

波長：253.7 nm

⑤ 添加回収試験

添加回収試験用試料(ムキエビ)1 g について、1 回分析操作を実施して陰性検体であることを確認し、添加回収試験に供した。添加回収試験は添加回収試験用試料 1 g に水銀を 50 ng 添加した。3 回分析操作を実施し、その回収率を求めた。

C-1. 研究結果と考察

1. トルエンによる高濃度塩酸溶液からのメチル水銀の添加回収率

平成 16 年度に検討した抽出法Ⅱによるメチル水銀分析法では、トルエンによる高濃度塩酸溶液からのメチル水銀の抽出条件を詳細に検討していない。そこで、メチル水銀・システイン標準溶液(10 μ g/ml) 80 μ l (水銀として 0.800 μ g) に 9mol/L 塩酸溶液 2.5ml を加え、トルエン 20ml で 1、2、3 及び 4 回抽出した場合のメチル水銀の添加回収率を求め、その結果を図 1-3 に示す。合せたトルエン抽出液はそれぞれ 20% 塩化ナトリウム溶液で洗浄後、脱水して試験溶液とし、添加回収率は無処理のメチル水銀標準溶液の検量線を用いて算出した。添加回収率は抽出回数の増加とともに高くなり、抽出 4 回では約 99% に達した。そこで、トルエンによる抽出は 4 回行うことにした。

2. 抽出処理したメチル水銀標準溶液の検量線

無処理及び抽出法Ⅰで処理したメチル水銀標準溶液の検量線を図 1-4 に、検量線の中で最も高い濃度(0.100 μ g/ml)の無処理及び抽出処理したメチル水銀標準溶液のガスクロマトグラムを図 1-5

に示す。抽出処理したメチル水銀標準溶液の検量線は 0.0025~0.100 μ g/ml (添加量 0.020~0.800 μ g) の範囲で良好な直線性($R^2=0.9994$)を示し、各測定値は無処理メチル水銀標準溶液の 80~89 (平均 85) % であり、昨年度に検討したアルカリ分解—ジチゾン法の結果と同程度であった。

3. 抽出法Ⅰによるキハダマグロ筋肉からのメチル水銀の添加回収率

表 1-1 は抽出法Ⅰによるキハダマグロ-2 の筋肉からのメチル水銀の添加回収率を示したものである。検出量は抽出法Ⅰで処理した検量線を用いて算出した。キハダマグロ 1.00g にメチル水銀・システイン標準溶液(10 μ g/ml) 80 μ l (水銀として 0.800 μ g) を添加した場合のメチル水銀の添加回収率は 101% であった。また、無添加試料中に含まれるメチル水銀濃度の 5 回の繰返し試験における変動係数は 1.5% であった。添加回収率及び繰返し試験における変動係数は良好な結果を示している。

4. 魚類筋肉中のメチル水銀濃度と総水銀に対するメチル水銀含有率

抽出法Ⅰ及び抽出法Ⅱにより測定した魚類筋肉中のメチル水銀濃度を表 1-2 に示す。メチル水銀濃度は抽出法Ⅰ及びⅡとも抽出法Ⅰで処理した検量線を用いて算出した。図 1-6 に抽出法Ⅰによる魚類筋肉(マサバ-1、キダイ-1、クロマグロ-2)からのメチル水銀のガスクロマトグラムを示す。抽出法Ⅰ及びⅡにおける 4 魚種 8 試料の筋肉中のメチル水銀濃度(水銀として)はそれぞれ 0.05~0.48、0.05~0.49 μ g/g の範囲にあり、いずれの魚種においても抽出法Ⅰ及びⅡの間に相違はほとんどみられなかった。また、サバ 1 試料のみであるが試料

採取量 1.00g と 2.00g の間にメチル水銀濃度の相違がなく、メチル水銀濃度の低い魚種では試料を 2.00g まで採取することが可能であることを示している。

表 1-3 は魚類筋肉中の総水銀濃度及び総水銀に対する抽出法 I のメチル水銀含有率を示したものである。4 魚種 8 試料の筋肉中の総水銀濃度は 0.05~0.57 $\mu\text{g/g}$ の範囲にあり、総水銀に対するメチル水銀の含有率は 84~100% (平均 92%) であった。マグロ類 2 種 4 試料の平均メチル水銀含有率は 91% であり、アルカリ分解—ジチゾン法を用いて測定したマグロ類の平均メチル水銀含有率の結果²⁾と同様に高い値であった。

メチル水銀の抽出は使用する前日にブレンダーで均一にした魚類筋肉を用いており、魚類筋肉からのエマルジョン形成はほとんどみられなかった。しかし、均一試料を 6 ヶ月以上凍結保存すると、抽出時にエマルジョンを形成してトルエンの回収量に影響を及ぼす事例があったことから、均一試料の長期保存は避ける方が望ましいと考えられた。

本法は抽出処理した検量線を用いることにより、昨年度報告したアルカリ分解—ジチゾン法と同様に高い添加回収率及び総水銀に対するメチル水銀含有率を示した。しかも、抽出操作が公定法と類似しており、短時間の訓練により精度の高い分析結果を得ることが可能と考えられた。

C-2. 研究結果と考察

1. 共同試験のための試料作製

共同試験を行うために、メバチマグロ

乾燥粉末試料を作製した。メバチマグロ乾燥前の重量は 3,076.44g、かつ乾燥後の重量は 744.11g、となり水分含量は 75.8% であった。

2. メチル水銀標準溶液の検量線の直線性及び再現性

検量線は陰性試料確認及び添加回収試験実施時、均質性試験実施時、安定性試験実施時の 3 回作成した。作成した検量線をそれぞれ図 2-1~2-3 に示した。また、標準溶液のクロマトグラムの一例を図 2-4 に示した。

検量線については、作成した 3 回とも相関係数が 0.995 以上であり、直線性は良好であった。また、再現性も問題ないと考えられた。

3. 均質性試験

均質性試験におけるメチル水銀及び総水銀の結果並びに総水銀に対するメチル水銀の比率を表 2-1 に示した。作製した分析用模擬試料のクロマトグラムの一例を図 2-5 に、陰性確認試験におけるクロマトグラムを図 2-6 に示した。

メチル水銀については平均値 2.77 $\mu\text{g/g}$ 、標準偏差 0.082 $\mu\text{g/g}$ 、変動係数 3.0%、総水銀については平均値 3.33 $\mu\text{g/g}$ 、標準偏差 0.23 $\mu\text{g/g}$ 、変動係数 6.8% であり、作製した標準試料の均質性は概ね担保されていると思われた。また、総水銀の結果の変動係数がやや大きいのは、凍結乾燥試料のため試料量が非常に少なかったことが原因と思われた。

