

【調査研究】

GC-MS/MSを用いた魚介類中の多環芳香族炭化水素の分析
Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fish and Shellfish Using GC-MS/MS

難波順子, 金子英史, 藤本佳恵, 大月史彦, 繁田典子 (衛生化学科)

NAMBA Junko, KANEKO Hidefumi, FUJIMOTO Kae, OTSUKI Fumihiko, SHIGETA Noriko
(Food and Drug Chemical Research Section)

要 旨

魚介類中の多環芳香族炭化水素（以下「PAH」という。）の分析法を検討した。ポリ塩化ビフェニル（以下「PCB」という。）との同時前処理を目指し、室温アルカリ分解で抽出後ヘキサンに転溶するまでの工程は同一とし、その後、5%含水シリカゲルカラムで精製してGC-MS/MSで測定する方法を確立した。PAHは検討した21物質のうち17物質が回収率の目標（70~120%）を満たしていた。目標を満たしていなかった4物質のうち3物質は回収率が150%以下であり、モニタリングとしては適用可能と考えられた。この分析法を用いて実態調査を行ったところ、PAHは20物質中11物質がアナゴ、コイ、カレイ、サッパ及びカキから低濃度（12 ng/mL以下）ながら検出され、シタビラメ、ボラ及びヒラメからは全ての物質が検出されなかった。PCBは全ての検体で検出されたが、暫定的規制値の0.07~2.7%であった。各魚介類におけるPAHとPCBの検出値に明らかな相関は認められなかった。

[キーワード：多環芳香族炭化水素, ポリ塩化ビフェニル, 魚介類, GC-MS/MS]

[Key words : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Polychlorinated Biphenyls, Fish and Shellfish, GC-MS/MS]

1 はじめに

多環芳香族炭化水素（以下「PAH」という。）は炭素と水素から成る2つ以上の芳香環が結合した有機化合物であり、有機物質の不完全な燃焼や熱分解等で副生成物として意図せず生成され、人に対する発がん性や遺伝毒性があることが疑われている。そのため、PAHは食品中の汚染物質の国際的な評価機関であるFAO/WHO合同食品添加物専門家会議において実態調査の必要性が指摘されており、EUでは輸入のくん製食品等に対してベンゾ[a]ピレン及びPAH4（ベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[a]アントラセン、ベンゾ[b]フルオランテン及びクリセソ）総量の基準値を設定している¹⁾。一方、国内では食品中の基準は設定されていないが、くん製食品や魚肉練り製品など市販加工食品に含まれるPAHの実態調査が報告されている²⁾。また、PAHは海洋ごみとして問題になっているマイクロプラスチックにポリ塩化ビフェニル（以下「PCB」という。）などの残留性有機汚染物質（以下「POPs」という。）と共に吸着しているため、欧州食品安全機関は、食品（特に魚介類）中のマイクロプラスチックに起因するリスクとして、マイクロプラスチックに高濃度に蓄積したPCBやPAH等を摂取する可能性があることを示し、平均摂取量を推定する必要性を指摘している³⁾。

PCBは水素、炭素及び塩素からなる有機塩素化合物である。化学的安定性、高脂溶性、不燃性、高絶縁性などの優れた物性を有するため、トランス、コンデンサーなどの絶縁油、熱媒体、潤滑油などとして様々な用途に使用されたが、その有害性が明らかとなり、1972年に生産が中止され、使用や廃棄が厳しく規制されている。しかし、難分解性であるため長期にわたる残留及び食物連鎖による生物の体内への蓄積（生物蓄積性・濃縮性）が懸念されており、食品衛生法でも食品に残留するPCBについて暫定的規制値が定められている^{4), 5)}。

岡山県では、魚介類中のPCBを継続的に分析しているが、PAHは分析していない。そこで、作業効率向上を目指し、魚介類中のPAHをPCBと同時に前処理する方法を検討し、実態調査を行ったので報告する。

2 方法

2.1 試料

試料として、岡山県内の漁協及び小売店で販売していた喫食機会が想定される海産物（アナゴ、シタビラメ/ゲタ*、カレイ、ヒラメ、ボラ、サッパ/ママカリ*、カキ）及び淡水魚（コイ）の可食部を用いた。*：地方名

