ノート

食品として流通する魚の総水銀およびメチル水銀濃度の実態調査

(平成28年11月9日受理)

渡邊敬浩* 林 智子 松田りえ子 穂山 浩 手島玲子

Surveillance of Total Mercury and Methylmercury Concentrations in Retail Fish

Takahiro WATANABE*, Tomoko HAYASHI, Rieko MATSUDA, Hiroshi AKIYAMA and Reiko TESHIMA

National Institute of Health Sciences: 1-18-1 Kamiyoga, Setagaya-ku, Tokyo 158-8501, Japan;

*Corresponding author

Most fish samples contain methylmercury, that the concentrations very greatly according to the fish species. To avoid the adverse health effects of methylmercury while retaining the benefits provided by fish consumption, it is important to select suitable fish species and to control the amount of the fish intake. We surveyed the concentrations of total mercury and methylmercury in 210 retail fish samples classified into 19 fish species by using validated analytical methods. The results of this survey were as follows. The total mercury and methylmercury concentrations were higher than 1 mg/kg in some samples of swordfish and bluefin tuna, which are large predatory fish species. In bluefin tuna and yellowtail, total mercury and methylmercury concentrations in farm-raised fish were lower than those in natural fish. There was a positive correlation between total mercury concentration and methylmercury concentration. Our results indicate that a cut-off value of 0.3 mg/kg total mercury in the screening of fish samples would increase the effectiveness of inspection.

(Received November 9, 2016)

Key words: 総水銀 total mercury; メチル水銀 methylmercury; 魚 fish; 実態調査 surveillance

緒 言

メチル水銀は、脳神経系に影響を与える有害物質である。特に血液―脳関門機能が未完成であり中枢神経系が発達する胎児期にメチル水銀の影響を最も受けやすいことが報告されている^{1)~3)}。現在の環境では、過去の水俣⁴⁾やイラク⁵⁾のように、ヒトが高濃度のメチル水銀に暴露される機会はないと考えられている⁶⁾。しかし、自然界には水銀が存在し、それが海域でメチル水銀に変換され、食物連鎖により魚等の海洋生物に蓄積している。そのために、それら海洋生物に由来する魚介類等を食品として消費するヒトには、メチル水銀に暴露される機会が少なからずある。この少なからずあるメチル水銀への暴露の機会と胎児期の感受性の高さを踏まえ、WHO等の国際機関におけるリスク評価では、「成人ではほぼ問題がないものの、胎児にはリスクがある」とされている¹⁾。

メチル水銀の毒性による影響を受けずに、健康的な生活を営むためには、どのような食品にどのくらいの濃度でメチル水銀が含まれているのかを知り、日々の食事に反映させ

ていくことが重要である。厚生労働省は、妊娠している女性および妊娠する可能性のある女性を対象に、魚の摂食指導を実施している^{*1)}。摂食指導では、推奨される消費量の目安が魚種ごとに示されている。このことから分かるのとおり、多くの魚にはメチル水銀が含まれており、その濃度は、魚種によって異なる。魚食によるメリット^{7), 8)}を得つつもメチル水銀の毒性による影響を受けないように、魚種を選び、消費量を管理することが肝要である。

摂食指導以外のリスク管理措置として、厚生労働省は、マグロ類、深海性魚介類等および内水面水域の河川産の魚介類を除いた魚介類を対象に、総水銀に対し0.4 mg/kg、メチル水銀に対し0.3 mg/kg (水銀として)を暫定的規制値に設定している^{*2)}。本通知の別添には、メチル水銀分析法 (以下、公定法) が示されている。発がん性のあるベンゼンの使用や、現在では汎用性が低い電子捕獲型検出器 (ECD) の使用など、公定法には改良すべき点がある。また、分析する魚種によりメチル水銀の回収率が低い場合が

