

# マグロ類の水銀および セレン含有に関する研究—Ⅲ.\*

キハダ魚体内における水銀分布

浜田盛承・稲益猷二・上田正

On Mercury and Selenium in Tuna Fish Tissues — III.

Mercury Distribution in Yellowfin Tuna

By

Moritsugu HAMADA, Yūji INAMASU, and Tadashi UEDA

Distribution of mercury in the tissues of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, together with different parts of muscle, skin and scale, was investigated. Although this report is concerned primarily with the distribution of total mercury, a short discussion of the levels of methyl mercury is included. The results obtained are summarized as follows:

- 1) Levels of total mercury in muscle among the samples showed significant difference one another in statistical analysis. No difference, however, was found in the levels among different parts of the muscle of a given sample.
- 2) As compared with muscle and the other tissues, levels of total mercury of the former were higher in the generality of cases.
- 3) In hard tissues such as fins, scale and vertebra, levels of total mercury were extremely low.
- 4) The ratio of methyl mercury to total one in muscle was in the range being regarded as nearly 1:1. Hereafter, it is assumed that most of the mercury in the muscle of yellowfin tuna exist in a methylated form.

## 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において、キハダの筋肉、肝臓、胃および胃内容物の総水銀含量を測定し、その含有量と成長度、海域および脂質含量との関係を報告した。

---

\* 水産大学校研究業績 第779号, 1977年1月18日 受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 779.

Received Jan. 18, 1977.

日本水産学会昭和50年度秋季大会(長崎)において発表済。(昭和50年10月11日講演)

今回、キハダについて、組織別、部位別の総水銀含量、一部についてメチル水銀含量を測定し、組織間また部位間の水銀含量の相違について吟味を行なった。得られた結果をここに報告する。

## 2. 実 験

2・1 試料：前報<sup>1)</sup>で述べた海域において漁獲されたキハダの中から、海域別に体重45kg前後（推定年令4才）の魚体を1尾ずつ（計5尾）選び、水銀分析の試料とした。これらの試料魚の漁獲年月日、漁獲位置、尾叉長、体重、性別および各臓器の重量を第1表に示す。

Table 1. Description of samples used.

Sample Item	Yellowfin tuna				
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Fishing date	Jun.10,'73	Aug.10,'73	Sep.19,'73	Nov.25,'73	Nov.10,'73
Fishing area	02°30'S 170°10'W	01°40'S 169°41'W	25°13'S 169°13'E	05°25'N 135°33'E	16°00'S 116°25'E
Fork length (cm)	140.5	139.8	135.0	131.2	127.6
Body weight (kg)	47.0	46.4	43.3	40.8	42.3
Sex	F	F	M	F	F
Weight of organ (g)					
Heart ( with aortic bulb )	148.0	-	93.0	128.0	89.0
Liver	394.0	-	214.0	231.0	340.0
Spleen	29.5	-	47.0	100.0	32.0
Kidney	69.0	-	37.0	-	113.0
Stomach	460.0	450.0	427.0	350.0	350.0
Intestine	47.7	46.4	44.2	63.8	43.6
Pyloric caeca	330.0	-	397.0	475.5	336.0
Brain	10.0	-	27.0	14.0	28.0
Gonad	592.0	-	180.0	442.0	468.0
Gall bladder	11.0	-	5.0	13.5	9.0
Weight of content (g)					
in stomach	140.0	93.0	55.0	30.0	90.0
in intestine	34.3	35.6	51.8	54.7	37.5

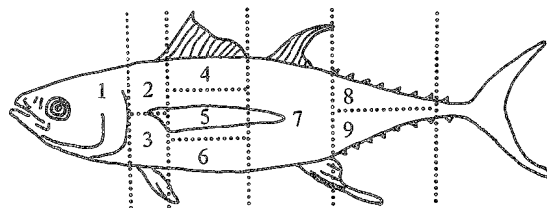


Fig. 1 Portion of the muscle, skin and scale examined.

