

のコロ1試料中の総水銀濃度が暫定規制値を超えていたが、前述のニタリクジラのマメと同様に、メチル水銀の濃度が規制値を下回ることから、暫定規制値を超えていないものと判断された。

マッコウクジラ成熟オスの冷凍赤肉を用いて、システイン溶液により、水銀除去試験を行った。すり身処理A（コントロール）は赤肉原料に対して、総水銀で-30%、メチル水銀で-23.5%減少し、すり身処理Bでは、総水銀及びメチル水銀でそれぞれ-84.1%及び-86.7%減少した。蒸留水の攪拌を行ったコントロールでは、総水銀及びメチル水銀の濃度減少が起こった原因については不明であるが、処理Bはコントロールである処理Aと比べても総水銀で77%及びメチル水銀で83%の水銀が除去されたことを示している。

原料である赤肉中の総水銀及びメチル水銀は、それぞれ1.64 $\mu\text{g/g}$ 及び0.98 $\mu\text{g/g}$ で、あり、暫定規制値を大きく上回っていたが、すり身処理Bのようなシステイン処理を行うことにより総水銀及びメチル水銀濃度はそれぞれ、0.26 $\mu\text{g/g}$ 及び0.13 $\mu\text{g/g}$ まで減少させることが出来、マグロ肉での報告と同様に、鯨肉でもそのような処理が有効であることが明らかになった。

D. 結論

鯨類由来食品の原料32試料及びその加工品及び試験品47試料について、それらに残留するPCB及び水銀（総水銀、メチル水銀）を調査した。

南極海ミンククジラの尾羽と畝須、並びにその加工品であるオバイケとベーコンは、原料加工品ともに、PCBや水銀の暫定的規制値を大きく下回っていた。

その他の原料中のPCB濃度は、北西太平洋のミンククジラやマッコウクジラの原料の中には暫定的規制値を超える試料が認められた。また、総水銀及びメチル水銀濃度はツチクジラ赤肉及びマッコウクジラの赤肉で規制値を上回っていた。

一方、加工品では、北西太平洋ミンククジラのベーコンや塩蔵皮でPCBが、またツチクジラのタレやマッコウクジラのコロ、ニタリクジラのマメで規制値を上回っていた（ニタリクジラのマメはメチル水銀が暫定的規制値を下回っていたため、規制以下と判断された）。

PCBの除去については、脂肪分が流失させる加工法、特にサラシ加工が有効であることが分かった。一方、水銀については、現在の加工法の中には有効なものが認められなかった。

水銀についてはシステインによる脱水銀の方法のあることが報告されていることから、同溶液を用いた水銀除去実験を行ったところ、この方法が有効であることが分かった。しかしながら、食品添加物としてのシステイン溶液の使用には現在のところ、制限があり、同方法を実際に適用するためには、所定の検査等を受ける必要がある。

E. 参考資料

AOAC. Mercury in fish Alternative flameless atomic absorption method. AOAC Official Method of Analysis (1984) 469-470.

Suzuki, T. (1974) Developing a new food material from fish flesh-III. Removal of mercury fr

om fish flesh. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 78:67-71.

厚生省環境衛生局食品衛生課長通知。「PCBの分析法について」昭和47年7月3日付環食第385号

厚生省環境衛生局長通知。「食品に残留するPCBの規制について」昭和47年8月24日付環食第442号

厚生省環境衛生局長通知。「魚介類の水銀の暫定的規制値について」昭和48年7月23日付環乳第99号

厚生省生活衛生局食品保健課新開発食品保健対策室長通知。「栄養表示基準における栄養成分等の分析方法等について」平成11年4月26日衛新第13号

日本薬学会編。「食品汚染物質試験法」衛生試験法・注解(1990) pp.472-477

大西睦子. 1995. 徳家秘伝鯨料理の本. 講談社

銭谷亮子. 1998. ミンククジラの鯨体部位の名称. 鯨研通信 397号, pp.13-25.

表 1. 鯨肉の加工による水銀及びPCBsの減少に関する研究に使用した鯨種サンプルのリスト

1. 南極海ミンククジラ (原料: 軟須、加工品: ベーコン)

検体番号	性	体長 (m)	成熟度	採集日	捕獲海域	ID No.	備考
U-1	メス	8.5	成熟	2001/1/31	南極海V区	00/01-239	JARPA (2000/01)
U-2	メス	8.77	成熟	2001/2/28	南極海V区	00/01-346	JARPA (2000/01)
U-3	メス	9.15	成熟	2001/3/4	南極海V区	00/01-361	JARPA (2000/01)
U-4	メス	6.38	未成熟	2001/3/14	南極海V区	00/01-402	JARPA (2000/01)
U-5	メス	8.96	成熟	2001/3/16	南極海V区	00/01-411	JARPA (2000/01)

2. 南極海ミンククジラ (原料: 尾羽、加工品: オバイケ)

検体番号	性	体長 (m)	成熟度	採集日	捕獲海域	ID No.	備考
TF-1	メス	8.97	妊娠	2001/1/30	南極海V区	00/01-228	JARPA (2000/01)
TF-2	オス	5.36	未成熟	2000/12/11	南極海VI区	00/01-003	JARPA (2000/01)
TF-3	オス	7.81	成熟	2000/12/21	南極海VI区	00/01-064	JARPA (2000/01)
TF-4	メス	6.76	未成熟	2001/1/14	南極海V区	00/01-166	JARPA (2000/01)
TF-5	メス	9.27	成熟	2001/1/26	南極海V区	00/01-205	JARPA (2000/01)

3. ツチクジラ (原料: 赤肉、加工品: たれ)

検体番号	性	体長 (m)	成熟度	採集日	捕獲海域	ID No.	備考
B-1	オス	9.85	成熟	2001/8/27	三陸沖	01ST030	沿岸小型捕鯨
B-2	オス	10.49	成熟	2001/8/24	三陸沖	01TH725	沿岸小型捕鯨
B-3	オス	9.90	成熟	2001/8/27	三陸沖	01TH726	沿岸小型捕鯨
B-4	オス	9.92	成熟	2001/9/2	オホーツク海	01TI001	沿岸小型捕鯨
B-5	オス	10.05	成熟	2001/9/4	オホーツク海	01TI002	沿岸小型捕鯨