* 連絡先: tawata@nihs.go.jp

国立医薬品食品衛生研究所: 〒158-8501 東京都世田谷区上野賀 1-18-1

^{*1)} これからママになるあなたへ “お魚について知っておいてほしいこと” 厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/suigin/dl/051102-2a.pdf>^{*2)} 魚介類の水銀の暫定的規制値について (昭和48年7月23日)、環乳第99号

あるとの報告⁹⁾もあり、分析法の性能も十分に評価されておらず、検査法としての妥当性も確認されていない。筆者らは、メチル水銀をフェニル誘導体化した後にGC-MSにより測定する汎用性の高い方法を提案した¹⁰⁾。さらに、魚種による回収率の低下を避けるための前処理法を追加した改良法について、その性能評価結果と併せてすでに報告している¹¹⁾。

水銀による健康影響への懸念は、わが国だけのものではない。これまでに、複数の国や地域において特に魚を中心に、水銀濃度の実態調査も行われている^{12)~15)}。しかし、総水銀とメチル水銀の濃度を同時に調査した報告、特に日本人が日常的に消費する魚におけるメチル水銀濃度の報告は少ない。本研究では、まず、加熱気化型水銀計を用いた簡便な総水銀分析法の性能を評価した。ついで、実態調査における使用の妥当性を確認した総水銀分析法とメチル水銀分析法を用い、2014年から2015年に食品として流通していた19種（計210試料）の魚における総水銀およびメチル水銀濃度の実態を調査した。また濃度データを解析し、調査した魚における総水銀とメチル水銀濃度の相関について検討したので報告する。

実験方法

1. 試料

調査対象には、暫定的規制値の適用および流通量を考慮して19魚種を選定した。選定した魚種中、クロマグロとブリについては天然と養殖とを区別した。多様な地域で水揚げされた鮮魚210製品を東京都内および神奈川県内の小売店で購入した。一次加工され刺身として販売されていた製品以外の製品は、頭、内臓、皮、骨等を除き筋肉部位のみとした後に、ホモジナイザーで均質に混合して試料とした。

2. 試薬

塩化メチル水銀 (>98%) は、ジーエルサイエンス社製を使用した。臭化カリウム (特級)、硫酸 (有害金属測定用)、L-システイン塩酸塩一水和物 (特級)、酢酸ナトリウム三水和物 (特級)、リン酸二水素ナトリウム二水和物 (特級)、リン酸水素二ナトリウム十二水和物 (特級)、テトラフェニルホウ酸ナトリウム (>99.5%)、ポリエチレングリコール200 (一級) は和光純薬工業(株)製、無水硫酸銅 (II) (特級) は関東化学(株)製を使用した。

総水銀分析用添加剤B (酸化アルミニウム) および添加剤M (炭酸ナトリウムと水酸化カルシウムの混合物 (64:36)) は、日本インスツルメンツ(株)製を使用した。その他の試薬類は残留農薬分析用または試薬特級に準じたものを使用した。水は、メルク社製の装置 (Element A10) により製造した超純水 (比抵抗>18.2 MΩ·cm, TOC<3 μg/L) を使用した。

0.005% L-システイン溶液は、L-システイン塩酸塩一水和物14.5 mgを量り採り、水150 mL、硝酸2 mLを加え溶解後、水で200 mLに定容して調製した。

メチル水銀標準原液 (1,000 μg/mL) は、塩化メチル水銀標準品58.2 mgを正確に量り採り、トルエンで50 mLに定容して調製した。水銀標準溶液 (1,000±2 mg/L) は、シグマアルドリッチ社製を使用した。

認証標準試料として、産業技術総合研究所計量標準総合センター製CRM7402-aを使用した。本標準試料の基材はタラ筋肉粉末であり、総水銀濃度の認証値は0.61±0.02 mg/kgであった。