なお、添加回収試験に供した試料については陰性試料として妥当であり、添加回収試験結果 (表 2-2) も良好であった。

4. 安定性試験

安定性試験におけるメチル水銀及び総水銀の結果並びに総水銀に対するメチル水銀の比率を表2-3に示した。

メチル水銀については平均値2.76 µg/g、標準偏差0.11 µg/g、変動係数4.0%、総水銀については平均値3.37 µg/g、標準偏差0.11 µg/g、変動係数3.3%であった。

均質性試験結果との比較から、作製した分析用模擬試料における共同試験実施期間中の安定性は確保されているものと考えられた。

5. 共同試験結果

5.1 添加回収試験

共同試験における添加回収試験結果を表2-4にまとめた。メチル水銀の回収率は83.9~110%、総水銀の回収率は88.9~103%と、良好な回収率が得られた。今回、改良分析法において、各濃度の標準溶液は試験溶液と同様の操作を行って調製した。したがって、このように検量線を作成し、試料中のメチル水銀を定量した場合、良好な回収率が得られることが示された。

5.2 メバチマグロ試料を用いたときの共同試験結果

実試料として、メバチマグロ試料を用いたときの共同試験結果を表2-5に示した。メチル水銀の平均値は2.82~2.97 µg/g、室内精度は4.5~5.5%、総水銀の平均値は2.99~3.09 µg/g、室内精度は1.9~2.9%と良好であった。3機関での共同試験によって、室内精度もよく、平均値もバラつかないことから、この改良法を用い、多機関での共同試験の実施が可能と考えられた。

5.3 メチル水銀の総水銀に対する比率(%)

メチル水銀の総水銀に対する比率(%)を表2-6に示した。その結果91.3~99.6%と、メバチマグロ中のメチル水銀は総水銀量のほとんどを占めることが示された。

D-1. 結論

- 1) 抽出処理したメチル水銀標準溶液の検量線の各測定値は、無処理のメチル水銀標準溶液の80~89(平均85)%であった。
- 2) この方法を用いると、キハダマグロ筋肉部からのメチル水銀の添加回収率は101%であった。
- 3) キハダマグロ筋肉部中のメチル水銀濃度の5回繰返し試験における変動係数は1.5%であった。
- 4) 4魚種8試料の筋肉中の総水銀に対するメチル水銀含有率は84~100%(平均92%)であった。

D-2. 結論

実試料としてメバチマグロを用いて3機関による共同試験を行った結果、メチル水銀の測定の精度は非常に高いことが示された。この改良法を用いて、多機関での共同試験の実施が可能と考えられた。なお、メバチマグロの場合、総水銀に対するメチル水銀の比率は91~100%と、非常に高い結果となった。

E. 参考文献

- 1) <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/admehg.html>
- 2) <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/06/s0603-3.html>
- 3) <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/suigin/dl/050812-2>

pdf

4) 「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)の別紙2

5) 厚生労働省監修:食品衛生検査指針理化学編(2005)(社)日本食品衛生協会

6) 環境省編:水銀分析マニュアル, 28-42(2004)

7) http:

//www.mhlw.go.jp/shingi/2003/06/s0603-4g.html

8) A. I. Cabanero et al.: Biol. Trace Elem. Res. 103, 17-35 (2005)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産所有権の出願・登録状況(予定も含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

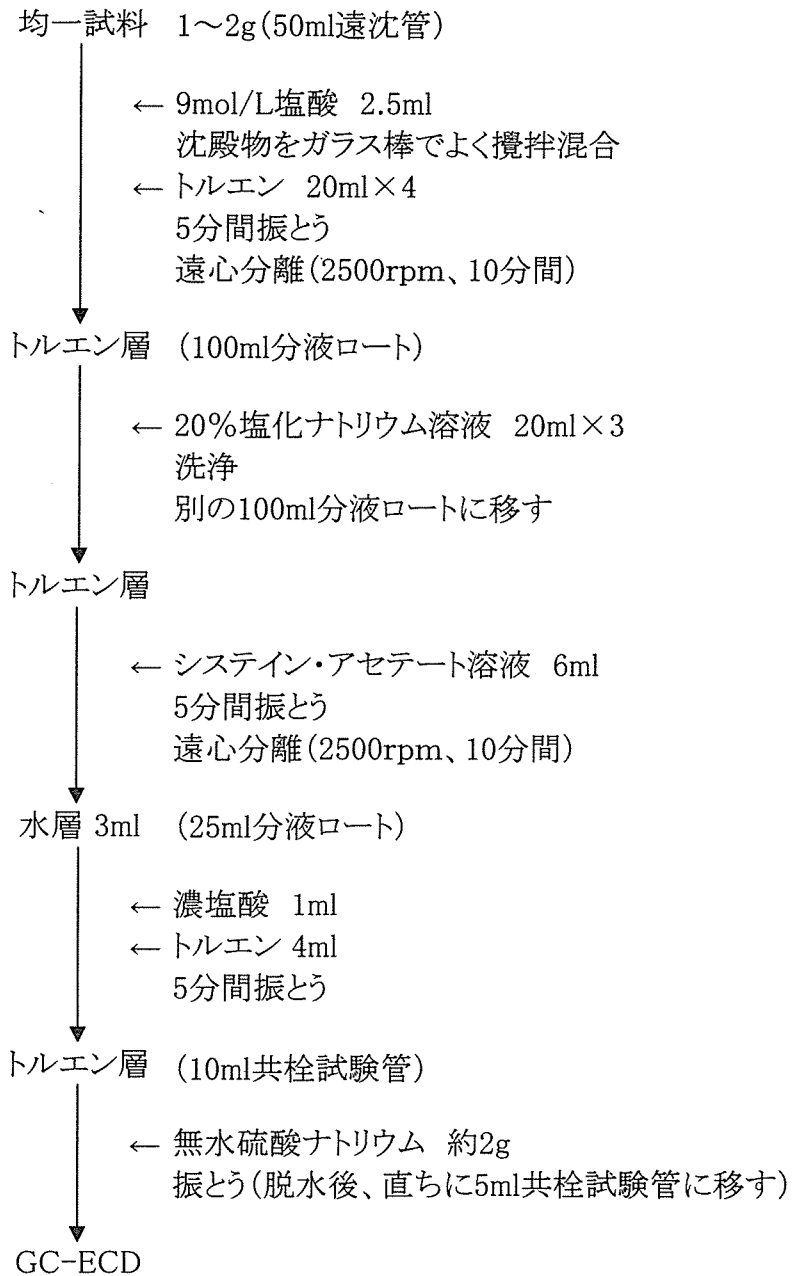


図1-1 魚介類中のメチル水銀の抽出法 I (一般魚介類)