2.2 標準品及び試薬

PAH標準品：既報⁶⁾に従った。検討対象物質を表1

に示す。

PAH混合標準溶液：各標準品を混合，ヘキサンで定容し，10 µg/mLのPAH混合標準溶液を調製した。

PCB標準品：既報^{7), 8)}に従った。

その他の試薬：残留農薬分析用，PCB分析用またはダイオキシン分析用を用いた。

2.3 装置及び条件

2.3.1 PAHのGC-MS/MS測定条件

装置：ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS/MS) : Agilent 7010B, Agilent 7890B

GC-MS/MS測定条件

カラム：Agilent製 DB-5MS 60 m × 0.25 mm, 膜厚 0.25 µm

カラム温度：50 °C (2 min) - 20 °C/min - 120 °C - 7 °C/min - 310 °C (15 min)

注入口温度：250 °C

注入量：2 µL (高圧注入, スプリットレス)

イオン源温度：220 °C

トランスファーライン温度：300 °C

流量：キャリアーガス He 定流量 1.3 mL/min

イオン化モード (電圧)：EI (70 eV)

測定方法：multiple reaction monitoring (MRM) 測定
トランジション：表1に示す

2.3.2 PCBの高分解能GC-MS (以下「GC-HRMS」という。) 測定条件

既報^{7), 8)}に従った。

2.4 装置及び条件

PAHは，PAH混合標準溶液をヘキサンで適宜希釈し，0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 10, 20 ng/mLの検量線用混合標準溶液を調製し，検量線用混合標準溶液及び試験溶液をGC-MS/MSにそれぞれ2 µL注入し，濃度とピーク面積から絶対検量線で定量した。なお，定量限界はS/N>10とし，定量限界を最低濃度として検量線を作成した。

PCBは既報^{7), 8)}に従った。

2.5 試験法

分析フローを図1に示す。

PAH分析は，室温アルカリ分解で抽出後ヘキサンに転溶，5 %含水シリカゲルカラムで精製する前処理を行い，GC-MS/MSで測定し定量を行った。室温アルカリ分解抽出は，試料約5~20 gを100 mLの三角フラスコに採取，精秤し，1 mol/L KOHエタノール溶液50 mLを加えた後，磁気かくはん子を投入し，マグネチックスターラーでかくはんしながら，室温で15時間アルカリ分解し，分解終了後，磁気かくはん子を取り出し，振と

う機を用いて30分以上激しく振とうした。得られたアルカリ分解液を分液ロートに移した後，三角フラスコ壁面の付着液を精製水40 mL，エタノール4 mLずつ2回及びヘキサン60 mLを用いて共洗いして同様に分液ロートに移し，10分間振とう後分液し，ヘキサン抽出液を得た。アルカリ分解液をヘキサン50 mLで再度振とう抽出して得られたヘキサン抽出液を先のヘキサン抽出液と合わせ，5 %塩化ナトリウム水溶液20 mLを加えた分液ロートで振とう洗浄した。その後，再度5 %塩化ナトリウム水溶液20 mLを用いて振とう洗浄した。得られたヘキサン抽出液は，無水硫酸ナトリウムを用いて脱水した後，その半量を分取し，ロータリーエバポレーターを用いて1 mLまで濃縮し抽出溶液とした。精製に用いたシリカゲルカラムは，内径10 mm，長さ300 mmのカラムに5 %含水シリカゲル5 gをヘキサンで湿式充てんし，その上に無水硫酸ナトリウムを約10 mm積層した。ヘキサン50 mLで洗浄した後，抽出溶液を負荷し，ヘキサン15 mLで洗浄し，1 %アセトン含有ヘキサン溶液100 mLで溶出した。溶出液はロータリーエバポレーターを用いて1 mL以下に濃縮後，再度ヘキサン5 mLを加えて濃縮し，1 mLに定容して試験溶液を調製し，GC-MS/MSで測定，定量を行った。