表2. 南極海ミンククジラの原材料(敵須)と加工品(ベーコン)におけるPCBs及び水銀濃度の変化について

検体 番号	品名	原料/加工品	検体 数	PCBs		総水銀		メチル水銀		脂肪 含量 (%)	水分 含量 (%)
				$\mu\text{g/g}$ wet basis	加工による 増減(%)	$\mu\text{g/g}$ wet basis	加工による 増減(%)	$\mu\text{g/g}$ wet basis	加工による 増減(%)		
U-1	敵須	原料	1	n. d.		0.028		0.02		30.9	52.1
U-1K	ベーコン	加工品	1	n. d.	-	0.021	-25	0.04	+100	27.8	39.1
U-2	敵須	原料	1	n. d.		0.008		n. d.		26.4	54.8
U-2K	ベーコン	加工品	1	n. d.	-	n. d.	-	n. d.	-	31.4	41.2
U-3	敵須	原料	1	n. d.		0.031		0.02		13.9	67.4
U-3K	ベーコン	加工品	1	n. d.	-	0.020	-35	0.03	+50	14.1	47.8
U-4	敵須	原料	1	n. d.		0.005		n. d.		34.7	44.1
U-4K	ベーコン	加工品	1	n. d.	-	n. d.	-	n. d.	-	54.2	29.9
U-5	敵須	原料	1	n. d.		0.020		0.01		17.4	62.7
U-5K	ベーコン	加工品	1	n. d.	-	0.016	-20	0.05	+400	21.3	44.6

n. d.: 検出限界(総水銀 0.005ppm、塩化メチル第2水銀 0.01ppm、PCBs 0.01 ppm)

暫定規制値(PCBs 0.5 $\mu\text{g/g}$ 、水銀 0.4 $\mu\text{g/g}$ 、メチル水銀 0.3 $\mu\text{g/g}$)を超える試料は無かった。

は、暫定的規制値(総水銀0.4ppm、メチル水銀0.3ppm、PCB0.5ppm)を超えている数値を示す。

表3. 南極海ミンクケジラの原材料（尾羽）と加工品（オバイケ）におけるPCBs及び水銀濃度の変化について

検体 番号	原料／ 品名	検体 数	PCBs		総水銀		メチル水銀		脂肪 含量 (%)
			μg/g wet basis	加工による 増減(%)	μg/g fat base	加工による 増減(%)	μg/g wet basis	加工による 増減(%)	
TF-1	尾羽	1	0.01	-	0.04	n.d.	n.d.	n.d.	27.3
TF-1K	オバイケ	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.2
TF-2	尾羽	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11.2
TF-2K	オバイケ	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.6
TF-3	尾羽	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	8.6
TF-3K	オバイケ	1	0.01	-	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	0.5
TF-4	尾羽	1	0.01	-	0.13	n.d.	n.d.	n.d.	7.5
TF-4K	オバイケ	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2
TF-5	尾羽	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	26.8
TF-5K	オバイケ	1	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2

n. d. : 検出限界以下

分析方法及び検出限界： 総水銀はAOAC法（0.01ppm）、メチル水銀は昭和47年7月27日環乳「魚介類の水銀の暫定的規制値について」（0.01ppm）、

PCBは昭和47年1月29日付環食第46号（0.01ppm）、粗脂肪はエーテル抽出法（0.1%）によった。

は、暫定的規制値（総水銀0.4ppm、メチル水銀0.3ppm、PCB0.5ppm）を超えている数値を示す。

表4. 北西太平洋ツチクジラの原材料(赤肉)と加工品(たれ)におけるPCBs及び水銀濃度の変化について

検体 番号	原料/ 品名	検体 数	PCBs		総水銀		メチル水銀		脂質 含量 (%)	水分 含量 (%)
			μg/g wet base	加工による 増減(%)	fat base	μg/g wet base	加工による 増減(%)	μg/g wet base		
B-1	赤肉	1	0.02	1.8	3.142	2.269	1.1	74.6		
B-1K	たれ	1	0.03	+50.0	3.265	+3.9	2.869	+26.4	1.4	60.2
B-2	赤肉	1	0.04	8.0	1.433	1.462	0.5	74.5		
B-2K	たれ	1	0.23	+475.0	1.762	+23.0	1.854	+13.1	2.9	60.8
B-3	赤肉	1	0.06	12	0.429	0.439	0.5	74.0		
B-3K	たれ	1	0.06	+0.0	0.522	+21.7	0.527	+20.0	0.9	62.8
B-4	赤肉	1	0.08	7.3	0.618	0.615	1.1	73.8		
B-4K	たれ	1	0.20	+150.0	0.819	+32.5	0.863	+40.3	1.7	59.5
B-5	赤肉	1	0.15	4.8	0.736	0.551	3.1	72.0		
B-5K	たれ	1	0.23	+53.3	0.920	+25.0	0.807	+46.5	2.8	56.8
			145.7		21.2		29.3			

