

## “地産地消”を基本とした郷土料理の良さ

—魚の脂肪酸組成からの検証—

A good point of local dishes on the basis of  
“Local production for local consumption”  
—Inspection from fatty acid composition of fish—

青木 正<sup>1)</sup>  
Tadashi AOKI

山城ミヤ子<sup>1)</sup>  
Miyako YAMASHIRO

稲井玲子<sup>2)</sup>  
Reiko INAI

山内有信<sup>1)</sup>  
Arinobu YAMAUCHI

要 旨：かつてのわが国では、交通や流通が未発達であったこともあり、一般的には地方で確保された食材は、その土地で食す、すなわち“地産地消”で食文化を形成していた。このことから、地方によって様々な郷土料理が誕生したことが伺える。そこで、郷土料理の良さを検証として、魚の脂肪酸組成を分析し、健康との関連性について検討した。その結果、広島産小いわしと長崎産本かつおは、日本食品標準（のちは成分表）に比べて、多価不飽和脂肪酸が多いことに加え、多価不飽和脂肪酸中のn-3系多価不飽和脂肪酸の割合が成分表より高く、n-6系多価不飽和脂肪酸が低いこと、さらに、EPAは若干成分表よりも低い割合であるにもかかわらず、DHAに関しては非常に高い割合であった。これらの魚を使った郷土料理として、生食があるが、脂肪酸の特徴から、知らず知らずのうちに健康の維持・増進に対して非常に理にかなった摂取の仕方となっていることが考えられた。

Key Words：魚脂肪酸組成，郷土料理，健康

### 序 論

広島では、6月10日前後に小いわし漁が解禁となり、3月頃まで漁が続く。この小いわしを使って郷土料理も多数ある。これは一例であるが、日本各地では古来より地域の食材を旬に利用する郷土料理がある。実際に、平成13年農林水産省統計情報部による「漁業・養殖業清算統計年報」<sup>1)</sup>によると、かたくちいわし（小いわし）の広島県における漁獲量は、11,770 tであるのに対して、山口県では、5,317 t、岡山県では5 tと広島県や山口県は、同じ山陽地方でも岡山県に比べると非常に漁獲量も多く、「安芸いりこ、大島いりこ」と呼ばれる煮干や、「音戸ちりめん」といった「ち

りめんじゃこ：の産地でもある。この背景には、広島や山口には瀬戸内海の中でも岡山県に比べて多くの小島があり、新鮮な小いわしが多く獲れたことで、いわゆる“旬”「入梅イワシ」としての時期の6～8月に小いわしを手でおろして刺身で食べる食文化が生まれたのではないかと考えられる。

近年の食生活の変化は、動物性食品の過剰摂取や主食である穀類の減少があり、健康に対して様々な弊害を生んでいる。また、マスコミや報道などの栄養情報などにより、健康志向の高まりとともに、イワシ、サバ、アジなどの青魚とよばれる魚介類のn-3系多価不飽和脂肪酸であるイコ

1) 鈴峯女子短期大学専攻科栄養専攻 2) 名古屋経済大学人間生活科学部管理栄養学科

サペンタエン酸 (EPA: EPA 標記は日本食品脂溶性成分表<sup>2)</sup>によった) やドコサヘキサエン酸 (DHA) に対する関心が非常に高まっている。これは、EPA や DHA の抗血栓作用や脂質代謝改善作用などによるものである<sup>3)</sup>。

五訂日本食品標準成分表<sup>4)</sup>によれば、いわし類には、たんぱく質、ビタミン群、カルシウムなどが豊富に含まれ、とくにかたくちいわしの加工食品である煮干や田作りにはビタミン D やビタミン B<sub>12</sub> が多く含まれている。さらに、日本食品脂溶性成分表<sup>2)</sup>によると、いわし類には EPA や DHA が非常に多く含まれている。これらのことからいわし類は、骨の強化と精神安定効果、さらには補酵素としての働きに役立ち、全身機能を活性化し、生活習慣病を予防することに期待が持てる。

そこで、刺身として食される6月から8月の広島産小いわし (かたくちいわし) の脂肪酸組成に注目し、現在使用されている五訂増補脂肪酸成分表<sup>5)</sup>における小いわしの属するかたくちいわしの脂肪酸組成と比較して検討した。さらに、ご当地食品として、長崎産本かつお (春獲) および山口産まだいについても同様の検討を行った。