PCB分析は既報^{7), 8)}に従い，室温アルカリ分解で抽出後ヘキサンに転溶し，硫酸洗浄，ゲル浸透クロマトグラフィー (以下「GPC」という。) 及びフロリジルカラムで精製する前処理を行い，GC-HRMSで測定し，全209異性体の定量を行った。

2.6 PAHの添加回収試験

アナゴ，カキ及びカレイにPAH混合標準溶液を20 µL添加したのについて，それぞれ2併行で添加回収試験を行った。

3. 結果及び考察

3.1 PAHのGC-MS/MS測定条件及び検量線

検体中のマトリックスによる定量値への影響が懸念されたため，選択性に優れたGC-MS/MSを用いた。検討対象物質の測定条件は，Agilentが公表している方法⁹⁾を参考にして，感度良く測定できる条件を設定した。クリセンとトリフェニレンはピークが完全に重なり分離できないため，両者の合計値で定量した。インデノ[1, 2, 3-cd]ピレンはジベンゾ[a, h]アントラセンと同じトランジション (276→274) ではピークを完全に分離することはできなかったため，インデノ[1, 2, 3-cd]ピレンに特徴的なMRMトランジション (138→124) を用いて定量したところ，良好なピーク形状が得られた。定量限

界は0.1~1 ng/mLであり、定量限界を最低濃度として検量線を作成したところ、 $r^2 > 0.995$ 以上の良好な直線性が得られた。表1にMRMトランジション及び定量限界を示した。

3.2 PAH試験溶液調製法

PCBとの同時分析を目指し、PCB分析法で採用している室温アルカリ分解による抽出法並びに硫酸洗浄、GPC及びカラムクロマトグラフィーによる精製法について検討を行った。

PAH混合標準溶液を用いた室温アルカリ分解による抽出工程の検討では、全ての物質が良好な回収率であった（データは示さない）。

精製法については、硫酸洗浄では分解する物質があること、GPCでは溶出範囲が広範囲（15分~27分）となることから、カラムクロマトグラフィーを採用し、剣持らの方法^{10), 11)}に従って、5%含水シリカゲルカラムの分画試験を行った。すなわち、ヘキサン1 mLにPAH混合標準溶液を10 μ L添加してカラムに負荷後、ヘキサン15 mL及び1%アセトン含有ヘキサン溶液100 mLで溶出させたところ、全てのPAHがヘキサンでは溶出せず、1%アセトン含有ヘキサン溶液で溶出した。なお、この精製法は、PCBの高塩素化物がヘキサンで溶出すると