は、暫定的規制値(総水銀0.4ppm、メチル水銀0.3ppm、PCB0.5ppm)を超えている数値を示す。

表5. 北西太平洋ミンククジラ、ニタリクジラ及びマッコウクジラの副産物（原料）とその加工品におけるPCBs及び水銀濃度の比較（その1）*

No.	鯨種	品名	原料/加工品	検体数	Fat (%)	PCBs		総水銀		メチル水銀	
						μg/g wet basis	加工による増減(%)	μg/g wet basis	加工による増減(%)	μg/g wet basis	加工による増減(%)
1	北西太平洋	尾羽	原料	1	34.5	2.1	NA	NA	NA	NA	NA
2	ミンククジラ	サラシクジラ	加工品	1	1.8	0.005	-99.8	NA	NA	NA	NA
3		敵須	原料	1	23.0	1.0	NA	NA	NA	NA	NA
4		ペーコン	加工品	1	24.1	0.65	-35.0	NA	NA	NA	NA
5		本皮	原料	1	61.2	1.3	NA	NA	NA	NA	NA
6		塩蔵皮	加工品	1	66.2	0.97	-25.4	NA	NA	NA	NA
7		赤肉-小切		1	1.6	0.02	NA	NA	NA	NA	NA
8	北西太平洋	尾羽	原料	1	5.7	0.007	< 0.005	< 0.005	< 0.001	< 0.001	< 0.001
9	ニタリクジラ	サラシクジラ	加工品	1	0.62	0.006	-18.6	0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001
10	(2000-B025)	敵須	原料	1	32.0	0.015	0.02	0.02	< 0.001	< 0.001	< 0.001
11	体長=10.6m	ペーコン	加工品	1	16.0	0.012	-20.0	0.02	26.8	0.008	0.008
12	(雄)	茹敵	加工品	1	19.0	0.008	-44.7	0.03	30.6	0.007	0.007
13		本皮	原料	1	72.0	0.15	0.01	0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001
14		切り皮	加工品	1	68.0	0.052	-65.3	0.01	41.1	< 0.001	< 0.001
15		赤肉-小切		1	1.9	0.002	0.05	0.05	0.027	0.027	0.027
16		腎臓	原料	1	2.2	0.0003	0.21	0.21	0.009	0.009	0.009
17		マメ	加工品	1	4.2	0.0007	176.9	0.58	179.5	0.014	55.6
18		舌	原料	1	14.0	0.031	0.04	0.04	< 0.001	< 0.001	< 0.001
19		サエズリ	加工品	1	22.0	0.046	48.4	0.02	-37.4	0.008	0.008

NA: 未分析

は、基準値 (PCBs 0.5 μg/g、水銀 0.4 μg/g、メチル水銀 0.3 μg/g) を超える値を示した。

表5. 北西太平洋ミンククジラ、ニタリクジラ及びマッコウクジラの副産物と加工品におけるPCBs及び水銀濃度の比較 (その2)

No.	鯨種	品名	原料/検体加工品数	Fat (%)	PCBs		総水銀		メチル水銀	
					μg/g wet basis	加工による増減(%)	μg/g wet basis	加工による増減(%)	μg/g wet basis	加工による増減(%)
20	北西太平洋	尾羽	原料 1	29.0	0.97		0.10		0.031	
21	マッコウクジラ	サラシクジラ	加工品 1	7.1	0.11	-88.7	0.01	-92.7	0.003	-90.3
22	(2000-S004)	本皮	原料 1	41.0	1.3		0.08		0.010	
23	体長=8.2m	コロ	加工品 1	23.0	0.47	-63.8	0.10	23.7	0.008	-20.0
24	(雄)	脳皮	原料 1	37.0	0.8		0.32		0.020	
25		サラシ脳皮	加工品 1	0.75	0.02	-97.3	0.08	-75.8	0.013	-35.0
26		本床	原料 1	0.67	0.027		0.17		0.018	
27		サラシ本床	加工品 1	0.05	0.003	-87.8	0.02	-88.0	< 0.001	< -94.4
28		赤肉-小切	1	1.3	0.017		1.01		0.79	
29	北西太平洋	本皮	原料 1	74.9	2.0		NA		NA	
30	マッコウクジラ (2000-S002)	コロ	加工品 2	13.7	0.35 (0.28-0.42)	-82.5	0.55 (0.51-0.58)		0.10 (0.081-0.12)	
31	体長=12.8m	赤肉-小切	原料 1	NA	NA		1.64		0.98	
32	(雄)	塩蔵肉	加工品 14	NA	NA		2.52 (1.5-4.4)	54.0 (-8.5~168)	1.53 (0.77-2.7)	56.1 (-21.4~176)
33		すり身処理A	試験品 1	NA	NA		1.13	-31.0	0.75	-23.5
34		すり身処理B	試験品 2	NA	NA		0.26 (0.26-0.26)	-84.1 (-84.1~-84.1)	0.13 (0.13-0.14)	-86.7 (-86.7~-85.7)

NA: 未分析, すり身処理: システイン処理

は、基準値 (PCBs 0.5 μg/g、水銀 0.4 μg/g、メチル水銀 0.3 μg/g) を超える値を示した。

分担研究報告書

食品衛生上の問題点の整理
－PCBに関するリスク評価－

分担研究者 小栗一太
(九州大学)

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）
分 担 研 究 報 告 書

III. 食品衛生上の問題点の整理
III-1 PCB に関するリスク評価

分担研究者 小栗一太 九州大学薬学部

要旨

我が国では、昭和 43 年に西日本において PCB が混入したライスオイルによる食中毒油症事件が発生し、患者の主な症状は、眼脂過多、ニキビ様皮疹、爪の黒変あるいは皮膚色の変化・色素沈着など多岐にわたる。油症患者では、体重 59 kg の人が 120 日間にわたって PCB を総量 0.5 g 摂取して発症したのが最少量とみなされている。この数値に動物と人の種差などいくつかの安全係数を掛けて、我が国の PCB 暫定的耐容摂取量が定められている。PCB は脂溶性が高く、難代謝性の同族体が多く体内蓄積性が高いため、PCB による健康影響を受ける可能性のあるハイリスク者は、妊婦、胎児、新生児・乳幼児である。油症事件の患者妊婦においては、原因ライスオイルの多量摂取による死産児が、認められている。油症妊婦胎児の特徴的な症状は、発育遅延と新生児油症と呼ばれる色素沈着である。免疫抑制作用と考えられる症状や経母乳油症児の症例も報告されている。また *in vitro* において弱いエストロゲン様作用のあることも報告されている。

PCB は脂溶性の化学物質であり脂肪の多い部分に蓄積するため、食物連鎖と共に濃縮され、メチル水銀と同様、食物連鎖の上位の鯨には蓄積しやすいと考えられる。PCB は主に鯨の皮の部位に蓄積され、赤肉にはほとんど蓄積されない。赤肉の部位は PCB は少なく、検出限界値以下のものもあったが、皮には赤肉よりも高濃度（数 ppm 単位）の PCB が検出されている試料もある。従って、クジラの食性、品種、部位による汚染実態を把握し、特にクジラ多食者のリスク低減への対策が必要である。