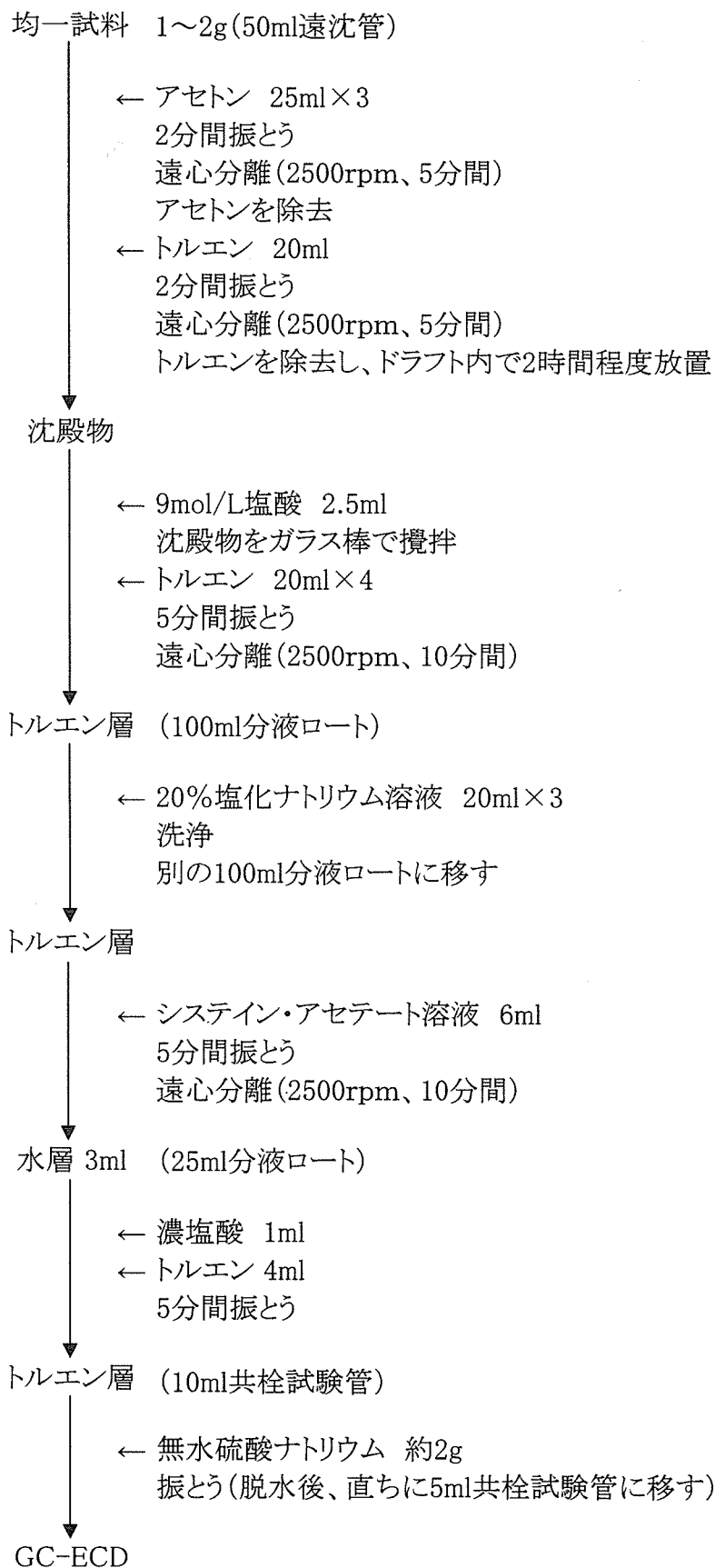


図1-2 魚介類中のメチル水銀の抽出法Ⅱ (高脂質含有組織(クジラ類の脂皮等))

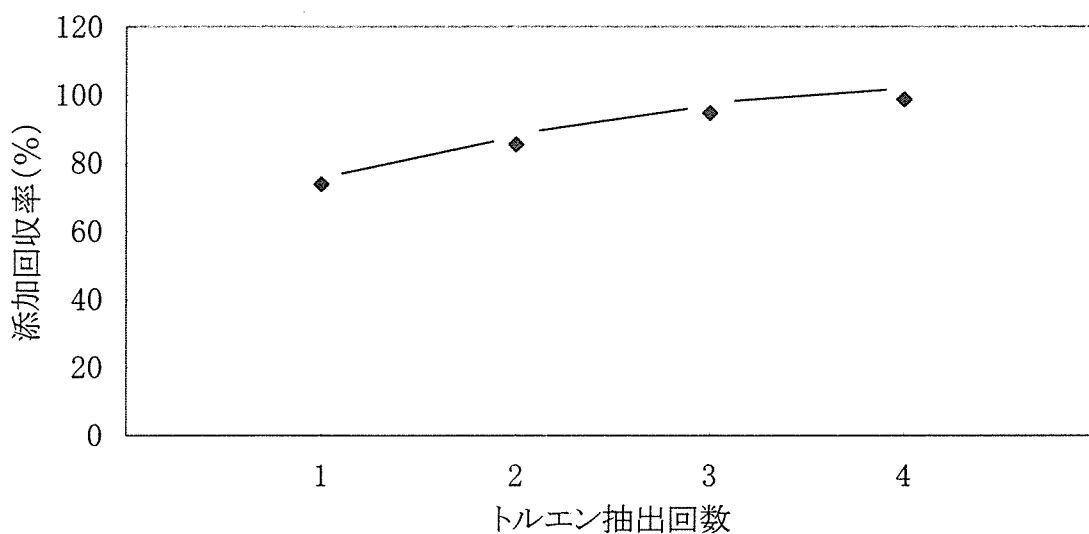


図1-3 トルエンによる9mol/L塩酸溶液からのメチル水銀の添加回収率

メチル水銀添加量: 水銀として0.800 μg (メチル水銀・システイン標準溶液10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ を80 μl) 添加
 トルエンの抽出容量: 20ml/回
 添加回収率: 無処理のメチル水銀標準溶液の検量線から算出