## 方 法

### 1. ガスクロマトグラフィー (GC) による脂肪酸分析

魚介類の脂質は、構成成分として空気中で酸化されやすい多価不飽和脂肪酸を含むものが多く、また組織に存在する酵素によって、とくに極性脂質が加水分解される。従って、試料は入手後なるべく速やかに分析することが望ましいが、やむ得ず冷凍する場合は、脂質酸化を防ぐために、空気に触れないように試料を包み、 $-20^{\circ}\text{C}$ 以下に保存した<sup>6)</sup>。これらの脂質取扱事項を踏まえて、本実験で試料保存は、窒素ガスを充填し、 $-80^{\circ}\text{C}$ 以下保存 (超低温フリーザー、サンヨー MDR-291AT) とした。

今回の脂肪酸抽出は、脂質含有量を求める場合のほか、脂肪酸組成やコレステロール含量を求める場合などの脂質抽出に用いられるクロロホルム-メタノール (CM) 混液抽出法<sup>6,7)</sup>を基本として、

加熱することなく、かつ短時間で処理できる魚介類脂質抽出法として知られている Bligh - Dyer の方法を用いた<sup>7)</sup>。

ホモジナイザーには、ワーリングブレンダー (セルマスター、アズワン CM-100) を用いた。脂肪酸のメチルエステル分析は、Shimadzu GC-14A ガスクロマトグラフィーを用いて行った。分離カラムには、にしん油の脂肪酸メチルエステル分析などに一般的に使用されるキャピラリーカラム (DB-WAX: J&W)<sup>8)</sup>を使用し、同定は試料に標品を添加した co-GC 法で行った。検出器には水素炎イオン化検出器 (FID) を用い、データ処理装置には、マイクロコンピュータ型インテグレーター (Shimadzu クロマトパック C-R6A) を用い、ガスクロマトグラムと同時にピーク面積%を得た。

### 2. ガスクロマトグラフィーの分析条件

ガスクロマトグラフィー分析条件は次のとおりである。

Column: DB-WAX (J&W) (30m $\times$ 0.25mm i.d., 0.25  $\mu\text{m}$ ); Column 温度:  $200^{\circ}\text{C}$ ; Injector:  $250^{\circ}\text{C}$ ; Split (1:100); Detector:  $300^{\circ}\text{C}$  (FID); Carrier: He (1.375 kg/cm<sup>2</sup>)

また、co-GC 標品には、次の NCP (NU-CHEK-PREP) の GC 用試料を薬品として用いた。

標品: C<sub>14</sub>:0, C<sub>15</sub>:0, C<sub>16</sub>:0, C<sub>16</sub>:1, C<sub>17</sub>:0, C<sub>17</sub>:1, C<sub>18</sub>:0, C<sub>18</sub>:1, C<sub>18</sub>:2n-6, C<sub>18</sub>:3n-3, C<sub>18</sub>:3n-6, C<sub>18</sub>:4n-3, C<sub>20</sub>:1, C<sub>20</sub>:2, C<sub>20</sub>:2n-6, C<sub>20</sub>:3n-6, C<sub>20</sub>:4n-3, C<sub>20</sub>:4n-6, C<sub>20</sub>:5n-3 (EPA), C<sub>22</sub>:1, C<sub>22</sub>:3n-3 (DHA), C<sub>24</sub>:1

### 3. 薄層クロマトグラフィー (TLC) による分析<sup>9,10)</sup>

TLC 分析には、市販シリカゲルプレート (Merck 60 F254, 厚さ 0.25mm) を用いた。co-TLC の標品には、脂肪酸、トリグリセライド、脂肪酸メチルエステルを、展開溶媒には n-ヘキサン:酢酸エチル=93:7 (v/v) を用いた。展開後のスポット検出には、プレートに濃硫酸-バニリン=134:1 (w/w) を噴霧し、ホットプレート上で加熱して各スポットを発現させて反応の進行を確認した。

#### 4. 試料の調整と脂質の抽出

試料は表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルで付着水を軽く拭き取り、三枚に下ろして脂質抽出試料とした。また、処理した肉部を保存する場合は、ビニール袋に入れて窒素充填して密封し、 $-80^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。