3. 機器

ホモジナイザーには、GM200 (レッチェ社製)、遠心分離機には、model 6200 (久保田商事(株)製)を用いた。GC-MSには、6890N GCおよび5975 MSD (Agilent社製)を用いた。加熱気化型水銀分析計には、MA-2000 (日本インスツルメンツ(株)製)を用いた。

4. メチル水銀分析法

メチル水銀の分析は既報¹¹⁾に従って実施した。

5. 総水銀分析法

総水銀濃度に応じ、試料50 mgまたは100 mgを精密に量り採り測定に供した。水銀分析計用試料容器の底部に適量の添加剤Mを広げ、その上に試料を置いた。試料を適量の添加剤Mで覆い、さらに添加剤B、添加剤Mの順に適量を重ねた。

水銀標準溶液を0.005% L-システイン溶液で希釈し、範囲が1~20 ng/mLの検量線用溶液を調製し、100 μLを測定に供した。測定モードはHIGHとし、試料は350℃で4分加熱した後800℃で6分間、検量線用溶液は600℃で4分間加熱した。

6. 総水銀分析法の性能評価

認証標準試料 (CRM7402-a) の2併行分析を5日間実施し、得られた分析値を既報¹¹⁾に示した方法を用いて解析し、真度および室内精度を推定した。

結果および考察

1. 総水銀分析法の性能評価

認証標準試料 (CRM7402-a) の繰り返し分析を通じて、総水銀分析法の性能を評価した。CRM7402-aにおける総水銀濃度の認証値は0.61±0.02 mg/kgである。試料量を50 mg (総水銀として0.031 μg) および100 mg (総水銀として0.061 μg) とし、2併行分析を5日間実施し得た分析値をTable 1に示す。これら分析値を解析した結果、真度はいずれの試料量においても94%、併行精度は2.3および1.1%、室内精度は2.3および1.3%と推定された。水銀標準溶液を0.005% L-システイン溶液で希釈し10 ng/mLの水銀溶液を調製後、その100 μL (総水銀の量として1 ng) を繰り返し測定して得られた分析値 ($n=10$) の標準偏差は、0.024 ngであった。この標準偏差の値の10倍となる0.24 ngを定量下限 (LOQ) の推定値とした。測定に供する試料量が100 mgの場合には、LOQに相当する総水銀の試料における濃度は0.002 mg/kgとなった。検出限界 (LOD) の濃度はLOQの1/3の濃度として、0.0007 mg/kg

Table 1. Trueness, repeatability and intralaboratory reproducibility of the analytical method of total mercury

Certified value (mg/kg)	Sample weight	Concentration (mg/kg)					Mean (mg/kg)	Trueness (%)	Repeatability (%)	Intralab. reproducibility (%)
		1st day	2nd day	3rd day	4th day	5th day				
0.61±0.02	50 mg	0.5759	0.5602	0.5704	0.5583	0.5513	0.5721	93.8	2.3	2.3
		0.5877	0.5753	0.5911	0.5752	0.5760				
	100 mg	0.5830	0.5722	0.5709	0.5760	0.5833	0.5733	94.0	1.1	1.3
		0.5799	0.5701	0.5615	0.5639	0.5721				

Table 2. Mean, median, minimum and maximum values of total mercury and methylmercury concentrations in fishes purchased in Japan