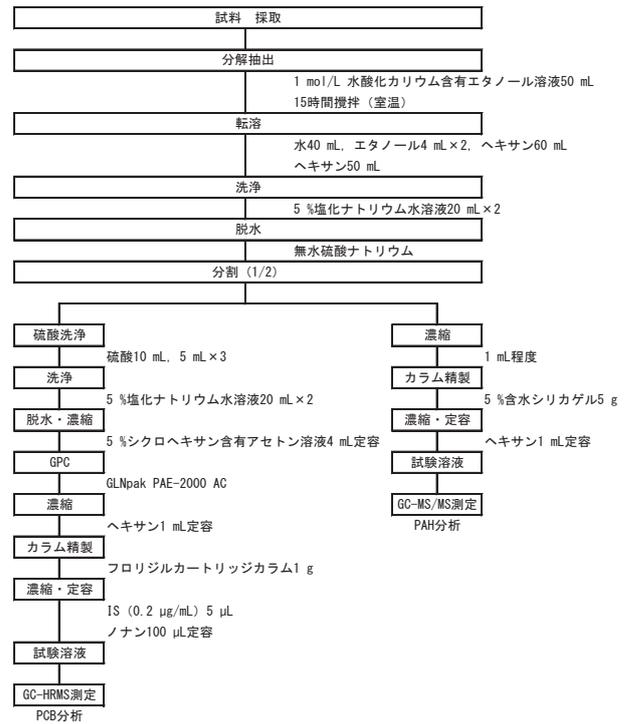


図1 分析フロー

表1 検討対象物質の測定条件及び検量線最低濃度

物質名	環数	定量			定性			検量線最低濃度 (ng/mL)
		Q1	Q3	CE	Q1	Q3	CE	
アセナフテン	3	154	152	40	153	152	40	0.1
アセナフチレン	3	152	151	40	152	150	40	0.1
アントラセン	3	178	176	34	178	152	30	0.5
ベンゾ[a]アントラセン*	4	228	226	38	228	224	38	0.5
ベンゾ[a]ピレン*	5	252	250	40	250	248	40	1
ベンゾ[b]フルオランテン*	5	252	250	42	250	248	40	0.2
ベンゾ[e]ピレン	5	252	250	40	250	248	40	0.2
ベンゾ[g, h, i]ペリレン	6	276	274	42	274	272	42	0.2
ベンゾ[k]フルオランテン	5	252	250	42	250	248	40	0.5
クリセン*+トリフェニレン	4	228	226	38	228	224	38	0.1
ジベンゾ[a, h]アントラセン	6	278	276	38	276	274	38	0.5
フルオランテン	4	202	200	50	202	201	50	0.1
フルオレン	3	166	165	30	166	163	34	0.1
インデノ[1, 2, 3-cd]ピレン	6	138	124	30	276	274	42	1
m-テルフェニル	3	230	228	40	230	229	40	0.1
o-テルフェニル	3	230	228	40	230	229	40	0.1
ペリレン	5	252	250	40	250	248	40	0.2
フェナントレン	3	178	176	34	178	152	30	0.1
p-テルフェニル	3	230	228	40	230	229	40	0.1
ピレン	4	202	200	50	202	201	50	0.1

*PAH4

の報告¹⁰⁾があることから、PCB分析に適用することはできない。以上から、PAH分析は、室温アルカリ分解で抽出後ヘキサンに転溶するまでの工程はPCB分析法と同時前処理法とし、その後、5%含水シリカゲルカラムで精製する試験溶液調製法を採用した。

3.3 PAH添加回収試験結果

アナゴ、カレイ及びカキを用いて、それぞれ2併行で行った添加回収試験の結果を表2に示す。検討した21物質のうち、アナゴは17物質、カレイは18物質、カキは17物質が目標（回収率70~120%）を満たし、このうち17物質が共通していた。目標を満たさなかった4物質のうち、アセナフチレン、フルオレン及び α -テルフェニルは回収率が150%以下であり、モニタリングとしては適用可能と考えられた。しかし、ベンゾ[k]フルオランテンはアナゴの回収率が200%を超えており、マトリックスの影響を著しく受けていることが推測されたため、精製工程の追加、内標準物質の使用等を検討する必要があると考えられた。

表2 PAH添加回収試験回収率結果 (%)

物質名	アナゴ ^{*2}	カレイ ^{*2}	カキ ^{*2}	平均
アセナフテン	95	97	104	99
アセナフチレン	138	135	148	140
アントラセン	105	102	107	105
ベンゾ[a]アントラセン ^{*1}	85	84	89	86
ベンゾ[a]ピレン ^{*1}	76	71	76	74
ベンゾ[b]フルオランテン ^{*1}	94	90	94	92
ベンゾ[e]ピレン	110	96	103	103
ベンゾ[g, h, i]ペリレン	97	90	94	94
ベンゾ[k]フルオランテン	239	114	138	163
グリセノ ^{*1} +トリフェニレン	89	89	95	91
ジベンゾ[a, h]アントラセン	95	90	95	93
フルオランテン	88	95	97	93
フルオレン	128	123	136	129
インデノ[1, 2, 3-cd]ピレン	95	90	97	94
m-テルフェニル	113	109	111	111
o-テルフェニル	138	129	132	133
ペリレン	74	71	73	73
フェナントレン	119	112	120	117
p-テルフェニル	98	105	109	104
ピレン	88	94	89	91

^{*1} PAH4

^{*2} 2併行

■ 目標を満たさない

3.4 実態調査

3.4.1 PAH検出結果

PCBと同一検体を用いたPAH検出結果を表3に示す。モニタリングが可能であった20物質中11物質が低濃度ながら検出された。アナゴ、コイ、カレイ、サッパ及びカキの5種では1検体当たり1~9物質検出され、その中でもカキの検出頻度は高く、7~9物質検出された。一方、シタビラメ、ボラ及びヒラメの3種では全ての物質が検