脂質抽出は、クロロホルム-メタノール (CM) 混液抽出法<sup>7)</sup>を用いて次のとおり行った。

- ①新鮮な組織 100 g を秤り、ブレンダージャー (500 mL) に移し、クロロホルム 100 mL とメタノール 200 mL の混合液を加えた。
- ②ブレンダージャーをワーリングブレンダーにセットし、4分間ホモジナイズした。
- ③ホモジネートにクロロホルム 100 mL を加えて 30 秒攪拌した後、蒸留水 100 mL 加え、さらに 30 秒攪拌した。
- ④プフナーロートに吸引ピンをセットし、弱く吸引しながら得られた混合物を Whatman No.1 のろ紙を用いてろ過した。
- ⑤ろ液を 500 mL のメスシリンダーに移し、数分間静置して完全に層が分離した後、クロロホルム層の容量が 150 mL 以上あることを確認し、分液ロートに静かに移した。さらに静置して完全に二層に分離した後、得られたクロロホルム抽出液を 200 mL の三角フラスコに集めた。
- ⑥組織残渣中に残されている脂質およびろ紙に付着している脂質を完全に回収し、脂質集出物を正確に定量するために、残渣とろ紙をブレンダージャーに移し、クロロホルム 100 mL で 2分間攪拌し、最初のプフナーロートを通してろ過した。
- ⑦さらに 50 mL のクロロホルムでブレンダージャーと残渣を洗い、同様にろ過し、先のろ液と合わせて分液ロートに移して水洗後、クロロホルム抽出液を得た。
- ⑧操作⑤および⑦で得られたそれぞれのクロロホルム抽出液を、秤量した 100 mL のナス型フラスコに少量ずつ移し、ロータリーバキュームエバポレーター (減圧下、低温処理) でクロロホルムを濃縮、留去した。さらに窒素ガスで完全にクロロホルムを留去し、得られた抽出物の

重さを秤り、脂質量 (1.47 g) とした。

#### 5. メチルエステル化

脂肪酸の分析および同定のために、五訂に本食品標準成分表分析マニュアル<sup>11)</sup>に従い、得られた資質をケン化後、ガスクロマトグラフィーにかけた。その実験操作は次のとおりである。

- ①抽出脂質 11.6 mg を 200 mL のナス型フラスコに秤り採り、0.5 N 水酸化ナトリウム-メタノール溶液 2 mL を加え、沸石を入れて還流冷却器に取り付けた。
- ②油液が消失し、均一な溶液となるまで加熱還流し、ケン化した (5分間)。完全にケン化されていることは、TLC で確認した。
- ③三フッ化ホウ素-メタノール試薬 (東京化成) 2 mL<sup>12)</sup> を加え、2分間沸騰させた後、*n*-ヘキサン 3 mL を冷却管の上から加え、1分間沸騰させた。
- ④冷却後、飽和食塩水を加え、*n*-ヘキサンで繰り返し洗い、得られた *n*-ヘキサン溶液 (メチルエステル溶液) をスポイドで取り出し、無水硫酸ナトリウムで脱水乾燥した。
- ⑤ワコーゲル C-200 (活性化  $130^{\circ}\text{C}$ 、16 hr) 4 g を充填したクロマト管中のゲルに、先の *n*-ヘキサン溶液 (メチルエステル溶液) をのせて吸着させた。
- ⑥まず、*n*-ヘキサン 20 mL で洗浄した後、20 mL のジエチルエーテル-*n*-ヘキサン混液 (2:98, v/v) でメチルエステル化物を溶出した (この操作を 3回実施した)。ロータリーバキュームエバポレーターで濃縮して溶媒を留去し、メチルエステル化物 (6.4 mg) を得た。完全にメチルエステル化されていることを TLC で確認した。
- ⑦精製したメチルエステル化物の *n*-ヘキサン溶液 1~2  $\mu\text{L}$  をガスクロマトグラフに注入し、分析した。