1. 毒性発現の特徴及び作用機序

ポリ塩化ビフェニル（PCB）は、理論的に 209 種の同族体からなる混合物である。その組成によって毒性は異なるが、我が国では、PCB の暫定的規制値は 0.5 ppm、その暫定的耐容摂取量（人が一生涯にわたって摂取しても健康影響を起こさない量）を 250 μ g/人/日と定めている。また、類縁構造をもつポリ塩化ダイオキシン（PCDD）、あるいはポリ塩化ジベンゾフラン（PCDF）が含まれることがあるので、それらの共存により毒性に寄与する場合もある。

同族体のうち、コプラナーPCB と呼ばれる平面様構造を取りえる 12 種の PCB は、*in vitro* において弱いエストロゲン様作用を示すことからダイオキシン類に分類されており、そのレセプターである Ah-レセプター（Ah-R）を介してダイオキシン様の毒性が発現するものと考えられている。その作用機序の概略は以下のようなものである。

細胞質内に HSP90 と会合して存在する Ah-R は、ダイオキシン類と結合すると、HSP90 から解離して、細胞核内に移行し、Arnt と会合して、ダイオキシン類を結合した Ah-R・Arnt ヘテロダイマーが形成される。ついで、遺伝子上の転写調節領域に存在する XRE を認識して結合してタンパク質の発現を調節する。この段階までの機構は詳細に解明されているが、Ah-R の支配を受ける遺伝

子は相当数にのぼり、個々の遺伝子発現の増減による調節と、毒性発現に至る機構の詳細はほとんど解明されていない状況にある。また、コプラナーPCB以外のPCBについても健康影響があると考えられているが、詳細な機序は不明である。

in vivo においては、マウスの去勢雄の精嚢の重量減少や、雌で性周期の延長、交尾回数の減少や分娩の遅延などがあり、他の動物でも同様の結果が報告されている。また、ウサギとサルの実験で、妊娠期間中の暴露で胎児・出生児死亡率の増加、出生直後並びに生後の死亡率増加が報告されている。

我が国では、昭和43年に西日本においてPCBが混入したライスオイルによる食中毒油症事件が発生した。患者の主な症状は、眼脂過多（目やに）、ニキビ様皮疹、爪の黒変あるいは皮膚色の変化・色素沈着など多岐にわたる。油症患者では、体重59 kgの人が120日間にわたってPCBを総量0.5 g摂取して発症したのが最少量とみなされている。この数値に動物と人の種差などいくつかの安全係数を掛けて、上記のPCB暫定的耐容摂取量が定められている。油症事件の発生から30年以上が経過して、患者の急性期の症状は認められなくなっているが、ライスオイルに由来する血液中の原因物質のレベルは健常人よりも高いことから健康状態の検診が現在も継続されている。

2. 毒性発現の特に高いと思われるハイリスク者（胎児、妊婦）への毒性評価。

PCBは脂溶性が高く、難代謝性の同族体が多く体内蓄積性が高い。そのため、PCBによる健康影響を受ける可能性のあるハイリスク者は、妊婦、胎児、新生児・乳幼児である。我が国には、油症事件における健康影響の症例がある。

油症事件の患者妊婦においては、16例中2例の死産児が認められている。この数値は油症事件当時の健常妊婦の周産期死亡率と比較して、著しく高率と報告されている。この2例における妊婦の原因ライスオイルの摂取量は、0.7 Lと1.1 Lであるので、多量の摂取である。

また、油症妊婦胎児の特徴的な症状は、発育遅延であることが報告されている。当時の在胎週数別胎児発育曲線からすると、上記の死産児のほか、いずれの出産児も出生時体重が軽かったと報告されている。

その他には、新生児油症と呼ばれる特有の症状を呈したことが報告されている。全例に皮膚と粘膜の暗褐色、黒褐色、灰白褐色の色素沈着が見られている。

新生児期、授乳期には、胎児油症症状の色素沈着は生後3.5ヶ月以内に全例が消失しているが、原因ライスオイルによる免疫抑制作用と考えられる82%の油症児に風邪をひきやすく、気管支炎に罹患しやすいという訴えがされている。また、油症児には、精神、神経発達の遅れは認められていない。さらに、母乳哺育期間中に初めて原因ライスオイルを摂取した症例で、明らかに経母乳油症児と推定される症例が報告されている。

3. 単回摂取による毒性発現の可能性。

PCBなど多環芳香族炭化水素の毒性発現は遅発性である。ダイオキシン類では単回投与半数致死量(LD50)の用量程度では、実験動物マウスにおいて、死に至る日数は4週間程度である。人においても蓄積性の高い化合物の単回摂取による健康への影響は直ちに発現しないと推定される。PCBにおいては冒頭部分において記した暫定的耐容摂取量(人が一生涯にわたって摂取しても健康影響を起ささない量)250 µg/人/日が健康影響から守る基準となる。

4. クジラの PCB 汚染の問題

PCB は脂溶性の化学物質であり脂肪の多い部分に蓄積するため、食物連鎖と共に濃縮され、メチル水銀と同様、食物連鎖の上位の生物に高濃度で蓄積されている。このことから、食物連鎖の上位に位置し、しかも比較的長生きする鯨には蓄積しやすいと考えられる。一方、たん白質と親和性の高いメチル水銀とは蓄積する部位は異なり、PCB は主に鯨の皮の部位に蓄積され、赤肉にはほとんど蓄積されない。これは鯨類は脂肪（油）分を主として皮に蓄え、筋肉の部分に脂肪分が極めて少ないという性質があるからである。それゆえ赤肉の部位は PCB は少なく、検出限界値以下のものもあったが、本皮には赤肉よりも高濃度（数 ppm 単位）の PCB が検出され、ツチクジラ、バンドウイルカ、イシイルカ、コビレゴンドウ、北大西洋ミンククジラ、北大西洋マッコウクジラの鯨類の脂皮に暫定的規制値の 0.5ppm を超える 7.12ppm（ツチクジラ）と 21ppm（ゴンドウイルカ）の PCB が検出されている。南極洋のミンククジラ及び北大西洋ニタリクジラの脂皮では暫定規制値より低かった。筋肉及び臓器中濃度はバンドウイルカ、イシイルカの一部、コビレゴンドウの一部、北大西洋ミンククジラで暫定規制値を超えていたが、ツチクジラ、南極海ミンククジラ、北大西洋ニタリクジラ、北大西洋マッコウクジラでは低かった。従って、クジラの食性、品種、部位による汚染実態を把握し、クジラ多食者のリスク低減への対策が必要である。