Fish group	Total mercury concentration (mg/kg)				Methylmercury concentration (mg/kg)			
	Mean	Median	Minimum	Maximum	Mean	Median	Minimum	Maximum
Swordfish	1.55	1.57	1.24	1.88	1.38	1.42	1.02	1.90
Bluefin tuna (natural)	0.76	0.64	0.49	1.38	0.60	0.50	0.40	1.06
Bluefin tuna (farm-raised)	0.53	0.50	0.34	0.87	0.41	0.37	0.25	0.69
Big-eyed tuna	0.64	0.58	0.33	1.13	0.55	0.51	0.26	0.97
Yellowfin tuna	0.38	0.38	0.08	0.89	0.30	0.28	0.07	0.67
Albacore tuna	0.35	0.29	0.21	0.80	0.27	0.24	0.18	0.57
Bonito	0.19	0.20	0.05	0.31	0.14	0.14	0.04	0.23
Yellowtail (natural)	0.52	0.48	0.25	0.93	0.44	0.39	0.23	0.81
Yellowtail (farm-raised)	0.13	0.10	0.06	0.21	0.12	0.09	0.06	0.19
Yellowtail (young)	0.08	0.06	0.04	0.15	0.07	0.05	0.03	0.13
Horse mackerel	0.07	0.06	0.03	0.21	0.07	0.06	0.01	0.18
Sardine	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03
Flounder	0.11	0.06	0.020	0.50	0.10	0.05	0.019	0.48
Amberjack	0.17	0.15	0.10	0.36	0.15	0.14	0.09	0.31
Salmon	0.04	0.03	Tr	0.14	0.03	0.03	ND	0.13
Mackerel	0.15	0.17	0.04	0.27	0.14	0.15	0.04	0.25
Spanish mackerel	0.05	0.04	0.02	0.09	0.04	0.04	0.02	0.08
Saury	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.04	0.08
Sea bream	0.20	0.20	0.05	0.43	0.17	0.17	0.04	0.37
Cod	0.08	0.06	0.02	0.20	0.08	0.06	0.02	0.17
Rainbow trout	0.01	0.01	Tr	0.02	0.01	0.01	ND	0.02

(n = 10 for each group)

Tr: Trace level (under LOQ); ND: Not detected (under LOD)

と推定された。

メチル水銀分析法の性能は、複数の分析者により、複数の魚種の筋肉部位を基材とした認証標準試料5種類（認証値：0.58～5.50 mg/kg）および、タラとマグロの鮮魚の筋肉部位を基材とした添加試料2種類（添加濃度：0.3 mg/kg）を用いて評価され、真度は85～98%，併行精度は0.8～6.7%，室内精度は1.6～8.1%と推定された¹¹⁾。また、メチル水銀標準原液を希釈し調製した0.005 mg/kgのメチル水銀溶液を繰り返し測定して得られた分析値（n=6）から、LOQは0.01 mg/kg、LODは0.003 mg/kgと推定した。

これまでに実施された実態調査研究では、一部の大型の捕食魚を除き、魚における総水銀濃度は一般に1.0 mg/kg以下の値で報告されている^{12)～17)}。性能評価した総水銀分析法とメチル水銀分析法はともに、想定される一般的な魚における水銀あるいはメチル水銀濃度を十分な精確さをもってまた、0.003 mg/kgまでのより低い濃度を見逃すことなく分析することが可能であり、実態調査に用いること

が妥当と考えられた。

2. 魚種ごとの総水銀およびメチル水銀濃度

本研究では、暫定的規制値が適用される魚種か否かに加えて、総水銀およびメチル水銀の摂取量を推定するための今後の研究におけるデータの利用を考慮した。そのため、流通量を踏まえて一般的に食されていると考えられる魚種を調査対象に選定し、市場に流通していた一次加工品までの製品を購入し試料とした。食品として流通していた製品を購入したため、あくまで食品としての一般名称を魚種として取り扱い、その個体の生息海域に関する情報を考慮しなかった。魚種にはメカジキ、クロマグロ（天然および養殖）、メバチマグロ、キハダマグロ、ビンナガマグロ、カツオ、ブリ（天然および養殖）、イナダ（若く小型のブリ）、アジ、イワシ、サンマ、カレイ、カンパチ、サケ、サバ、サワラ、タイ、タラ、ニジマス（トラウトサーモン）の19種（21グループ）を選定した。個体（製品）間での濃度のばらつきを考慮し、それぞれのグループごとに10試料を購入し分析した。メカジキからカツオまでの魚