出されなかった。これらの結果は、魚介類の種類によりPAHの検出率が大きく異なることを示唆するものであった。

国際がん研究機関による発がん性評価で、グループ1（ヒトに対して発がん性がある）と評価されており、EU、中国及び韓国が食品の基準を定めているベンゾ[a]ピレンは全ての検体で検出されなかった。また、PAH4の総量は、最高値であったカキ（3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）がEUにおけるPAH4の総量の基準値（二枚貝（生鮮）30.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）の10%であり、全ての検体で低い値であった。

次に、魚介類の種類毎に検出した物質の組成を図2に示す。フェナントレンは定量限界未満のピークを含めると全ての検体からピークが確認されるなど最も高頻度に検出され、低濃度ながら魚介類に広く存在していることが示された。この物質は、岡山県内の公共用水域の調査¹²⁾において全調査地点（12地点）から検出され、広く環境中に存在していることが示された物質であった。また、検出された物質を構成する芳香環数を用いて比較したところ、全て3~5環系であり、6環系は検出されなかった。3環系の比率はカキ以外の4種で最も高く、アナゴ及びコイは100%、カレイは87%、サッパは55%、カキは23%であり、4環系の比率はカキで50%と最も高く、カレイは14%、サッパは38%であった。魚介類では、芳香環数が多く、生物濃縮されやすいと推測されるオクタノール/水分分配係数（Log Pow）が高い物質の検出比率が低く、Log Powが低い物質が主に検出されることが報告¹³⁾されており、この結果と一致していた。また、マイクロプラスチックに吸着しているPAHは魚介類のPAH摂取の原因の一つと推測されるが、その吸着量はLog Powに依存しないと報告があるため¹⁴⁾、魚介類中のPAH検出結果は、マイクロプラスチック以外の摂取経路、摂取後の体内での代謝・排出などが影響していると推測された。

3.4.2 PCB検出結果

PCB検出結果及び暫定的規制値（遠洋沖合魚介類0.5 ppm、内海内湾魚介類3 ppm）に対する割合を表3に示す。PCBは全ての検体で検出され、最高値はアナゴ（内海内湾魚介類）の0.023 ppm（2.3 ng/g）であり、暫定的規制値の0.6%であった。また、暫定的規制値に対する割合は、サッパ（遠洋沖合魚介類）の2.7%が最も高く、他の魚介類は1%未満であった。魚介類の種類ごとの平均値はシタビラメ、カレイ、ヒラメ、コイ及びカキは0.0018~0.0045 ppm（1.8~4.5 ng/g）であり、低い値であった。一方、アナゴ、ボラ及びサッパは0.011~0.018

ppm (11~18 ng/g) であり、他の魚介類の種類に比較すると若干高い値であった。検出値が高くなるのは食性や生息水域の違いによるものと推測された。

3.4.3 PAH 検出結果及びPCB 検出結果との関連

魚介類におけるPAH及びPCBの検出結果を図3に示す。サッパ及びカキはPAH、PCB共に他の魚介類と比較すると若干高い値であった。一方で、アナゴ及びボラはPAHが低値又は検出されず、PCBが他の魚介類に比較すると若干高い値であり、各魚介類におけるPAHとPCBの検出値に明らかな相関は認められなかった。この結果は池内らの報告と同様の結果であり、PAHがPCBに比べ代謝速度が速く、腸での吸収速度が遅いこ

とが最も大きな原因であると報告されている¹³⁾。魚介類の種類によって代謝速度及び腸での吸収速度に相違があると推測されるので、今後とも、様々な魚介類中のPAH及びPCB分析を行うことで、平均摂取量推定の一助としていきたい。

4. まとめ

魚介類中のPAH分析法を検討し、実態調査を行ったところ、以下の結果が得られた。

- (1)PAHの測定は、選択性に優れたGC-MS/MSを用い、感度良く測定できる条件を設定したところ、定量限界は0.1~1 ng/mLであった。定量限界を最低濃度として検量線を作成したところ、 $r^2 > 0.995$ 以上の良好な