分担研究報告書

食品衛生上の問題点の整理
ー水銀に関するリスク評価ー

分担研究者 赤木洋勝
(環境省国立水俣病総合研究センター)

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究）
分担研究報告書

III-2 水銀に関するリスク評価

分担研究者 赤木洋勝 国立水俣病総合研究センター
国際・総合研究部長兼疫学研究部長
協力研究者 坂本峰至 疫学研究部調査室長

要旨

わが国では過去に、不知火海沿岸および阿賀野川流域において2回にわたるメチル水銀による広域な環境汚染が発生し、不幸にも多数の犠牲者、中毒患者を出すなど取り返しのつかない大規模かつ悲惨な被害を経験した。これらの原因は、直接鰓からまたは食物連鎖を通じて魚介類にメチル水銀が濃縮され、これらの魚介類を地域住民が多食することにより発生したものである。水俣病の病像は中枢神経を中心とする神経系が障害されるメチル水銀による中毒性疾患で、主要な臨床症候は四肢末端の感覚障害、小脳性運動失調、求心性視野狭窄、中枢性眼球運動障害、中枢性聴力障害、中枢性平衡機能障害等である。また、母親が妊娠中にメチル水銀の曝露を受けたことにより、脳性小児マヒ様の障害を来す胎児性の水俣病も発生している。食品の中では魚介類の可食部に含まれる水銀の殆んどがメチル水銀（95～100%）の形態で存在し、魚介類及びその加工品が日本人のメチル水銀の主要な曝露源である。メチル水銀曝露の指標として血液中メチル水銀濃度及び毛髪中水銀濃度も良く使用されている。

厚生省は、1973年、内外の研究資料に基づき十分な安全率を見込んで検討した結果、体重50kgの成人の一週間のメチル水銀の暫定的摂取量限度を0.17mgと決め、これを前提とし、魚介類の毎日平均摂食量を108.9gとし、魚肉中メチル水銀濃度を0.3ppm以下とする魚介類の暫定的基準値を定めている。但し、当時のメチル水銀測定技術上の問題を考慮し、実際的な基準は総水銀量で定めることとし、当時の魚介類中水銀中メチル水銀の占める割合を約75%と仮定し、総水銀量として0.4ppmとする魚介類の暫定的基準値を定めている。

クジラ肉中水銀濃度は種、大きさ（年齢）、捕獲地ごとに水銀含有量が異なり、厚生省が定めた暫定基準値を遥かに超えているものが多く、日本で食される対象クジラ毎の肉部のメチル水銀を測定するとともに、実際上の摂取量調査結果を踏まえた上で安全性の評価を行う必要がある。更にクジラ内臓中水銀濃度は種、大きさ（年齢）、捕獲地ごとに水銀含有量が異なるが異常に高い水銀濃度を持つ事例がみられ、クジラ肉以上に安全性上の評価に対する配慮が必要である。特に胎児はメチル水銀曝露に対するリスクが成人よりはるかに高く、魚介類を多食する集団及びメチル水銀汚染の危惧される地域住民では、妊娠可能な年齢にある女性への考慮が最重要項目とされている。平均的な日本人はフェロー諸島の人たちほどにはクジラ肉を食べる量は多くは無いと考えられるがクジラ肉摂食頻度の多い人に対してその回数の低減。妊婦及び小児に対してはクジラ肉の摂食を控えることの勧告が必要と思われる。特に、クジラ内臓の摂食には嚴重な注意が必要である。

本文

わが国では過去に、不知火海沿岸および阿賀野川流域において2回にわたるメチル水銀による広域な環境汚染が発生し、不幸にも多数の犠牲者、中毒患者を出すなど取り返しの

つかない大規模かつ悲惨な被害を経験した。現在までの水俣病認定患者は熊本県、鹿児島県、新潟県を合わせて約3,000人に及んでいる。水俣病は、メチル水銀化合物による中毒性の中樞神経系疾患であり、水俣市や阿賀野川上流にある化学工場のアセトアルデヒド製造工程で副生されたメチル水銀化合物が工場廃水とともに排出され、環境を汚染し、直接鰓からまたは食物連鎖を通じて魚介類にメチル水銀が濃縮され、これらの魚介類を地域住民が多食することにより発生したものであり、環境への配慮を欠いた産業活動がもたらした、わが国における公害問題の原点となっている。水俣病の病像は中枢神経を中心とする神経系が障害されるメチル水銀による中毒性疾患で、主要な臨床症候は四肢末端の感覚障害、小脳性運動失調、求心性視野狭窄、中枢性眼球運動障害、中枢性聴力障害、中枢性平衡機能障害等である。また、母親が妊娠中にメチル水銀の曝露を受けたことにより、脳性小児マヒ様の障害を来す胎児性水俣病も発生し、メチル水銀汚染の恐ろしさを世界に知らしめた。

食品の中では魚介類の可食部に含まれる水銀の殆んどがメチル水銀(95~100%)の形態で存在し、魚介類及びその加工品が日本人のメチル水銀の主要な曝露源である(Swedish Expert group, 1971、IPCS Methylmercury, 1990)無機水銀の腸管吸収率がせいぜい数%であるのに対し有機水銀の殆どを占めるメチル水銀の吸収率は95~100%と高い(IPCS Methylmercury, 1990)。これは、摂取されたメチル水銀がシステインと結合してアミノ酸の輸送系に依存して容易に吸収されるためと考えられている。現在、広大なアマゾン川流域をはじめとする熱帯地域の各地で、金採掘に伴う人為的な無機水銀(金属水銀)汚染が広範に起きており、この無機水銀の環境中での有機化によって生じたメチル水銀が食物連鎖を介して魚類中に高濃度に蓄積し、それらの魚を常食する下流域の住民が高濃度のメチル水銀曝露を受けているという事例も数多く報告されている(Akagi, et. al., 1995、Olaf, et. al. 1997)。