Fig. 1. Total mercury and methylmercury concentrations in fishes

○: Total mercury; ●: Methylmercury

種は、環乳第99号により示された暫定的規制値の適用が除外されている。

グループごとの総水銀とメチル水銀濃度の平均値、中央値、最小値、最大値をTable 2に示す。また、全試料の総水銀とメチル水銀の濃度のプロットをFig. 1に示す。

総水銀およびメチル水銀の濃度は、魚種によって異なり、本研究で調査した魚種の中では、平均値、中央値、最小値、最大値のすべてがメカジキにおいて最も高かった。山下らは、平成19～21年度の農林水産省有害化学物質リスク管理基礎調査の結果^{*3}を解析した結果として、メカジキにおける総水銀濃度の最小値と最大値をそれぞれ0.05と3.9 mg/kg ($n=120$)と報告⁹⁾しており、本研究で得られた分析値はすべてその範囲に含まれた。しかし本研究で得られた最小値は1.24 mg/kgであり、山下らの報告に比べ高かった。山下らは、最小値と最大値のほかに平均値を1.3 mg/kgと報告しており、本研究で得られた平均値(1.55 mg/kg)に近い値となっている。これらの結果からは、メカジキにおける総水銀濃度は個体によって大きく異なるが、平均としては1 mg/kgを超え、他の魚種に比べ高い濃度に最頻値があるものと考察される。

メチル水銀濃度の平均値は、メカジキ、クロマグロ(天然)、メバチマグロ、クロマグロ(養殖)、ブリ(天然)、キハダマグロ、ビンナガマグロ、タイ、カツオ、カンパチ、サバ、ブリ(養殖)、カレイ、イナダ、タラ、アジ、

サンマ、サワラ、サケ、イワシ、ニジマスの順に高かった。メチル水銀濃度の中央値、総水銀濃度の平均値と中央値の順序もおおむね同じであり、上位にはメカジキ、マグロ、ブリ(天然)のような大型の捕食魚、中位にはタイ、カツオ、カンパチ、サバのような中型の魚種、下位にはアジ、サンマ、イワシのような比較的小型の魚種が含まれた。メチル水銀濃度の平均値が0.05 mg/kg未満となったのはサワラ、サケ、イワシ、ニジマスであった。ニジマスには、海洋で生育するいわゆるサーモントラウトを製品として買い上げ試料としたが、総水銀およびメチル水銀濃度の平均値および中央値が最も小さい魚種であった。

クロマグロおよびブリについては、天然のもの(天然魚)と養殖されたもの(養殖魚)とを調査した。両魚種共に、総水銀とメチル水銀の両方の濃度が、養殖魚に比べ天然魚において有意($p<0.05$)に高かった。特にブリでは濃度の差が大きく、総水銀とメチル水銀の両方において、天然魚の濃度の平均値は養殖魚の濃度の平均値の4倍程度であった。クロマグロの養殖において、給餌する餌の種類を変更することによりメチル水銀濃度が変化することが報告されている¹⁸⁾。また、キンメダイ、メバチマグロ、クロマグロにおいて、総水銀およびメチル水銀の濃度と個体の大きさ(体重)との間に正の相関があることも示されている¹⁷⁾。本研究で調査したクロマグロとブリの2つの魚種に共通して、養殖魚における水銀濃度が低かった結果は、養殖によって給餌される餌や出荷される個体の大きさが管理された結果であろうと考察される。

本研究では、市場で購入した鮮魚製品を試料としたた

*3有害化学物質含有実態調査結果データ集(平成15～22年度)。農林水産省。2012

Fig. 2. Relationship between total mercury and methylmercury concentrations in fishes

Left: Fishes not subject to the provisional maximum residue levels (PMRL); Right: Fishes subject to the PMRL