2・1・1 筋肉：試料魚を解凍した後、第1図に示す9部位からそれぞれ普通肉を、部位5の深部から血合肉を採取した。その際、臄および筋膜などをできるだけ取り除いた。

2・1・2 硬組織：うろこ（部位2, 4, 6および8）、せきつい骨（部位2および8）、ひれおよび鰓について分析を行なった。

2・1・3 臓器およびその他の組織：心臓、動脈球、肝臓、脾臓、腎臓、胃、腸、幽門垂、胆のう、脳、生殖腺、臄（部位8および9）、表皮（部位2, 4, 6および8）を分析に供した。

## 2・2 分析方法

2・2・1 総水銀：既法<sup>2)</sup>によって、湿重量あたりの総水銀含量（以下、T-Hgと略称する）を求めた。ただし、うろこ、ひれ、骨および腸内容物などカルシウムを多量に含有する試料の分解には、硫酸のかわりに過塩素酸を用いた。各試料の分解時間は前報<sup>1)</sup>のとおりである。

2・2・2 メチル水銀：WESTÖÖ改良法<sup>3)</sup>に準拠し、GLC法によって測定した。内部標準物質として、カーニトロベンチルクロライドを用いた。筋肉に加えた塩化メチル水銀の回収率をこの方法で検討した結果、70%であったのでこの値を用いて測定値の補正を行ない、塩化メチル水銀態水銀含量（以下、Me-Hgと略称する）を算出した。

2・2・3 水分：110°Cの恒温加熱減量による常法によった。

## 3. 結果および考察

3・1 水分量：部位別の筋肉の水分量を第2表に、臓器およびその他の組織の水分量を第3表に示す。各試料魚の筋肉水分量は、いずれの部位においても75%前後であり、魚体、筋肉部位による差は認められなかった。肝臓、脾臓、腎臓、心臓、生殖腺、胃および腸の水分量も75%前後であったが、胃内容物、腸内容物および幽門垂では80%前後であった。一方、脳の水分量は55%~65%であった。表皮では大部分が50~60%であったが、最低17.7%、最高70.6%と広範囲に分布した。これは、試料を-20°Cの凍結室に保存したので、凍結中における乾燥状態のバラツキによるものであろう。

Table 2. Moisture content of different parts of muscle examined (%).

Sample Portion	Yellowfin tuna				
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Ordinary muscle					
Part 1	73.6	77.0	75.1	72.2	76.9
2	72.5	73.1	73.4	75.3	75.2
3	72.5	75.1	73.3	74.3	74.1
4	75.0	75.2	77.4	74.4	74.6
5	73.0	74.4	76.3	77.7	75.3
6	73.6	74.6	78.7	72.3	76.9
7	73.4	73.9	76.3	73.6	77.5
8	73.4	75.1	74.0	74.4	73.7
9	73.0	78.1	76.6	71.3	73.2
Dark muscle					
Part 5	78.9	72.9	74.2	80.3	72.4
Mean	73.9	74.9	75.5	74.6	75.0

Table 3. Moisture content of visceral tissues examined (%).

Tissue	Sample	Yellowfin tuna				
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Heart		73.1	73.9	74.0	75.8	70.9
Aortic bulb		75.8	77.0	76.2	77.0	74.1
Liver		73.4	72.0	72.0	72.7	71.2
Spleen		77.6	85.9	74.8	75.5	75.3
Kidney		75.1	79.2	79.9	-	73.8
Brain		-	54.4	63.3	-	64.1
Gonad		71.3	75.7	76.5	74.1	67.6
Stomach		75.8	76.4	78.0	78.6	72.0
Intestine		77.4	76.2	76.4	77.7	74.3
Pyloric caeca		79.0	85.7	79.9	81.1	76.8
Sinew		70.9	63.3	78.5	65.6	69.8
Skin	Part 2	65.7	27.5	45.5	60.8	59.4
	4	50.9	17.7	70.6	51.9	64.3
	6	62.1	31.1	61.4	51.9	67.7
	8	52.5	43.4	52.3	40.3	57.2
Gastric content		92.0	78.0	76.0	-	72.0
Intestinal content		83.1	81.4	86.4	89.6	81.5

Table 4. Mercury level of muscle ( $\mu\text{g/g}$ ).