一方、自然界レベルでのメチル水銀でも食物連鎖の頂点にあるマグロ類やクジラ類には高濃度にメチル水銀が蓄積されることが知られている。また、石炭等の化石燃料の大量消費等によって大気中に放出された水銀による汚染が地球規模で拡大し、その一部が地表に雨と共に降下して有機化され、食物連鎖を通じて濃縮されていくという水銀のグローバル・サイクルに関する調査研究が近年注目を集め、例えばアメリカ五大湖では火力発電を中心とした発生源からの大気汚染により魚の水銀濃度が上昇してきていることが観察されている。これらの現象がきっかけとなり、UNEPでは2003年の会議を目標に地球規模の水銀汚染評価が推し進められている。

メチル水銀のヒトへの生体影響を考える場合には、その主たる標的器官が脳であることから、脳中メチル水銀濃度を反映するメチル水銀曝露評価のための生体指標が必要である。血液中に取り込まれたメチル水銀は脳-血管関門を通過して脳内に容易に移行し、さらに血液-脳のメチル水銀濃度比はその曝露レベルに関わらずある一定の値を保つことが動物実験で示されており、血液中メチル水銀濃度は脳中メチル水銀濃度を知るための恰好の生物指標とされる。一方、毛髪中水銀濃度も毛髪形成時の血液中のメチル水銀濃度を反映し、サンプリングの簡便性及び非侵襲性、サンプル保存性の良さ等の理由から、メチル水銀曝露の指標としてよく用いられている。しかし、毛髪中水銀濃度に関しては外部からの汚染やパーマなどの毛髪処理あるいは採取部位等の影響が指摘されている。

メチル水銀の場合、最も感受性の高い成人に最初の神経症状が現れるのは、新潟の場合、毛髪水銀濃度で52 ppm(椿, 1972; 但し、同一試料を再測定した結果は、82.6 ppmであっ

た。)という報告がある。イラクの場合の解析結果、Shahristan ら (1976) は毛髪水銀濃度で 120 ppm から軽度のメチル水銀中毒の兆候が現われるとしている。Bakir ら (1973) は“ホッケーステック”モデルによる解析でメチル水銀の推定体内負荷量と各所見や症状の出現の頻度との量・反応関係から各症状の体内蓄積量の閾値を算出している。それによると、各症状発現の閾値は、異常知覚で約 25 mg、運動失調で約 50 mg、構音障害で約 90 mg、難聴で 180 mg、致死量に関しては 200 mg 以上としている。IPCS クライテリア 101 (1990) はこれらに他の知見も踏まえて、最も感受性の高い成人に最初の神経症状が現れる値 (発症閾値) を種々の指標で表 1. のようにまとめている。

表 1. 人体における発症閾値を示す種々の指標
(最も感受性の高い成人に最初の神経症状が現れる値)

一日平均摂取量	3~7 μ g/kg (ppb)
体内蓄積量	15~30mg (体重 50kg として)
血中総水銀濃度	20~50 μ g/100ml (200 - 500ppb)
毛髪総水銀濃度	50~125 μ g/g (ppm)

出典：「IPCS 環境保健クライテリア No.101 メチル水銀

厚生省は、1973 年、内外の研究資料に基づき十分な安全率を見込んで検討した結果、体重 50kg の成人の一週間のメチル水銀の暫定的摂取量限度を 0.17mg と決め、これを前提とし、魚介類の毎日平均摂食量を 108.9 g (昭和 46 年当時の国民栄養調査による日本人の一日平均の魚介類最大摂食量) とし、魚肉中メチル水銀濃度を 0.3ppm 以下とする魚介類の暫定的基準値を定めている。但し、当時のメチル水銀測定技術上の問題を考慮し、実際的な基準は総水銀量で定めることとし、当時の魚介類中水銀中メチル水銀の占める割合を約 75% と仮定し、総水銀量として 0.4ppm とする魚介類の暫定的基準値を定めている。更に、この総水銀値を超える場合には、メチル水銀量を測定し参考として考慮することとしている。(しかし実際には魚肉中水銀の 95% - 100% がメチル水銀である (田村行弘ら、1977、Huckabee et al., 1979; Grieb et al., 1990; Bloom, 1992))。一方、メチル水銀含有量の高いマグロその他の深海魚類については、その摂取の態様から鑑み、この暫定的規制値の適用対象外とし、これらの多食者に対しては、食生活指導を行うこととなっている。

魚介類の暫定的基準値
(厚生省環境衛生局長通知)

総水銀	メチル水銀
0.4ppm	0.3ppm (水銀として)

この様に、我が国の魚介類中水銀の暫定的基準値は魚肉中水銀の約 75% がメチル水銀であることを前提として定められたものであるため、総水銀含量が高く、メチル水銀の割合が低い食物 (例、クジラの腎臓、肝臓) の場合はその総水銀のみで暫定基準値を超える、超えないの論議は出来ない。また、魚肉以外でもクジラ肉や内臓など総水銀が基準値を超えるものについては、用いる分析法のクロスチェックなどにより信頼性を確認した上でメチル水銀を測定し、科学的に安全性評価を行う必要がある。更に、クジラ肉や内臓を食べることによるメチル水銀の健康影響のリスク評価のためには、少なくともそれらをよく食べる人達が実際にどれだけの量を食べているのかの摂食量調査が不可欠である。