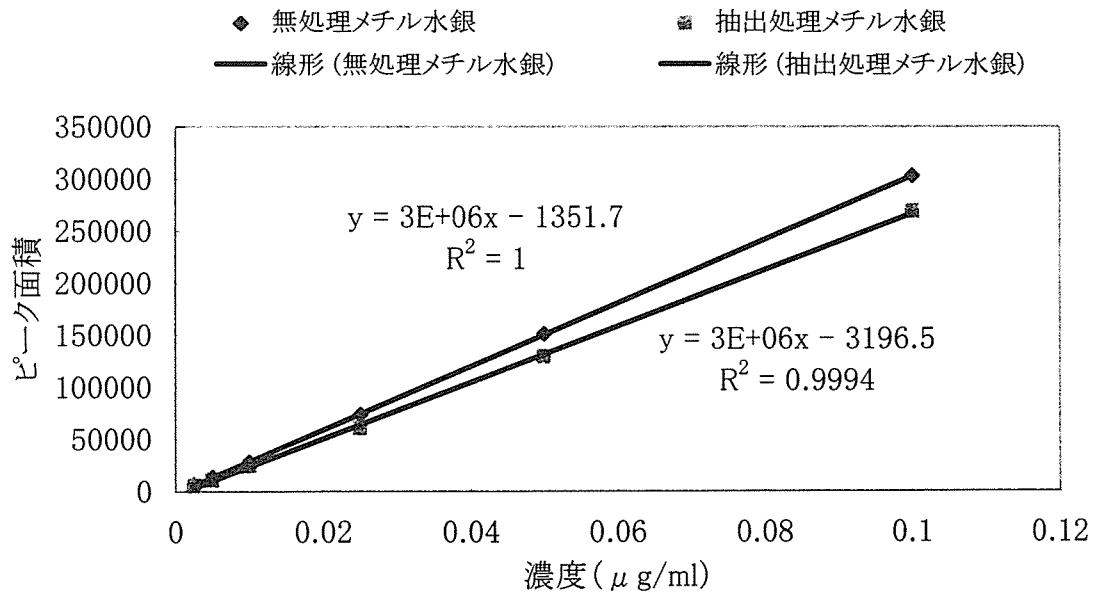
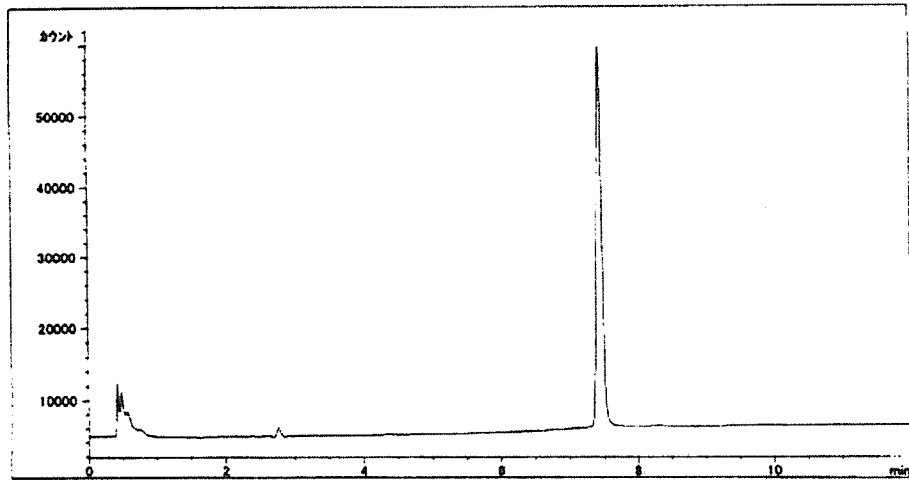


図1-4 無処理及び抽出法 I で処理したメチル水銀標準溶液の検量線

無処理



抽出法 I で処理

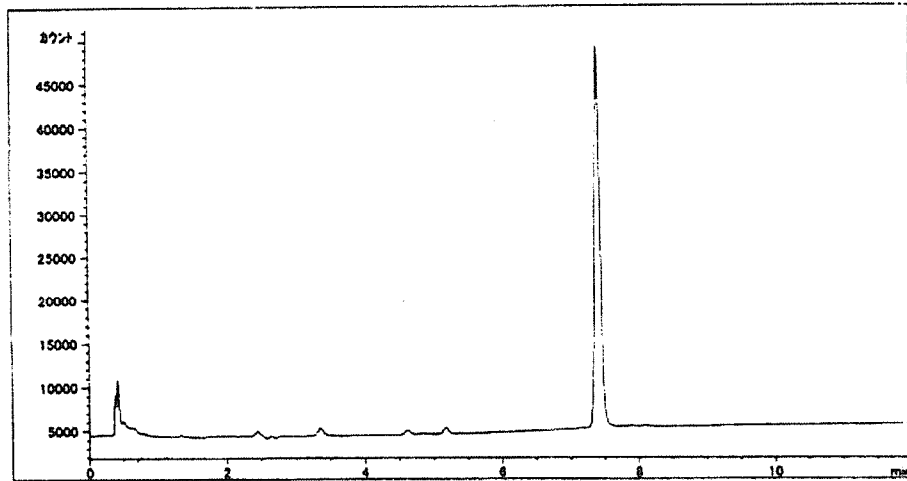
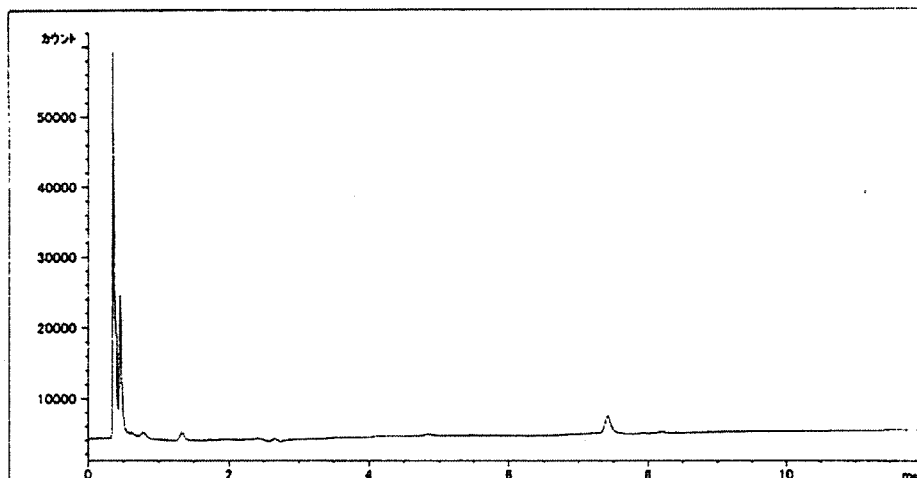
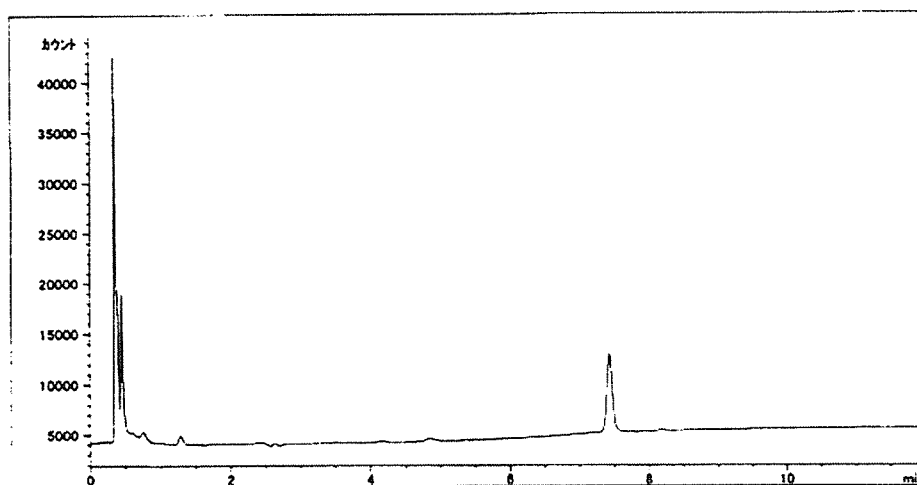