め、個体の大きさ（体重）は不明であり、総水銀およびメチル水銀濃度と体重との関係を各魚種について直接示すことはできなかった。しかし、若く小型のブリの呼称であるイナダから得られた総水銀およびメチル水銀の濃度は、天然魚と養殖魚を合わせた20試料のブリから得られた濃度に比べ、低い値となった。特に、天然のブリとの比較では、有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた。イナダの体重は通常のブリの体重に比べ小さいと考えられるため、本研究の結果からも Yamashita らの結果¹⁷⁾ が支持された。

3. 暫定的規制値への適合

本研究で調査した19魚種中、メカジキ、マグロ類、カツオ以外の魚種には、暫定的規制値として総水銀に対し0.4 mg/kg 未満、メチル水銀に対し0.3 mg/kg（水銀として）未満が適用される。本研究において調査した規制対象魚種140試料中、6試料のブリ（天然）と各1試料のカレイとタイにおいて、暫定的規制値を超過する総水銀濃度が得られた。また、8試料のブリ（天然）、2試料のタイ、各1試料のカレイとカンパチにおいて暫定的規制値を超過するメチル水銀濃度が得られた。これらの結果から、一部の試料では、総水銀濃度が暫定的規制値を超えていなくても、メチル水銀濃度が暫定的規制値を超える場合があることが明らかになった。効率的かつ見逃しのない検査について考察するためにも、総水銀濃度に対するメチル水銀濃度の比を解析した。

4. 総水銀濃度に対するメチル水銀濃度の比

Fig. 1に示すように、各試料における総水銀濃度とメチル水銀濃度は大きく異なる値ではなかった。Fig. 2には、暫定的規制値の適用対象と適用対象外とで魚種を区別し、総水銀濃度とメチル水銀濃度をプロットした。全体としては、対象外魚種においてより濃度が高いが、暫定的規制値の適用対象か否かによらず、プロットは直線的に並び、総

Fig. 3. Relationship between total mercury concentration and ratio of methylmercury to total mercury

○: Fishes not subject to the PMRL; ●: Fishes subject to the PMRL

水銀濃度とメチル水銀濃度の間に強い相関が認められた（適用対象魚種ならびに適用対象外魚種共に $r = 0.99$ ）。メチル水銀濃度を総水銀濃度に直線回帰すると、傾きは対象魚種では0.846、対象外魚種では0.869であった。

全210試料について、分子量に基づきメチル水銀濃度を水銀濃度に換算した値と総水銀濃度との比（存在比）を計算した。この存在比は、個々の魚中でメチル水銀として存在する水銀の割合を表している。Fig. 3は、横軸を総水銀濃度、縦軸を上記の存在比としてプロットした結果を示している。○は暫定的規制値適用の対象外魚種、●は対象魚種を表している。総水銀濃度が0.1 mg/kg 未満の試料では、存在比が理論的な最大値である1を超える場合が認め

られたが、これは総水銀濃度とメチル水銀濃度が共に極めて低く、分析値の変動が大きいために現れた値と考えられる。総水銀濃度が0.1 mg/kg以上の試料では、存在比は総水銀濃度によらず0.6から0.9の間にあった。

メチル水銀濃度の暫定的規制値は、水銀として0.3 mg/kgと定められている。総水銀濃度に占めるメチル水銀由来の水銀濃度の割合は、Fig. 3から0.9以下と考えることができるため、総水銀濃度が0.3 mg/kg未満であれば、メチル水銀としての水銀濃度も0.3 mg/kg未満と考えることができる。本研究で採用した総水銀分析法は精度に優れており、メチル水銀分析法に比べ分析の工程が少ないという利点がある。そのため、まず総水銀濃度を分析により明らかにし、0.3 mg/kgを閾値として、メチル水銀濃度が暫定的規制値を超えない試料をスクリーニングすることが、食品衛生法に基づき実施される検査の効率向上に貢献すると考えられる。