クジラ肉の水銀濃度調査は、1978-1979年に東京、太地、鮎川及び石巻での市販品で田口らによって行われており、平均値でゴンドウクジラ肉では26.2ppm (n=5)、缶詰マッコウクジラ肉では2.4ppm (n=10)が報告されている。2000年における原口らの同様な市販品における調査ではハクジラ製品で2.1ppm (n=19)、ヒゲクジラ製品では0.4ppm以下と報告された。Itano (1984)らによると成熟スジイルカ肉水銀値は15.2ppm (n=26)となっている。

海外でもクジラの水銀値の高さが注目されており、デンマーク領のフェロー諸島におけるフェロー食糧庁は1997年に漁獲されたものから集められたゴンドウクジラ肉の水銀値に関する調査では、クジラの水銀値は種で異なり年齢、性に関連していたと報告している。466匹の鯨の分析は全体で1.90ppmで、雄成獣が2.43ppm、雌成獣が2.13ppm、若いものが1.40ppmであった。最も低い若い群は0.59ppmで、一方、成獣の最も高い群は3.3ppm (メチル水銀1.6ppm)であった。地中海南アドリア海のスジイルカ肉は17.4ppm (n=30)。ゴンドウクジラ肉は北大西洋で3.26ppm (n=15)、マサチューセッツ沖で3.3ppm (n=10)と報告されている。また、クジラ肉中水銀の50-90%がメチル水銀であると報告されている。この様にクジラ肉中水銀濃度は種、大きさ(年齢)、捕獲地ごとに水銀含有量が異なり、厚生省が定めた暫定基準値を遥かに超えているものが多く、日本で食される対象クジラ毎の肉部のメチル水銀を測定するとともに、実際上の摂取量調査結果を踏まえた上で安全性の評価を行う必要がある。

更に重要な点は、血液中のメチル水銀は経胎盤を容易に通過し胎児に能動的に移行して胎児の脳中水銀濃度は母親の約1.5~2倍にも達する。このように、蓄積性が高い上に胎児の脳はメチル水銀を始めとする環境汚染物質に対する感受性が成人よりもはるかに高く、デンマーク領のフェロー諸島 (Budtz-Jørgensen et al., 2000) やニュージーランド (Crum et al., 1998) の疫学調査で胎児期暴露の影響の現れる臨界濃度は母親の毛髪水銀濃度10ppm付近であろうとされている。このように、胎児はメチル水銀曝露に対するリスクが成人よりもはるかに高く、魚介類を多食する集団及びメチル水銀汚染の危惧される地域住民では、妊娠可能な年齢にある女性への考慮が最重要項目とされている。

米国環境保護局は本年、メチル水銀の子供の精神発達への影響調査の結果から、水銀のリスク評価値を見直し、毎日摂取しても一生涯影響のないレベルとして、メチル水銀の許容1日摂取量を0.1 µg/kg体重、毛髪水銀値を1ppmとしている。さらに、妊婦に対しては魚の安全できる摂取量は1日25~50gであると勧告している。

我が国の水俣病の例で見ると、汚染の最も激しかった1955-59 (昭和30-34)年に23名の重度の脳症状を呈する典型的胎児性水俣病患者が発生しているが、その母親達は軽症もしくはまったく無症状であった。日本の水俣では1955 (昭和30)年以後に生まれて、水俣病と認定された患者を胎児性とする、典型例も合わせて50名以上の胎児及び小児性水俣病患者が発生した計算になる。日本における事例で胎児期暴露の影響に関し量・反応関係を求めるのは成人の場合と同様に困難であった。胎児型メチル水銀中毒はイラクでも発生し、84組の児の発育と発達が詳しく調べられた結果、妊娠中の母親の毛髪ピーク水銀濃度が10-20 ppmで、子供の歩行遅滞ないしは中枢神経機能の異常は5%のリスクがある可能性を示唆している (IPCS Methylmercury, 1990)。しかし、イラクでの事例では母親毛髪水銀濃度の発症最低レベル付近の試料数が少ないので閾値や最大無作用量の推定が困難なために低濃度のメチル水銀の影響に対する十分な答えは出ていない。

フェロー諸島 (Grandjean et al., 1997) では、水銀濃度の高いクジラ肉の摂取量が多く胎

児への影響が危惧されたことから、大掛かりな胎児期メチル水銀暴露の児の発達へ及ぼす影響調査が行われている。調査では妊娠中に頻繁に鯨肉や他の魚介類を食べた母親の水銀曝露量（母親の幾何平均毛髪水銀濃度：4.27 ppm）と 917 名の児が 7 歳になった時点にて行われた。その結果、言語、注意力(attention)、記憶、視空間の狭化(a lesser extent in visuospatial)と運動機能の領域においてメチル水銀曝露と関連した機能低下がみられた。この関連性は共変量補正後、母親の毛髪水銀濃度 10ppm（血液中水銀濃度 50nmol/g）以上の子を除外しても残っており、母親の毛髪水銀濃度 10ppm 以下でも影響が現れる可能性を示唆している。一方、クジラではないが、魚介類の摂取量が高く、児への健康影響が危惧されるセイシェル諸島でも Myers ら（1995）の調査対象者を 700 名以上に増やし、新たな調査結果が報告されている(Davidson et al., 1998)。しかしながら、全体として出生前あるいは出生後のメチル水銀曝露指標と有意な関連を示す結果は得られておらず、逆に、いくつかの機能テストではわずかながら良い成績をもたらす結果もみられている。現在、ブラジルや日本で同様の調査が検討されている。