図 1 - 5 無処理及び抽出法 I で処理したメチル水銀標準溶液 (水銀として 100ng/ml) のガスクロマトグラム

マサバー 1



キダイー 1



クロマグロー 2

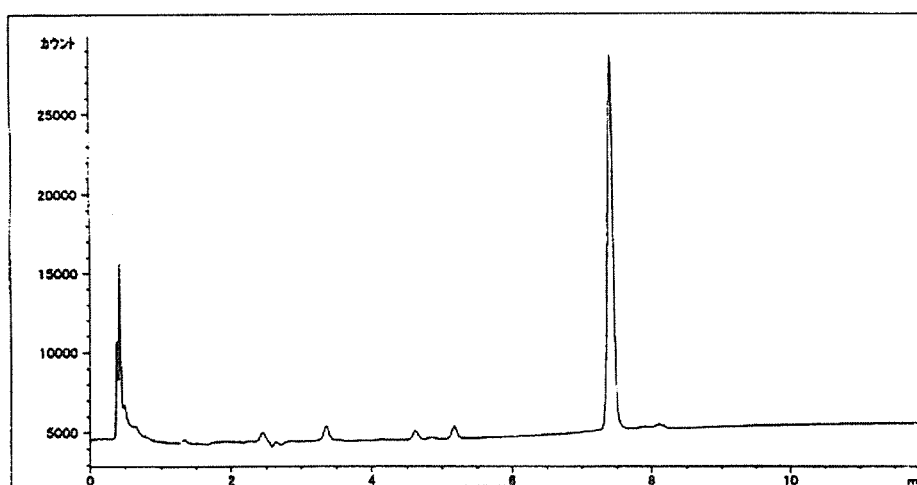


図 1-6 抽出法 I による魚類筋肉中のメチル水銀のガスクロマトグラム

表1-1 抽出法 I によるキハダマグロ筋肉からのメチル水銀の添加回収率

魚種/採取量	メチル水銀検出量(水銀として: μg)*	
	キハダマグロー2	1.00g
添加量(μg)	0	0.800
試料番号-1	0.31	1.14
-2	0.30	1.11
-3	0.31	1.14
-4	0.31	1.10
-5	0.31	1.13
平均値 \pm S.D.	0.31 \pm 0.0045	1.12 \pm 0.018
C.V.(%)	1.5	1.6
平均回収率(%)	101	

*:抽出法 I で処理した検量線を用いて算出

表1-2 抽出法 I 及び抽出法 II によ測定した魚類筋肉中のメチル水銀濃度

魚種	採取重量(g)	メチル水銀濃度(水銀として: $\mu\text{g/g}$)*	
		抽出法 I	抽出法 II
マサバー1	1.00	0.06	0.06
マサバー2	1.00	0.11	0.11
マサバー2	2.00	0.11	0.11
キダイ-1	1.00	0.36	0.36
キダイ-2	1.00	0.14	0.14
キハダマグロー1	1.00	0.05	0.05
キハダマグロー2	1.00	0.31**	0.31
クロマグロー1	1.00	0.39	0.40
クロマグロー2	1.00	0.48	0.49

*:抽出法 I で処理した検量線を用いて算出

** :5回の平均値

表1-3 魚類筋肉中の総水銀濃度及び総水銀に対するメチル水銀含有率

魚種	総水銀濃度 ($\mu\text{g/g}$)	メチル水銀含有率* (%)
マサバー1	0.06	100
マサバー2	0.12	92
キダイ-1	0.40	90
キダイ-2	0.16	88
キハダマグロー1	0.05	100
キハダマグロー2	0.34	91
クロマグロー1	0.45	87
クロマグロー2	0.57	84

*:抽出法 I の値

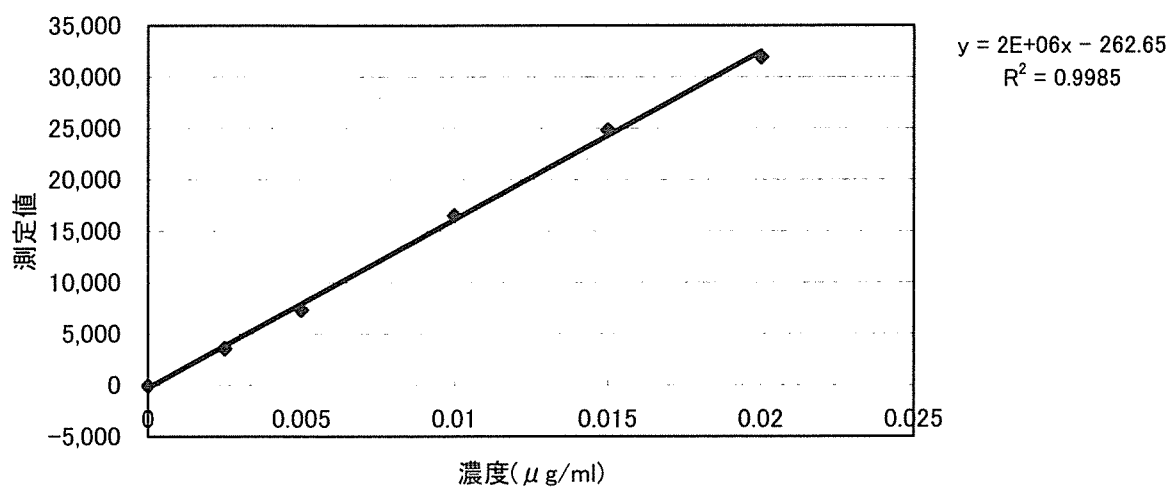


図 2 - 1 メチル水銀標準溶液の検量線(陰性試料確認及び添加回収試験実施時)

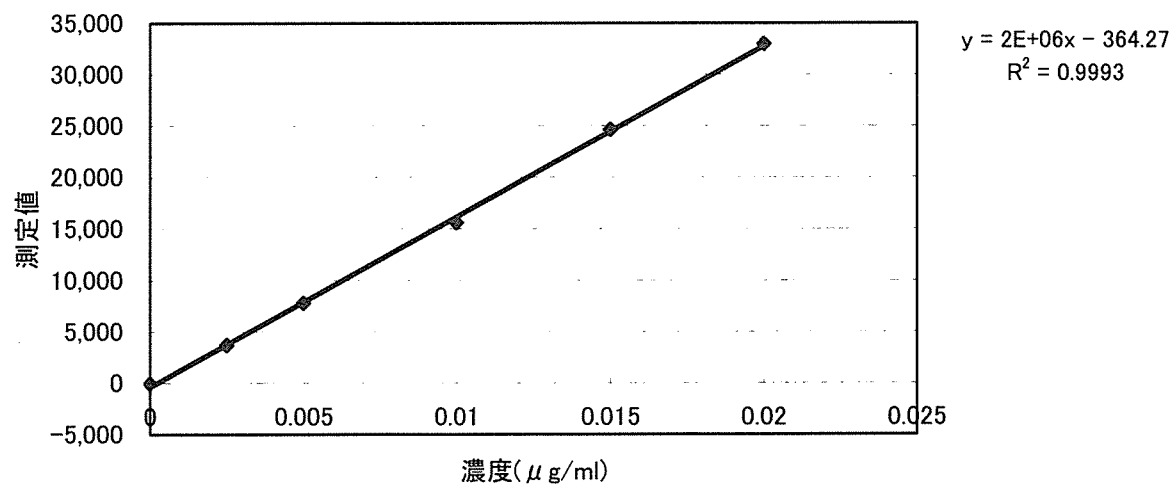


図 2 - 2 メチル水銀標準溶液の検量線(均質性試験実施時)