## 結 果

### 1. 広島産小いわしの脂肪酸組成

広島産小いわしの脂肪酸組成を調べた結果 (図 1)、脂肪酸総量のうち、多価不飽和脂肪酸は



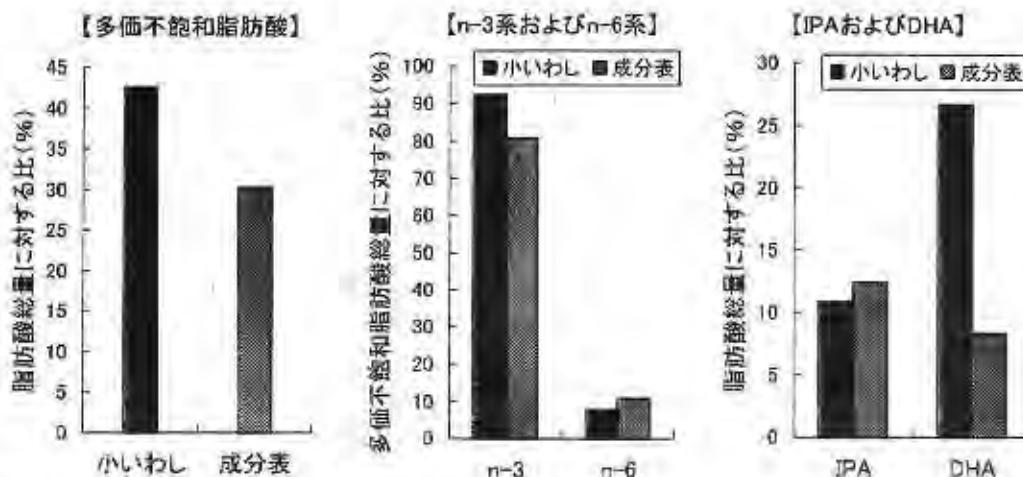


図1. 広島産小いわしと成分表における脂肪酸の比較  
成分表は、「五訂増補脂肪酸成分表」における「かたくちいわし」である。

42.5%であったのに対し、五訂増補脂肪酸成分表における「かたくちいわし」では30.1%であり、広島産小いわしは多価不飽和脂肪酸を高い比率で含有していた。

また、多価不飽和脂肪酸のうち、広島産小いわしは、n-3系多価不飽和脂肪酸が92.2%、n-6系多価不飽和脂肪酸が7.8%であったのに対して、五訂増補脂肪酸成分表では、n-3系が80.6%、n-6系が10.8%と、広島産小いわしは、五訂増補脂肪酸成分表数値に比べて、n-3系が多く、n-6系が少なかった。

さらに、脂肪酸総量に対するEPAおよびDHAの割合について、広島産EPAは10.8%であったのに対して五訂増補脂肪酸成分表は12.4%と若干広島産は含有比が低値であったが、DHAについては、広島産は26.6%、五訂増補脂肪酸成分表は8.3%と広島産は高比率であった。

## 2. 長崎産本かつおの脂肪酸組成

長崎産本かつおの脂肪酸量を調べた結果、図2に示すように、長崎産本かつおの脂肪酸組成のうち、多価不飽和脂肪酸は、48.1%であるのに対して、五訂増補脂肪酸成分表の「かつお：春獲」は42.4%であり、長崎産本かつおは、高い割合で多価不飽和脂肪酸を含有していた。

多価不飽和脂肪酸のうちのn-3系およびn-6系多価不飽和脂肪酸の割合は、五訂増補脂肪酸成分表のn-3系85.7%、n-6系14.3%に比

べて、長崎産本かつおは、n-3系90.8%、n-6系9.2%と、広島産小いわしと同様にn-3系は五訂増補脂肪酸成分表に比べて高値を示す一方で、n-6系脂肪酸は低値を示していた。

さらに、脂肪酸総量に対するEPAおよびDHAの含有割合は、長崎産本かつおのEPAは5.2%、DHAは37.0%であるのに対して、五訂増補脂肪酸成分表では、EPAは7.4%と長崎産本かつおに比べて高い含有割合であったが、DHAは27.0%と低かった。

## 3. 山口産まだいの脂肪酸組成

山口産まだいの脂肪酸量を調べた結果、図3に示すように、山口産まだいの脂肪酸組成のうち、多価不飽和脂肪酸は、25.9%であるのに対して、五訂増補脂肪酸成分表の「まだい」は31.1%であり、山口産まだいは、五訂脂肪酸成分表に比べて低い割合で多価不飽和脂肪酸を含有していた。

多価不飽和脂肪酸のうちのn-3系およびn-6系多価不飽和脂肪酸の割合は、五訂増補脂肪酸成分表のn-3系84.1%、n-6系12.3%に比べて山口産まだいは、n-3系79.5%、n-6系20.5%と、広島産小いわしや長崎産本かつおとは異なってn-3系は五訂増補脂肪酸成分表に比べて低値を示す一方で、n-6系脂肪酸は高値を示していた。

