望、分光研究、44(5)、225-235 (1995)
- 5) 広瀬あかり、吉武政広、小野寺純、大場邦夫、榎原卓哉、伊藤暁、芦田慎也、椎名康彦：近赤外分光分析法による養殖クロマグロの脂質含量測定、日水誌、J-STAGE、早期公開版 (2016年)
- 6) 高田和子、別所京子、三浦克之、沢隆裕、小田桐英夫：近赤外分光法による料理のエネルギー評価、栄食誌、62(2)、75-83 (2009年)
- 7) 花松憲光、三浦克之、岡山透、花松学、山端真弓：近赤外線分光法による食品のカロリー測定方法及び測定装置の開発、レーザー研究、39(4)、243-249 (2011)
- 8) Lau E, Goh HJ, Quek R, Lim SW, Henry CJ : Rapid estimation of the energy content of composite foods: The application of the Calorie Answer™, Asia Pac J Clin Nutr., 25(1), 18-25, (2016)
- 9) 福田浩、小沢忠恭：江戸料理をつくる、教育社、東京 (1991)
- 10) 松下幸子、榎本伊太郎：再現江戸時代料理、小学館、東京 (1993)
- 11) 福田浩、松藤庄平：完本 大江戸料理帖、新潮社、東京 (2006)
- 12) 田中秀夫、松本秀樹、鈴木邦明、兼松善範、篠部恭三、山田勝彦、大津宣明、橋本彦堯：近赤外分光法によるしょうゆの JAS 格付検査への適用 (第 1 報) こいくち・うすくちしょうゆへの適用、醬研、20(4)、195-204 (1994)