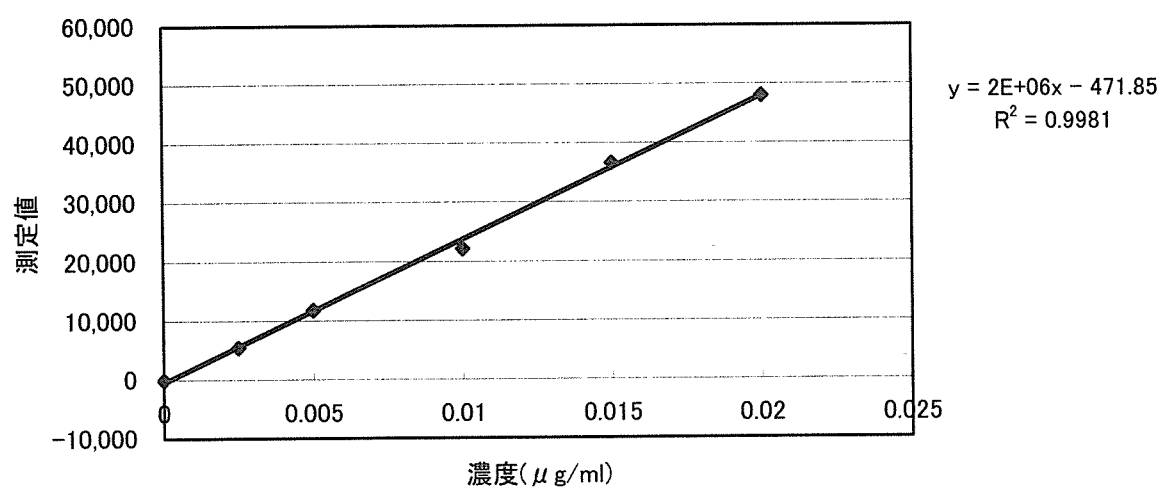


図 2 - 3 メチル水銀標準溶液の検量線(安定性試験実施時)

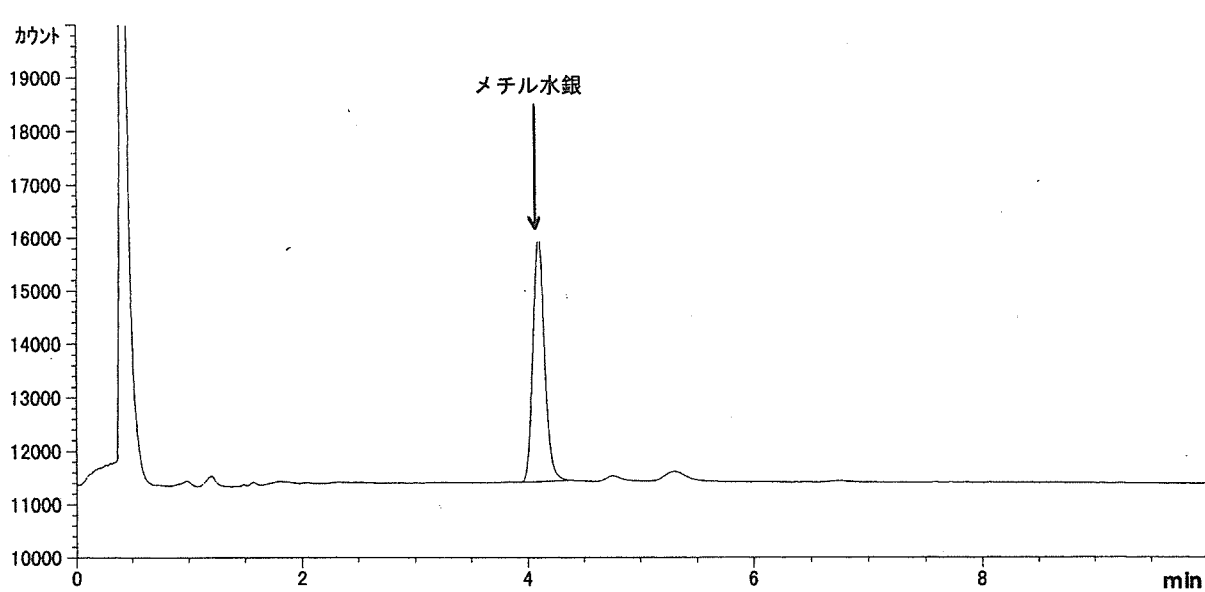


図 2 - 4 メチル水銀標準溶液のクロマトグラムの一例(0.02 μg/ml)