さらに、脂肪酸総量に対するEPAおよびDHAの含有割合は、山口産まだいのEPAは5.9%、

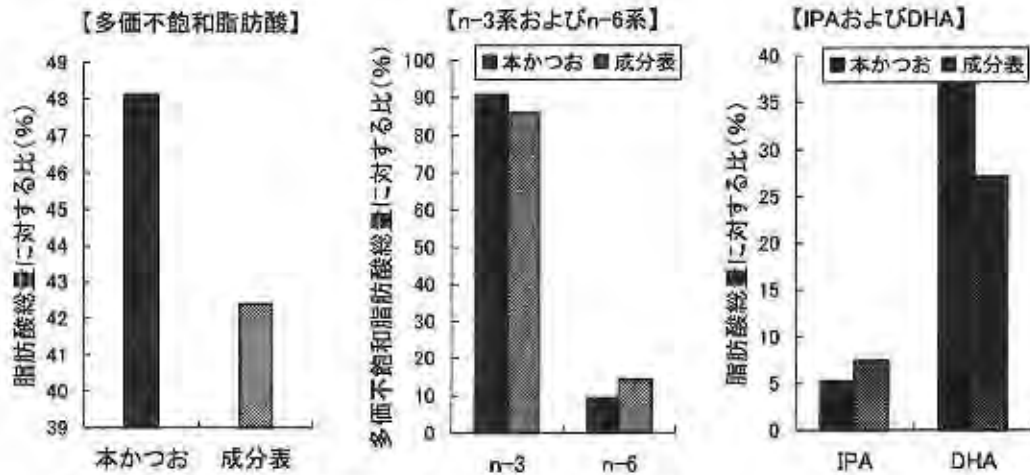


図2. 長崎産本かつお(春獲)と成分表における脂肪酸の比較  
成分表は、「五訂増補脂肪酸成分表」における「かつお(春獲)」である。

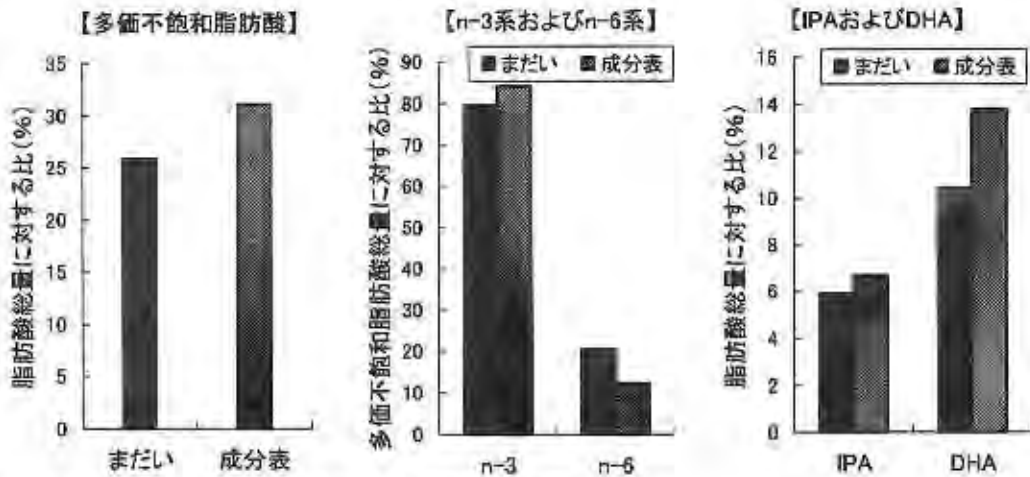


図3. 山口産まだいと成分表における脂肪酸の比較  
成分表は、「五訂増補脂肪酸成分表」における「まだい」である。

DHAは10.4%であるのに対して、五訂増補脂肪酸成分表では、IPAは6.7%、DHAは13.8%と、山口産まだいは、いずれの多価不飽和脂肪酸も五訂増補脂肪酸成分表に比べて低い割合であった。

### 考 察

小さいわしを刺身として食するには、脂質の多い秋から冬にかけての小さいわしよりも、脂質の少ない8月の小さいわしが美味であるといわれている<sup>13)</sup>。そのため、小さいわしの刺身としておいしい時期は、市場に多く出回る8月であると考えられ、いわゆる“旬”の時期といえるであろう。いわしの名は、海からあげるとすぐ傷んでしまうこ