Tissue	Sample	Yellowfin tuna					Mean
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	
Ordinary muscle							
Part	1	0.16	0.20	0.18	0.29	0.23	0.21
	2	0.17	0.18 (0.23)	0.18 (0.30)	0.27 (0.22)	0.22 (0.22)	0.20 (0.24)
	3	0.14	0.21 (0.19)	0.23	0.24 (0.19)	0.20 (0.22)	0.20 (0.20)
	4	0.18 (0.11)	0.24 (0.21)	0.19 (0.29)	0.24 (0.19)	0.24 (0.23)	0.22 (0.21)
	5	0.17	0.24 (0.24)	0.24 (0.25)	0.25 (0.22)	0.22 (0.23)	0.22 (0.24)
	6	0.17	0.22 (0.24)	0.28 (0.27)	0.28 (0.22)	0.26 (0.23)	0.24 (0.24)
	7	0.14 (0.15)	0.24 (0.25)	0.20 (0.26)	0.21	0.27 (0.24)	0.21 (0.23)
	8	0.13 (0.14)	0.18 (0.24)	0.26 (0.26)	0.28	0.24 (0.26)	0.22 (0.23)
	9	0.20	0.22	0.22	0.28	0.24	0.23
Mean		0.16 (0.13)	0.21 (0.23)	0.22 (0.27)	0.26 (0.21)	0.24 (0.23)	0.22 (0.21)
Dark muscle							
Part	5	0.14 (0.13)	0.23 (0.22)	0.37 (0.34)	0.21 (0.21)	0.25 (0.23)	0.24 (0.23)
Mean		0.16 (0.13)	0.22 (0.23)	0.24 (0.28)	0.26 (0.21)	0.24 (0.23)	
Standard deviation		$\pm 0.02$ ( $\pm 0.02$ )	$\pm 0.02$ ( $\pm 0.02$ )	$\pm 0.06$ ( $\pm 0.03$ )	$\pm 0.03$ ( $\pm 0.01$ )	$\pm 0.02$ ( $\pm 0.01$ )	

Figures in parentheses show methyl mercury, and those without parentheses indicate total mercury.

3・2 筋肉の水銀含量：試料魚5尾の筋肉各10部位のT-HgおよびMe-Hgの測定結果を第4表に示す。筋肉各部位のT-HgおよびMe-Hgの範囲は、試料魚1では0.13~0.20および0.11~0.15 $\mu\text{g/g}$ 、2では0.18~0.24および0.19~0.25 $\mu\text{g/g}$ 、3では0.18~0.28および0.25~0.30 $\mu\text{g/g}$ 、4では0.21~0.29および0.19~0.22 $\mu\text{g/g}$ ならびに5では0.20~0.27および0.22~0.26 $\mu\text{g/g}$ であった。

Table 5. Results of two-way layout variance analysis of total mercury levels of muscle.

Factor	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F <sub>0</sub>
Between individual	0.0535	4	0.0134	11.23**
Between part	0.0084	9	0.0009	0.79
Residual	0.0429	36	0.0012	
Sum	0.1049			

F<sub>0</sub> : estimated value of SNEDECOR'S F. \*\* Significant at 0.01 level.

試料魚5尾の筋肉各10部位のT-Hgについて、試料魚間の差ならびに同一魚体における部位による差を二元配置分散分析法によって検討し、その結果を第5表に示す。この結果から、試料魚間には0.01水準でT-Hgに有意差が認められ、同一魚体内では部位間に有意差は認められなかった。すなわち、体重がほぼ同じであっても筋肉のT-Hgは試料魚間に大きい差があること、および同一魚体内では部位による明らかな差がないことを認めた。

また、試料魚筋肉におけるMe-HgとT-Hgとの比はほぼ1:1であり、筋肉中の水銀はほとんどメチル水銀とみなされた。

3・3 硬組織の水銀含量：ひれ、うろこ、せきつい骨および鰓のT-Hgの測定結果を第6表に示す。試

Table 6. Mercury level of hard tissues such as fins, scale and vertebra ( $\mu\text{g/g}$ ).

Tissue	Sample	Yellowfin tuna				
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
1st dorsal fin		ND	ND	ND	Trace	ND
2nd dorsal fin		ND	ND	0.02	0.02	0.01
Pectoral fin		ND	Trace	0.04	ND	ND
Abdominal fin		ND	ND	-	0.03	Trace
Anal fin		ND	0.01	0.01	0.02	Trace
Caudal fin		-	-	0.03	-	Trace
Scale	Part 2	ND	ND	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND	ND	ND
	6	ND	ND	ND	ND	ND
	8	ND	ND	ND	ND	ND
Vertebra	Part 1	0.01	ND	ND	ND	ND
	2	Trace	ND	ND	ND	ND
	8	Trace	ND	ND	ND	ND
Cartilage		ND	-	-	-	ND
Gill		0.04	ND	ND	0.12	ND

ND : not detected.