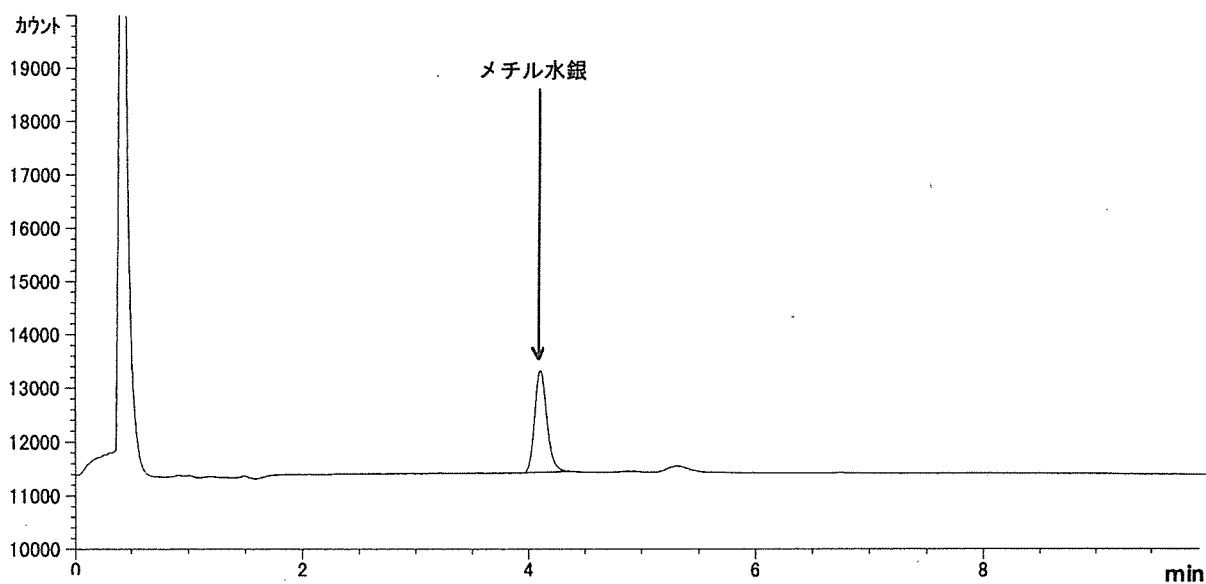


図 2 - 5 分析用模擬試料(メバチマグロ)のクロマトグラムの一例

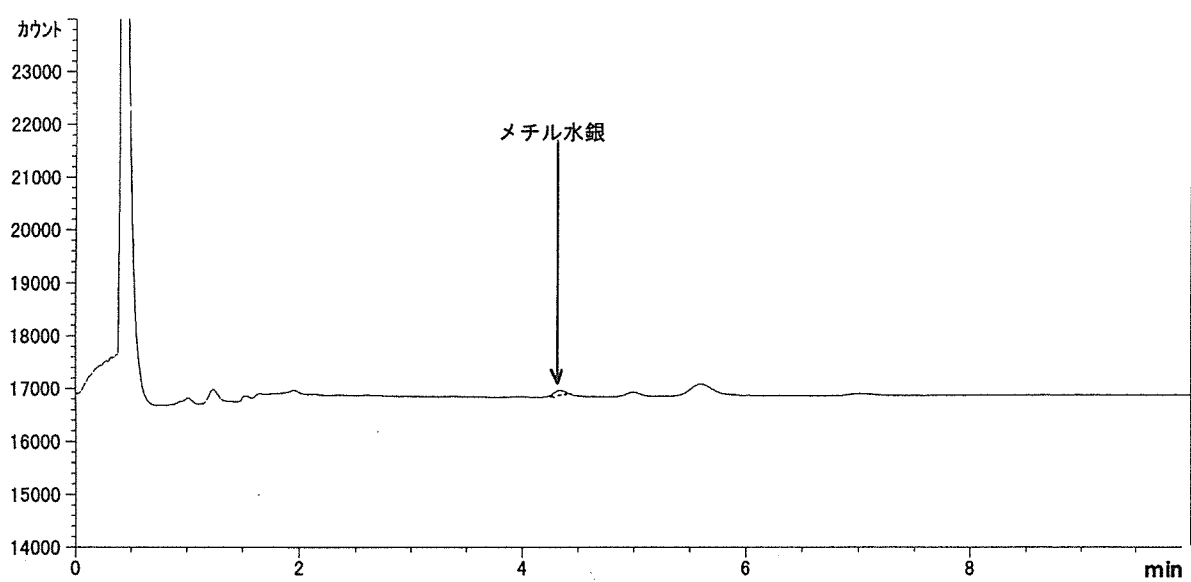


図 2 - 6 陰性検体(ムキエビ)のクロマトグラム

検体 No.	メチル水銀 ($\mu\text{g/g}$)	総水銀 ($\mu\text{g/g}$)	総Hgに対する メチルHgの比率(%)
8	—*	3.42	—
10	2.76	3.35	82
14	—*	3.69	—
18	—*	3.51	—
26	2.77	3.65	76
33	2.89	3.17	91
35	2.66	3.13	85
39	—*	3.12	—
41	—*	3.19	—
48	2.76	3.09	89
平均	2.77	3.33	84.6
S. D.	0.082	0.23	5.9
RSD(%)	3.0	6.8	7.0

* : 分析実施せず

表 2 - 1 メバチマグロ 均質性試験結果

	回収率 (%)	
	メチルHg	総Hg
1	110	86
2	110	79
3	107	86

陰性確認

メチルHg : N. D. ($<0.02 \mu\text{g/g}$)

総Hg : N. D. ($<0.02 \mu\text{g/g}$)

表 2 - 2 添加回収試験結果

検体 No.	メチル水銀 (μ g/g)	総水銀 (μ g/g)	総Hgに対する メチルHgの比率(%)
5	2.86	3.35	85
27	2.77	3.33	83
30	2.68	3.29	81
36	2.86	3.57	80
45	2.61	3.32	79
平均	2.76	3.37	81.6
S. D.	0.11	0.11	2.4
RSD(%)	4.0	3.3	3.0

表 2 - 3 メバチマグロ 安定性試験結果

機関A

メチル水銀 (Hgとして50ng添加)					無機水銀 (Hgとして50ng添加)					
採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	
1	1.00	0.0504	0.0504	0.0504	100.8	1.1654	0.0455	0.0530	0.0530	106.1
2	1.06	0.0543	0.0576	0.0576	115.1	1.3776	0.0341	0.0470	0.0470	94.0
3	1.05	0.0536	0.0563	0.0563	112.6	1.3761	0.0392	0.0540	0.0540	108.0
110 \pm 7.6 (%)					103 \pm 7.6 (%)					

島津製作所ECD-GC(GC2014)

平沼産業(HG200)

無添加試料についてメチル水銀は1g採取したとき0.00 $\mu\text{g/g}$ 、総Hgは1.32398g採取したとき0.00 $\mu\text{g/g}$

機関B

メチル水銀 (Hgとして50ng添加)					無機水銀 (Hgとして100ng添加)					
採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	
1	1.00	0.0585	0.0585	0.0489	97.8	2.00	0.0556	0.1112	0.0864	86.4
2	1.00	0.0538	0.0538	0.0442	88.4	2.00	0.0558	0.1116	0.0868	86.8
3	1.00	0.0571	0.0571	0.0475	95.0	2.00	0.0591	0.1182	0.0934	93.4
93.7 \pm 4.8 (%)					88.9 \pm 3.9 (%)					

島津製作所 ECD-GC (GC2014)

還元気化原子吸光光度計、日本インスツルメンツ MA-2000

無添加試料についてメチル水銀は1g採取したとき0.0096 $\mu\text{g/g}$ 、総Hgは2g採取したとき0.0124 $\mu\text{g/g}$

機関C

メチル水銀 (Hgとして50ng添加)					無機水銀 (Hgとして100ng添加)					
採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	採取量 (g)	実測値 ($\mu\text{g/g}$)	回収 (μg)	回収(μg)— ブランク値	回収率 (%)	
1	1.00	0.0533	0.0533	0.0437	87.4	2.0211	0.0476	0.0962	0.0953	95.3
2	1.00	0.0514	0.0514	0.0418	83.6	2.0722	0.0486	0.1007	0.0998	99.8
3	1.00	0.0500	0.0500	0.0404	80.8	2.0127	0.0487	0.0980	0.0971	97.1
83.9 \pm 3.3 (%)					97.4 \pm 2.3 (%)					

Agilent (6890N)

平沼産業(HG200J)