とから「ヨワシ」に由来するほど、魚油は酸化速度が速い。また、生食用の一部は、いりこなどの加工用に利用される<sup>14)</sup>。そして、9月や10月に小さいわしが市場に出回る量が減少するのは、脂質が多いために魚臭が強くなり、刺身で食するにはむかず、加熱によって脂肪を落とし煮干しなどの加工に回すと考えられる。

また、かつおの旬は、新緑の頃の“春獲：上りかつお、初かつお”と秋の“秋獲：下りかつお、戻りかつお”の2つの期間とされている。本来の旨味を味わうには、脂の乗り切った秋獲ともいわれるが、その一方でやはり臭みのために、刺身の場合は春、たたきなどで脂を少し落とし、さらに

薬味で臭みを消して食すのは秋とも考えられる。そこで、組織に存在する酵素によって、とくに極性脂質が加水分解されることや、多価不飽和脂肪酸は非常に酸化されやすいことを考えると、もっとも効果的な摂取方法は、新鮮なうちの生食と考えられる。

魚肉を中心とした食事が心臓病患者に延命効果をもたらすことは、すでに1970年代にDyerbergらのグリーンランド住民の疫学調査によって、イヌイット（エスキモー）がデンマーク人と同程度の高脂肪食を摂取しているにも関わらず、心筋梗塞の患者が著しく少なく、かつ血清中性脂肪やコレステロール値も低いことで示している<sup>15)</sup>。その後、その要因としてn-3系多価不飽和脂肪酸が、n-6系多価不飽和脂肪酸より多く摂取されていることと、さらに魚油の主要多価不飽和脂肪酸であるEPA（IPA）、DHAの存在が明らかになった<sup>16)</sup>。同じような疫学調査が日本の千葉県下の漁民と農民で実施されているが、漁民は農民の約3倍の魚肉を摂取し、漁民の血清総脂質中のEPAは、農民のそれと比べて1.7倍と高く、血小板凝集能も低かったことが報告されている<sup>17)</sup>。

このようなことから、n-3系脂肪酸、さらにそれに属するEPAやDHAは、循環器系の様々な病気の予防効果を発揮することが分かっている<sup>18,19)</sup>。また、n-3系多価不飽和脂肪酸の摂取不足が、アトピー性皮膚炎などのアレルギー疾患や大腸がんなどを増加させる報告<sup>20)</sup>や、DHAに脳機能向上作用が期待<sup>21)</sup>されることなども報告されている。

このような状況の中、広島産小いわしや長崎産本かつおは、生で食することのできる時期に成分表と比較して、多価不飽和脂肪酸の含量が多いだけでなく、n-3系脂肪酸が多く、n-6系脂肪酸の割合が高いこと、さらに、EPAの含有比は、成分表に比べて若干少ないものの、DHAは比較的多く含むことを踏まえて、生で食べられることに加えて新鮮なうちに食することができる点で、地域の魚類を摂取することは非常に有効な手段であることが示唆された。

一方、山口産まだいについては、広島産小いわ

しと長崎産本かつおと異なり、成分表と比較して多価不飽和脂肪酸は若干少なく、n-3系脂肪酸とn-6系脂肪酸では、成分表に比べてn-3系が少なくn-6系が若干多く、そしてEPAおよびDHAも成分表よりも少ない含有率であった。このことについて、鯛ほいわしやかつおにくらべて味が淡白であることから、魚油の臭みの影響を受けやすい。しかし、成分表に比べて数値が好ましくないとはいえ、十分な量を含んでいる点で、山口産まだいを摂取することの否定にはつながらないとする。

かつてのわが国では、交通や流通が未発達であったこともあり、一般的には地方で確保された食材は、その土地で食す、すなわち“地産地消”で食文化を形成していた。このことから、地方によって様々な郷土料理が誕生したことが伺える。最近の日本では、食生活における健康志向により、食べ物と健康に関する関心がこれまでになく高まっており、「魚の栄養と健康」がクローズアップされている。しかし、魚の食べ方には注意が必要で、食品の外観や嗜好を優先するあまり、食品素材の精製が進んで、せっかく原料に含まれているその他の栄養素が除かれてしまうことが多い。さらに、目的に応じた成分のみの抽出によって作られるサプリメントの利用も高まっているが、他の食品とのバランスを考えることが少ないだけでなく、実際の効果も期待できるほどの摂取になっているかという問題も指摘されている<sup>22)</sup>。したがって、当然のことながら食品にはそれぞれ利点と欠点があり、各食品の栄養学上の特徴を理解した上で、他の食品とのバランスを考えながら食生活に活かす工夫が必要であり、今回の魚を例にすると、やはり地域の伝統料理は、新鮮であるだけでなく、知らず知らずのうちに最も効果的な時期に効果的な食べ方のできる料理もあることから、これからの高齢社会を健康に過ごし、子どもたちが元気に生活できるようにするためにも、地域の料理（伝承料理）を利用することが、元気な日本へと導くことにつながると考える。