また、クジラは牛肉、豚肉に較べればそれほど一般的な食品ではないが、腎臓や肝臓がボイル内臓として食用に市販されている。これらの臓器に含まれる水銀のうちメチル水銀の占める割合は 10%以下と数字の上では低いが、肝臓中の総水銀値は 2000ppm に近い異常な高濃度を示し、メチル水銀値としても 20ppm に達することが報告されている(Endo et al., 2002)。さらに、日本の太平洋沿岸の成熟スジイルカ肝臓 205ppm (n=18)、地中海のアドリア海スジイルカ肝臓 227ppm (n=30)、北太平洋ニューファンドランド沖ゴンドウクジラ肝臓 105ppm、最近の発表でもスジイルカの肝臓 204ppm（メチル水銀 14.4ppm）の高い例が報告されている。一方、2000 年に行われた JARPN II 調査におけるミンククジラの腎臓 0.65ppm で肝臓 0.46ppm (n=40)、ニタリクジラの腎臓 0.23ppm で肝臓 0.18ppm (n=40)、マッコウクジラの腎臓 3.2ppm で肝臓 42ppm (n=40)と比較的低い値を出しているものもある。このように、内臓中水銀濃度は種、大きさ（年齢）、捕獲地ごとに水銀含有量が異なるが異常に高い水銀濃度を持つ事例がみられる。これら内臓中総水銀に対するメチル水銀の占める割合はクジラの筋肉部位に比べて低いが、メチル水銀値としても厚生省が定めている暫定基準値を遥かに超えている場合があり、クジラ肉以上に安全性上の評価に対する配慮が必要である。

現実にクジラ肉が住民の主要な水銀の曝露源となっているフェロー諸島の政府環境庁では、①ゴンドウクジラの肝臓や腎臓は食べないこと。②成人は月に 1 から 2 食以上ゴンドウクジラ肉を食べないこと。③ 3 ヶ月以内に妊娠を計画している女性、妊婦、授乳中の女性は、ゴンドウクジラ肉を食べることを控えること。とガイドラインで勧告されている。平均的な日本人はフェロー諸島の人たちほどにはクジラ肉を食べる量は多くは無いと考えられるがクジラ肉摂食頻度の多い人に対してその回数の低減。妊婦及び小児に対してはクジラ肉の摂食を控えることの勧告が必要と思われる。特に、クジラ内臓の摂食には厳重な注意が必要である。フェロー諸島の人達ほどではないにしろ日本人はクジラ肉、内臓を食べる食習慣を持ち外国人達以上に食べることを考えると今後とも種類、産地、大きさ別のクジラ肉、内臓の水銀値の調査と共に 10ppm を超えるメチル水銀濃度のクジラが市販されている（遠藤らの調査、国水研で確認）ことも事実であり、クジラ一体ごとのメチル水銀含有量測定も必要であり、さらに、クジラを食べる機会の多い人々が実際に一日平均どれ位の量のクジラ肉や内臓を摂食しているか、またその種類をも含めた摂取量調査もリスク評価上極めて重要であることは言うまでもない。

分担研究報告書

リスクコミュニケーションの検討
－鯨類の摂取実態と流通の現状－

分担研究者 浮島美之
(静岡県環境衛生科学研究所)

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究）
分担研究報告書

Ⅳ リスクコミュニケーションの検討
Ⅳ-1 鯨類の摂食実態と流通の現状

分担研究者 浮島 美之（静岡県環境衛生科学研究所）
研究協力者 加藤 秀弘（独 水産総合研究センター 遠洋水産研究所）

要旨

【背景】鯨類はおよそ4500万年前に陸上哺乳類から分化し、現世鯨類はヒゲクジラ類（亜目）とハクジラ類（亜目）に大別され、最近の分類体系では2亜目15科83種に整理されている。

我が国では食の観点から見れば鯨類は魚類の一部として認識され、有史以前より鯨食文化が認められている。16世紀中頃より組織的な捕鯨が中部地方で発祥し西日本に伝播し、突取り式捕鯨、網取式捕鯨、近代捕鯨を経て、世界に類を見ない鯨食文化が形成されてきた。また、このことは、食料科学の面からも我が国における食料原料の多様性を産みだし、また高蛋白低脂肪の健康食品供給の観点からも、鯨食文化は独自の地位を築いてきた。

【実態と分析】伝統的な鯨多食地域は、年代や対象鯨類がことなるものの、和歌山県太地町、長崎県有川町、下関市ほか西日本に存在し、県単位で見ると、和歌山県、長崎県、高知県、山口県、大阪府、福岡県が伝統的鯨多食域である。一方、千葉県、岩手県、宮城県、北海道には現行漁業（小型捕鯨、いるか漁業）根拠地があり、やはり鯨の多食域を形成している。摂食形態は、対象種や臓器によって異なるが、ヒゲクジラ類は刺身やベーコン、ハクジラ類では煮込みやステーキとして食される。

国際捕鯨委員会(IWC)の管轄する種類は、ヒゲクジラ全10種（学術区分では13種）とハクジラ類のマッコウクジラ及びキタトックリクジラ、計12種である。IWCの決議によって、現在商業捕鯨は停止されている。しかし、我が国は国際捕鯨取締条約八条に基づいて、鯨類捕獲調査を実施し、2001年現在、南極海でクロミンククジラ400頭、北西太平洋でニタリクジラ50頭、ミンククジラ100頭、マッコウクジラ10頭を捕獲している。

我が国にはこのほか、IWC管轄種以外の鯨類を捕獲する小型捕鯨業（農林水産大臣許可漁業）とイルカ漁業（県知事許可漁業）があり、それぞれ中型及び小型のハクジラ類を捕獲している。また、2001年7月よりDNA登録ほかの手続きを行えば、混獲した鯨類の流通が可能になった。

2001年度に我が国で生産された鯨由来食品は、およそ3,500～4,100トン程度と推定され、国民一人あたりに換算した年間摂食量は、わずか28～30gにすぎない。三手法によって求めた在庫市場に流通する鯨類由来製品は、南極海のクロミンククジラが流通の大きな部分を占めており（45.0～51%）、次いで、イシイルカも全体の8～20%に相当する量が市場に出荷されている。鯨類由来食品は我が国の伝統的食料源ではあるが、伝統的鯨食地域でさえ鯨類食品の摂取量は少なく、日常的な畜肉や魚類、さらに穀類と比べれば流通量、摂取量共に比較にならないほどの少ない。また、全国流通は大半が南極産の汚染度の低いヒゲクジラ類であり、その他の生産物はきわめてローカル色の強い食材である。

こうした希少流通（摂取）食品を、日常的食品の基準で取り扱うことは妥当ではなく、また鯨由来食品の危険性が科学的に明らかになっていない状況下で、これまた日常食品と同基準でのプレコーショナルな扱いも妥当とは考えにくい。