表3 魚介類中のPAH及びPCB検出結果(ng/g)

物質名	アナゴ			シタビラメ			コイ		カレイ		ヒラメ	ボラ			サッパ		カキ			
	検体数	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	
検体採取量(g)		5.0			5.0			20		20		10	5.0			5.0		5.0		
PAH	アセナフテン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	0.76	-	-	0.80
	アセナフチレン	-	0.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	アントラセン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ベンゾ[a]アントラセン*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ベンゾ[a]ピレン*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ベンゾ[b]フルオランテン*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	1.8	1.7	1.3
	ベンゾ[e]ピレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.2	0.96
	ベンゾ[g, h, i]ペリレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	クリセン*+トリフェニレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	1.2	-	1.1
	ジベンゾ[a, h]アントラセン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	フルオランテン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	3.2	0.52	2.6	1.9	3.4
	フルオレン	-	0.52	-	-	-	-	0.12	-	-	0.20	-	-	-	-	0.76	0.96	0.48	-	0.88
	インデノ[1, 2, 3-cd]ピレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m-テルフェニル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-
	o-テルフェニル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ペリレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	フェナントレン	0.48	0.64	0.40	-	-	-	0.24	0.13	0.11	0.32	-	-	-	-	3.7	1.6	1.6	-	2.4
	p-テルフェニル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ピレン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-	1.4	1.4	1.6	
合計	0.48	1.9	0.40	-	-	-	0.36	0.13	0.11	0.78	-	-	-	-	12	3.8	10	8.0	12	
魚種平均	0.92			-			0.25	0.45	-		-			7.9		10				
PAH4*合計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	-	3.0	2.7	2.4	
PCB	PCB	13	23	18	3.8	1.5	2.0	3.5	0.70	2.1	1.5	4.1	19	4.8	8.5	12	15	4.5	4.7	4.4
	魚種平均	18			2.4			2.1	1.8	4.1	11	14	4.5							
	暫定的規制値(ppm)	3			0.5			3	0.5	0.5	3	0.5	3							
	割合(%)	0.60			0.49			0.070	0.36	0.82	0.35	2.7	0.15							