謝 辞

本研究は平成25年度～平成27年度厚生労働科学研究費補助金（食品を介したダイオキシン類等有害物質摂取量の評価とその手法研究に関する研究）により実施した。

文 献

- WHO: Methylmercury (Environmental Health Criteria 101). World Health Organization, Geneva, 1990
- Clarkson T. W., Magos L., Myers G. J. The toxicology of mercury—current exposures and clinical manifestations. *New Engl. J. Med.*, **349**, 1731–1737 (2003).
- Syversen T., Kaur P. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, **26**, 215–226 (2012).
- 原田正純. 水俣病. 東京, 岩波書店, 1972, 244p. (ISBN4-00-411113-7)
- Bakir F., Damluji S. F., Amin-Zaki L., Murtadha M., Khalidi A., al-Rawi N. Y., Tikriti S., Dahahir H.I., Clarkson T. W., Smith J. C., Doherty R. A. Methylmercury poisoning in Iraq. *Science*, **181**, 230–241 (1973).
- Satoh H. Risk assessment of methylmercury in fish and seafood. *Biomed. Res. Trace Elements*, **19**, 227–229 (2008).
- McManus A., Feilder L., Newton W., White J. Health benefits of seafood for men. *J. Men's Health*, **8**, 252–257 (2011).
- Laursen R., Eilertsen K. E., Elvevoll E. O. Health benefits of marine foods and ingredients. *Biotechnol. Adv.*, **29**, 508–518 (2011).
- 山下由美子, 山下倫明, 斎藤洋昭. “1章 魚介類におけるメチル水銀, セレンおよび高度不飽和脂肪酸の含有量”. 魚食と健康—メチル水銀の生物影響. 山下倫明, 鈴木俊之, 横山芳博編. 東京, 恒星社厚生閣, 2014, p. 9–28 (ISBN 978-4-7699-1471-6)
- Sakamoto T., Akaki K., Watanabe T., Matsuda R., Hiwaki H. Development of the GC-MS method following phenylation to quantify methylmercury in foods. *Bunseki Kagaku*, **61**, 327–333 (2012).
- Watanabe T., Kikuchi H., Matsuda R., Hayashi T., Akaki K., Teshima R. Performance evaluation of an improved GC-MS method to quantify methylmercury in fish. *Food Hyg. Saf. Sci.*, **56**, 69–76 (2015).
- Denton G. R. W., Concepcion L. P., Wood H. R., Morrison R. J. Trace metals in marine organisms from four harbours in Guam. *Mar. Pollut. Bull.*, **52**, 1784–1832 (2006).
- Vieira C. Morais S., Delerue-Matos C., Oliveira M. B. P. Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food Chem. Toxicol.*, **49**, 923–932 (2011).
- Park J.S., Jung S. Y., Son Y. J., Choi S. J., Kim M. S., Kim J. G., Park S. H., Lee S. M., Chae Y. Z., Kim M. Y. Total mercury, methylmercury and ethylmercury in marine fish and marine fishery products sold in Seoul, Korea. *Food Addit. Contam.*, **4**, 268–274 (2011).
- Ahmd N. I., Noh M. F. M., Mahiyuddin W. R. W., Jaafar H., Ishak I., Azmi W. N. F. W., Veloo Y., Hairi M. H. Mercury levels of marine fish commonly consumed in Peninsular Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **22**, 3672–3686 (2015).
- Yamashita Y., Omura Y., Ozaki E. Total mercury and methylmercury levels in commercially important fishes in Japan. *Fishery Sci.*, **71**, 1029–1035 (2005).
- Sato N., Ishi K., Satho A., Tanaka Y., Hidaka T., Nagaoaka N. Residues of total mercury and methyl mercury in eel products. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi (Food Hyg. Saf. Sci.)*, **46**, 298–303 (2005).
- 安藤正史. “近畿大学プロジェクト”. クロマグロ完全養殖. 熊井英水, 宮下 盛, 小野征一郎編. 東京, 成山堂書店, 2010, p. 97–111 (ISBN 9784425884919)