料魚4の鰓に比較的高いT-Hgが認められたほかは、すべて低い値であった。人体においては毛髪や爪などの硬組織に水銀の蓄積が著るしいといわれている<sup>4),5)</sup>が、上に述べたようにキハダでは硬組織における水銀蓄積はきわめて少なく、筋肉への蓄積の大きいことが判明した。これらのことは、水銀の蓄積や排泄機構に人と魚とは大きな違いがあることを示唆している。

3・4 臓器およびその他の組織の水銀含量：臓器およびその他の組織のT-Hg、ならびにこれらの一部についてMe-Hgを測定した結果を第7表と第2図に示す。試料魚1では脾臓、肝臓、胃壁、脳および臍

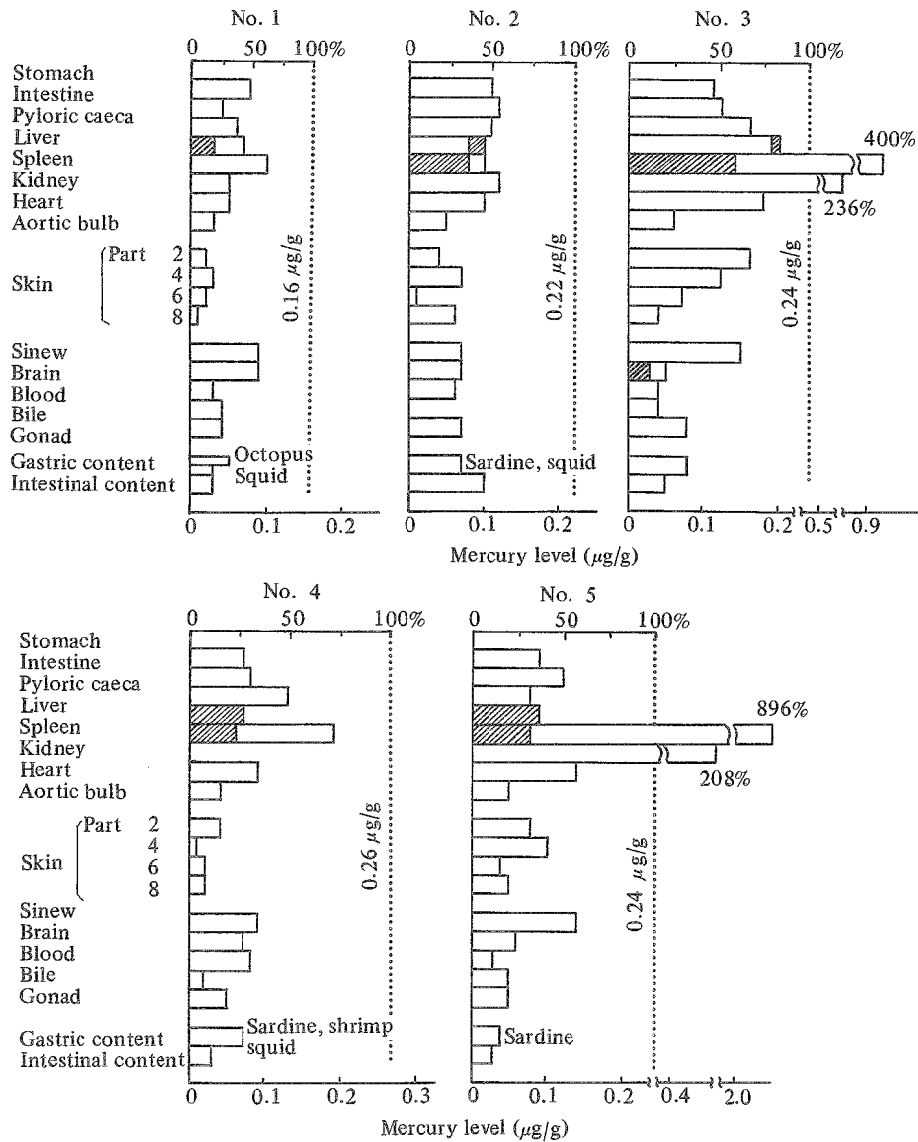


Fig. 2 Mercury level of different tissue examined. White and hatched columns indicate levels of total mercury and methyl one, respectively. The dotted line shows mean level of total mercury of the muscle examined.

の T-Hg が高く、2 では脾臓、腎臓、心臓、肝臓、胃、腸および幽門垂の T-Hg が高かった。また4 では脾臓、心臓、肝臓、胃、腸、幽門垂、脳および腱の T-Hg が高かった。なお、試料魚4 では他試料魚と異なり血液の T-Hg も高かった。しかし、これら試料魚1, 2 および4 の臓器に含まれる T-Hg は、それぞれの試料魚の筋肉に含まれる T-Hg の平均値よりも低い値であった。

Table 7. Mercury level of visceral and other tissues ( $\mu\text{g/g}$ ).