*PAH4

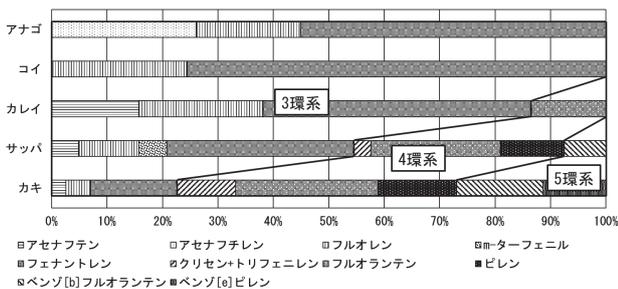


図2 PAH検出比率

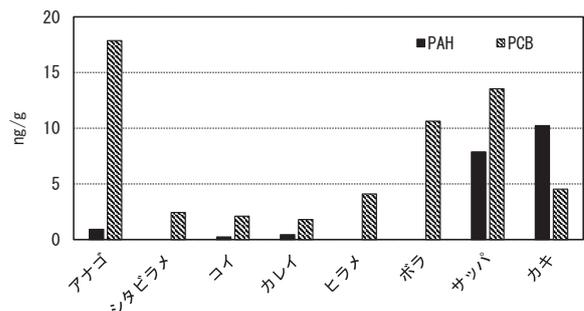


図3 魚介類の種類ごとのPAH及びPCB検出値

- 直線性が得られた。
- (2) PAH試験溶液調製法は、室温アルカリ分解で抽出後へキサンに転溶するまでの工程はPCB試験溶液調製法と同時分析法とし、その後、5%含水シリカゲルクロマトグラフィーで精製する方法を採用した。
- (3) 確立したPAH分析法を用いて、添加回収試験を行ったところ、検討した21物質のうち、アナゴは17物質、カレイは18物質、カキは17物質が目標（回収率70～120%）を満たし、このうち17物質が共通していた。目標を満たさなかった4物質のうち、3物質は回収率が150%以下であり、モニタリングとしては適用可能と考えられた。
- (4) 実態調査を行ったところ、PAHは20物質中11物質が低濃度ながらアナゴ、コイ、カレイ、サッパ及びカキから検出され、シタピラメ、ボラ及びヒラメからは検出されなかった。ベンゾ[a]ピレンは全ての検体で検出されず、PAH4の総量は、最高値であったカキ（30 µg/kg）がEUにおけるPAH4の総量の基準値（二枚貝（生鮮）30.0 µg/kg）の10%であった。PCBは全ての検体で検出されたが、暫定的規制値の0.07～2.7%であった。各魚介類におけるPAHとPCBの検出値に明らかな相関は認められなかった。

文 献

- 食品衛生検査指針 理化学編2015 第6章 食品中の汚染物質及び変質物 10.多環芳香族炭化水素 (PAH)：ベンゾ (a) ピレン，ベンゾ (a) アントラセン，ベンゾ (b) フルオランテン，クリセン，703-716
- 臼井 力，宇野誠一，前田広人，吉田純一：食品中の多環芳香族炭化水素に関する調査研究，鹿児島県環境保健センター所報，18，47-54，2017
- 食品安全委員会ホームページ：食品安全総合情報システム食品安全関係情報詳細，<https://www.fsc.go.jp/fscis/foodSafetyMaterial/show/syu04510020305> (2024.5.31 アクセス)
- 厚生省通知：食品中に残留するPCBの規制について，環食第442号，昭和47年8月24日，1972
- 衛生試験法・注解2015：2.4食品汚染物試験法 2有機化合物 4その他 5) ポリ塩化ビフェニル (PCB)，515-524，2015
- 中桐未知代，吉岡敏行，林 隆義，野村 茂，中桐基晴：環境中の大気汚染物質に関する研究（微小粒子PM2.5による大気汚染）－第7報 PM2.5の多環芳香族炭化水素類の同時分析法の検討と濃度の特徴－，岡山県環境保健センター年報，35，9-18，2011
- 武 志保，劔持堅志，難波順子，門田 実：PCB全異性体分析法を用いた魚介類の実態調査，岡山県環境保健センター年報，26，65-72，2002
- 難波順子，金子英史，肥塚加奈江，赤木正章，北村雅美，吉岡敏行：PCB全異性体分析法を用いた魚介類の実態調査（第二報），岡山県環境保健センター年報，42，77-82，2018
- Agilentホームページ：アプリケーションノート，測定困難なマトリックスにおけるPAHのGC/MS/MS分析の最適化，https://www.chem-agilent.com/appnote/pdf/rev_low_5994-0498JAJP.pdf (2024.5.31 アクセス)
- 劔持堅志，吉岡敏行，藤岡敏修，鷹野 洋：化学物質環境汚染に関する調査研究－平成11年度化学物質環境汚染実態調査の概要－，24，11-15，1999
- 環境庁環境保健部環境安全課：平成10年度化学物質分析法開発調査報告書（その2）多環芳香族炭化水素類 (PAHs)，岡山県環境保健センター，1-70，2000
- 吉岡敏行，藤原博一，山辺真一，浦山豊弘：有害化学物質の環境汚染実態の解明と分析技術の開発に関する研究－GC/MSを用いた水質中多環芳香族炭化水素 (PAH) の多成分分析法の検討－，岡山県環境保健センター年報，35，35-42，2011
- 池内良徳，伊藤有希，殷 熙洙，渡邊栄喜，宮原裕一：諏訪湖に生息する生物の多環芳香族炭化水素類汚染とその蓄積特性，環境化学，18 (3)，341-352，2008
- 鍋谷佳希，田中周平，鈴木裕識，雪岡 聖，藤井滋穂，高田秀重：琵琶湖・大阪湾におけるマイクロプラスチックへのペルフルオロ化合物類および多環芳香族炭化水素類の吸着特性，土木学会論文集，73(7)，III_1-III_8，2017