無添加試料についてメチル水銀は1g採取したとき0 $\mu\text{g/g}$ 、総Hgは2.0012g採取したとき0.00047152 $\mu\text{g/g}$

表 2 - 4 共同試験における添加回収試験結果

メバチマグロ試料 メチルHg 3機関の結果

	実測値(μg/g)					mean (μg/g)	S.D.	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
A	2.80	2.94	2.96	2.66	2.76	2.82	0.13	4.5
B	2.65	3.08	2.95	2.85	2.83	2.87	0.16	5.5
C	3.05	3.08	2.74	3.13	2.87	2.97	0.16	5.5

メバチマグロ試料 総Hg 3機関の結果

	実測値(μg/g)					mean (μg/g)	S.D.	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
A	3.19	3.01	3.18	3.02	3.06	3.09	0.09	2.8
B	3.02	3.11	3.13	3.06	3.00	3.07	0.06	1.9
C	2.91	3.05	3.07	3.02	2.88	2.99	0.09	2.9

表 2 - 5 共同試験におけるメバチマグロの測定値の解析結果

機関	メチルHg	総Hg	比率 (%)
	mean (μg/g)	mean (μg/g)	
A	2.82	3.09	91.3
B	2.87	3.07	93.6
C	2.97	2.99	99.6

表 2 - 6 メバチマグロ試料 総水銀に対するメチル水銀の比率 (%)

分 担 研 究 報 告

食品中の放射性核種の摂取量調査・評価研究

杉山 英男

厚生労働科学研究費補助金（食品の安心・安全確保推進研究事業）
平成 18 年度分担研究報告書

食品中の放射性核種の摂取量調査・評価研究

分担研究者 杉山英男（国立保健医療科学院生活環境部室長）

協力研究者 寺田 宙（国立保健医療科学院）

高橋光子（国立保健医療科学院）

飯島育代（神奈川県衛生研究所）

磯村公郎（兵庫県立健康環境科学研究所）

研究要旨

国内の流通食品に含まれる放射性核種の量と、その摂取量および被ばく線量を明らかにするために、マーケットバスケット方式による放射性核種の摂取量調査・評価研究（トータルダイエツスタディ；TDS）を実施した。本研究の最終年度にあたる平成 18 年度は、昨年度（東北、関東 I、近畿 I、北九州地域）と同様な調査・評価方法により全国 4 地域（関東 I、関東 II、北陸、近畿 II）を対象とした。平成 16 年度における 4 対象地域（北海道、関東 I、東海、南九州）と合わせた全 12 地域は日本国内のほぼ全域にわたる。飲料水を含む全 14 食品群に区分される食品を各地域で採取し、通常の調理法に従って TDS 用の試料を調製した後、 γ 線放出核種（人工放射性核種の放射性 Cs および天然放射性核種の ^{40}K や ^{214}Bi 、 ^{212}Pb などのウラン系列、トリウム系列）、 β 線を放出する人工放射性核種の ^{90}Sr 、 U (^{238}U) を対象として測定、分析を行った。対象放射性核種の各食品群中の放射能濃度を明らかにした後、これらの濃度を基本としてその 1 日摂取量と被ばく線量を算出、推定し評価を試みた。その結果、いずれの放射性核種濃度ならびに 1 日摂取量は小さく、各地域における分布状況についても大きな差はみられなかった。これより、今回の研究では食品摂取に伴う国内各地域の公衆の成人に対する被ばく線量は小さいことが評価され、食品中の放射能に対する安心・安全確保を推進するための一つの基礎的な資料が集積された。

A. 研究目的

食品中の有害物質の量とその分布状況を明らかにし、さらに、公衆による摂取量を推定、評価することは食品の安心・安全確

保の推進に資する上での一つの重要な課題である。

本研究では、日本国内に流通する各種の食品を対象として、日常的に摂取される消

費量データに基づき調製したトータルダイエット試料について、人工ならびに天然 γ 線放出核種、 β 線放出核種（人工放射性核種）の ^{90}Sr および ^{238}U の測定、分析を行う。これらの実測データをもとにして、各種食品区分群における放射性核種濃度と国内地域分布を明らかにする。さらに、日本人固有の食事摂取形態による放射性核種の暴露（摂取量ならびに被ばく線量）に関する評価を行うことを目的としてトータルダイエットスタディ（以下、TDSと表記する）を実施する。

B. 研究方法

本TDSの研究方法は平成16年度および平成17年度実施の研究に基本的に準ずる。具体的な方法を以下に示す。

1. 概要

日本国内4地域（関東Ⅰ；東京都渋谷区、関東Ⅱ；長野市、北陸；金沢市、近畿Ⅱ；奈良市）において飲料水を含む全14群に区分した食品を流通市場でマーケットバスケット方式により購入した。購入食品は食品群ごとに炊く、ゆでる、炒める、煮る、焼く等の調理を行い、日本人の日常食を再現したトータルダイエット試料を調製した。なお、調理にあたっては他の食品群の添加、混入は禁じた。

調製試料は凍結乾燥あるいは乾熱乾燥後に、 450°C で約24時間灰化处理した。その後、人工ならびに天然の γ 線放出核種（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{40}K 、ウラン系列、トリウム系列）の測定のために各食品群個別にプラスチック製容器（容量100mL）に封入し、シリコーンシーラントを充填させて密閉し2週間程度放置し γ 線スペクトロメトリーを行った。

なお、その物性の上から減容が困難な油脂類（食品群Ⅳ）は調製試料の状態でマリネリ容器（容量1L）に封入し測定用試料とし計測した。 β 線放出核種の ^{90}Sr とUは飲料水を除く全13食品群を各々調理、調製した後に混合均一化した試料を作成した。これら混合試料は γ 線放出核種測定用試料と同様な方法で乾燥、灰化处理して分析用試料を調製し、 ^{90}Sr は放射化学分離-低バックグラウンド β 線測定装置、U（ ^{238}U ）はICP-質量分析（ICP-MS）法により分析した。

これらの測定、分析により得られた食品中の放射性核種の放射能濃度をもとにして食品（調理済み）からの1日摂取量と被ばく線量を算出、推定評価した。

2. 測定法、分析法

本研究で用いた測定法および分析法の概要を以下に示す。

2-1. γ 線スペクトロメトリー

「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（文部科学省放射能測定法シリーズ7、平成4年改訂）に準じた。測定法の概略は以下のとおりである。測定用試料は検出器エンドキャップに載せ80000~300000秒間計測した。バックグラウンド値は検出器に何も載せない空の状態で適時200000~300000秒間計測して求めた。測定にあたり、事前にエネルギー校正曲線およびピーク効率を混合核種基準線源（日本アイソトープ協会頒布）を用いて作成した。エネルギー校正曲線、ピーク効率および定量には γ 線核種解析用ソフトを使用した。定量法の概略は次のとおりである。測定目的核種のピーク領域内の計数値を用いてピーク面積を計算する。ここで他核種からの妨害が認められたときは補正した。