Tissue	Yellowfin tuna				
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Heart	0.05	0.10	0.18	0.09	0.14
Aortic bulb	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05
Liver	0.07 (0.03)	0.08 (0.10)	0.18 (0.20)	0.08 (0.07)	0.09 (0.09)
Spleen	0.10	0.10 (0.08)	0.92 (0.14)	0.19 (0.06)	2.06 (0.08)
Kidney	0.05	0.12	0.53	-	0.48
Brain	0.09	0.07	0.05 (0.03)	0.07	0.06
Gonad	0.04	0.07	0.08	0.05	0.05
Stomach	0.08	0.11	0.11	0.07	0.09
Intestine	0.04	0.12	0.12	0.08	0.12
Pyloric caeca	0.06	0.11	0.16	0.13	0.08
Blood	0.03	0.06	0.04	0.08	0.03
Bile	0.04	-	0.04	0.02	0.05
Sinew	0.09	0.07	0.15	0.09	0.14
Skin	0.02	0.05	0.10	0.02	0.07
Gastric content	0.05	0.07	0.04	0.07	0.04
Intestinal content	0.03	0.10	0.05	0.03	0.03

Figures in parentheses show methyl mercury, and those without parentheses indicate total mercury.

一方、試料魚3 および5 では、脾臓および腎臓に異常に高い T-Hg が認められた。しかも、それらの値はそれぞれの試料魚の筋肉の平均 T-Hg の2~9倍を示した。しかし、Me-Hg はきわめて低く、他の臓器あるいはその他の組織の T-Hg とほぼ同じ値であった。これら2臓器を除けば、他の臓器に含まれる T-Hg は試料魚1, 2 および4 と同様に、筋肉の平均 T-Hg よりも低かった。

前報<sup>1)</sup>において、プリスペーン沖およびロンボク島沖で漁獲されたキハダ若年魚の筋肉、肝臓の T-Hg が異常に高いことを報告したが、今回、それぞれの海域で漁獲された試料魚3 および5 の分析値もそれらとほぼ近似した値を示した。

試料魚3 および5 の脾臓、腎臓の水銀含量が高かった理由については、BÄCKSTRÖM<sup>6)</sup> がカワカマスを用いて水銀の化合物形態、投与方法に関係なく投与後まず腎臓に蓄積され、その後脾臓に蓄積されることを述べ、また、OLSON<sup>7)</sup> が食道を結索したニジマスでは有機および無機態の水銀とも急速に体内に吸収され、特に腎臓に多く蓄積されると述べていることなどから考えると、試料魚3 および5 の漁獲海域の海水の水銀濃度が高いのではないかと推測される。また、これらのことはマグロ類の水銀とり込み経路について1つの示唆を与えているかもしれないが、詳細は今後の検討に待たねばならない。

#### 4. 要 約

中、西部太平洋ならびに東部インド洋で漁獲されたキハダ5尾について、組織別、部位別の総水銀含量、一部についてメチル水銀含量を測定し、組織間および部位間の水銀含量の相違を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 筋肉の総水銀含量は、試料魚間では0.01水準で有意差が認められたが、同一魚体内では筋肉部位間に有意差は認められなかった。
- 2) 臓器およびその他の組織における総水銀含量は、一般にそれぞれの平均筋肉総水銀含量よりも低かった。
- 3) ひれ、うろこ、せきつい骨などの硬組織の総水銀含量は、きわめて低かった。
- 4) 筋肉のメチル水銀含量と総水銀含量との比はほぼ1:1であることから、キハダ筋肉中の水銀はそのほとんどがメチル態であるとみなされた。

本研究は農林水産技術会議特別研究費によって行なった。研究を行なうにあたって、種々の御便宜をはかっていただいた東海区水産研究所生物化学部、平尾秀一郎長を始め部員の方々に深謝の意を表する。

#### 文 献

- 1) 武田道夫・稲益猷二・越川虎吉・上田 正・中野道紀・富田輝雄・浜田盛承, 1976: 本報告, **25**, 47~65.
- 2) 武田道夫・稲益猷二・富田輝雄・浜田盛承・勝浦 洋, 1975: 本報告, **23**, 145~153.
- 3) KAMPS, L.R., and B. McMAHON, 1972: *J. AOAC.*, **55**, 590~595.
- 4) 土井隆雄・清水 誠, 1973: 科学, **43**, 436~442.
- 5) 上田喜一, 1971: 分析化学, **20**, 247~264.
- 6) BÄCKSTRÖM, J., 1969: *Acta Pharmacologica et Toxicologica*, **27**, Supplementum 3, 74~95.
- 7) OLSON, K.R., H.L. BERGMAN, and P.O. FROMM, 1973: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **30**, 1293~1299.