#### 【参考文献】

1. 農林水産省統計情報部編：平成13年 漁業・養殖業済

- 算統計年報, 財団法人農林統計協会, p.120, 2003.
2. 科学技術庁資源調査会編: 日本食品脂溶性成分表, 1989.
  3. 青木正編: 新食品学総論・各論, 朝倉書店, 2002.
  4. 食品成分研究調査会編: 五訂増補 日本食品成分表, 2006.
  5. 医歯薬出版編: 五訂増補日本食品脂溶性〔脂肪酸, ビタミンA・D・E〕成分表, 医歯薬出版, 2005.
  6. 日本食品工業学会食品分析法編纂委員会編: 食品分析法, 光琳, pp.160 ~ 162, 1982.
  7. E. G. Bligh, and W. J. Dyer: A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification., *Cab. J. of Biochem. And Physiol.*, 37, pp.911 ~ 917, 1959.
  8. J & W Scientific 1996/97 GC Technical Reference, p.77, クロマト No.CO072.
  9. 井藤一良: 第二版機器分析のてびき (2) “薄層クロマトグラフ (TLC) 法”, pp.61 ~ 73, 1980.
  10. L. D. Metcalfe, A. A. Schmitz, and J. R. Pelka.: Rapid Preparation of Fatty Acid Esters from Lipids for Gas Chromatographic Analysis., *Analytical Chemistry*, 38 (3), pp.514 ~ 515, 1966.
  11. 科学技術庁資源調査会食品成分部会編: 五訂 2 本食品標準成分表分析マニュアル “XX II 脂肪酸定量および脂肪酸組成分析法”, p.110 ~ 122, 社団法人資源協会, 1997.
  12. 日本油化学協会編: 基準油脂分析試験法 “2.4.20.2 - 77 脂肪酸メチルエステルの調製方法 (三フッ化ホウ素-メタノール法)”, 1977.
  13. 遠藤洋一郎: 学研ムック “青い魚の食べ方”, pp.54 ~ 55, 学習研究社, 1997.
  14. 社団法人農山漁村文化協会: 聞き書き広島の食事, 日本の食生活全集, 1989.
  15. J. Dyerberg, H. O. Bang, E. Stoffensen, S. Moncada, and J. R. Vane: Eicosa - Pentaenoic Acid and Prevention of Thrombosis and Atherosclerosis?, *Lancet*, 2 (8081), pp.117 ~ 119, 1978.
  16. 橋本章二: 魚の科学, pp.92 ~ 99, 朝倉書店, 1994.
  17. A. Hirai, T. Hamazaki, T. Terano, T. Nishikawa, Y. Tamura, A. Kumagai, and J. Sajiki: Eicosapentaenoic acid and Platelet Function in Japanese., *Lancet*, 2 (8204), pp.1132 ~ 1133, 1980.
  18. 秦和彦: 魚油 EPA の利用, 月間フードケミカル, 76 (8), pp.36 ~ 41, 1991.
  19. 中村典雄, 浜崎智仁: 脂質栄養の臨床研究, 食の科学, 180号, p.27 ~ 32, 1993.
  20. 奥山治美: EPA, DHA の役割, 臨床栄養, 87 (3), pp.254 ~ 259, 1995.
  21. 丸山一輝, 西川正純: 魚油成分の機能と食品への利用, 月間フードケミカル, 120 (4), pp.31 ~ 36, 1995.
  22. 本清万紀, 谷本陽子, 玉田玲菜, 本田千裕, 伊丹純子, 廣本美知子, 稲井玲子, 山内有信: 魚類摂取習慣が高脂血症予防には大切, 鈴峯女子短大研究集報自然科学, 39, pp.21 ~ 32, 2004.