

マグロ類の水銀および セレン含有に関する研究—II*

キハダ筋肉および内臓の総水銀量

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

On Mercury and Selenium Contained in Tuna Fish Tissues—II.
Total Mercury Level in Muscles and Viscera of Yellowfin Tuna

By

Michio TAKEDA, Yūji INAMASU, Torakichi KOSHIKAWA, Tadashi UEDA,
Michinori NAKANO, Teruo TOMIDA, and Moritsugu HAMADA

Total mercury level (T-Hg) and lipid content of 39 yellowfin tunas, *Thunnus albacares*, from the Middle Pacific, the West Pacific, and the East Indian Ocean were determined. The results obtained are summarized as follows.

1. The correlations of T-Hg in dark and abdominal muscles to that in dorsal muscle were significant at 0.01 level and the averages T-Hg in these muscles were almost the same each other (0.21 to 0.25 $\mu\text{g/g}$).

2. If some determinations in which T-Hg were relatively high for a given length are excluded from the statistical evaluation as outliers, the T-Hg in muscles, liver, stomach, and intestine contents increased almost exponentially with a given length, respectively, and the correlations between these T-Hg and fork length were significant at 0.01 or 0.05 level.

3. It is worth noting that all the outliers mentioned in (2) belonged to the samples caught off Brisbane (Australia) or Lombok (Indonesia).

4. The correlations of T-Hg in liver, stomach, and intestine contents to that in dorsal muscle were significant at 0.01 level. The average T-Hg in liver and stomach were about half and the average T-Hg in intestine contents was about 1/4 of that in dorsal muscle, respectively. The T-Hg in liver and stomach, however, were almost the same as that in dorsal muscle of the largest specimen (body weight 65.4 kg, fork length 157 cm) in the samples.

5. The major kinds of food species found in the stomach and their quantitative order were as follows: squid, sardine, horse mackerel, and shrimp. All the T-Hg of food

*水産大学校研究業績 第769号 1976年7月8日 受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 769.

Received July 8, 1976.

日本水産学会昭和49年度秋季大会(京都大学)において発表済.

species were below $0.1 \mu\text{g/g}$, except that a sardine and an octopus of which T-Hg exceed $0.1 \mu\text{g/g}$ were found in the predatory fish caught off Lombok Island.

6. The correlations of total, polar, and nonpolar lipid contents to the T-Hg in dorsal and dark muscles were not significant.

1. 緒 言

従来マグロ類の水銀含有に関する分析結果は主に筋肉を中心として散発的に発表されているが¹⁾、海域との関係、または組織各部についての総合的な検討はあまりなされていない。

そこで、中・西部太平洋および東部印度洋において1973年6月～12月の間、公庁船が釣獲したキハダ *Thunnus albacares* 39尾について、筋肉、肝臓、および消化管の総水銀量を測定し、その含量と成長度、海域および脂質含量との関係を検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2・1 試 料

公庁船5隻（鹿島丸、湘南丸、長芳丸、相模丸、黒潮丸）* が釣獲、凍結運搬したキハダ39尾を分析に供するまで、約 -20°C の冷蔵庫で貯蔵した。なお、試料魚の釣獲海域および生物測定値を第1図と第1表に示した。

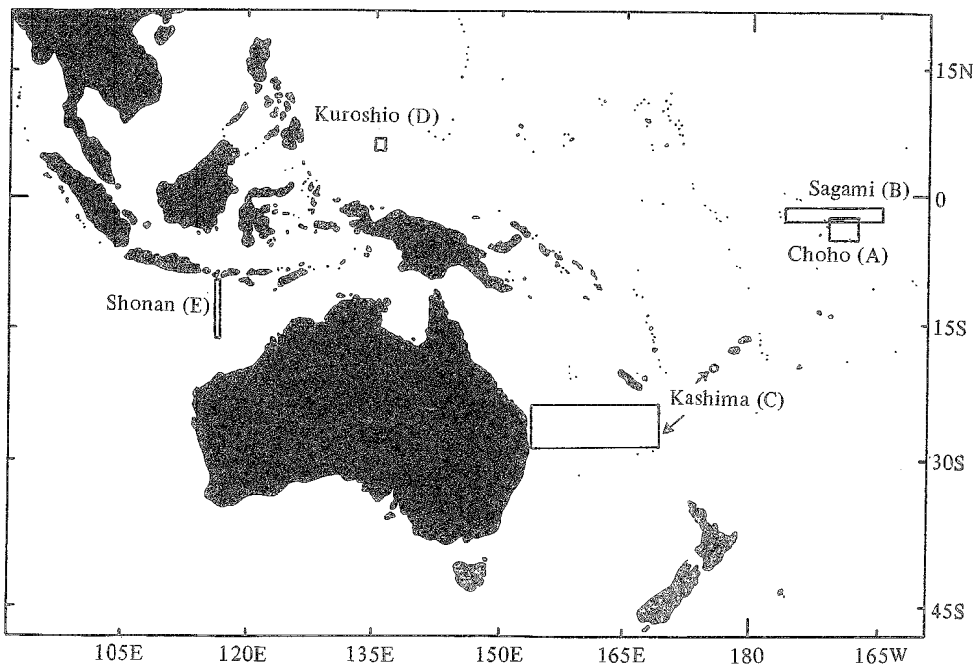


Fig. 1. Fishing area of sample (yellowfin tuna, *Thunnus albacares*).

*所属機関：那珂湊、三崎および山口水産高等学校、神奈川および大分県水産試験場。

Table 1 . The date and location of fishing and size on yellowfin tuna, *Thunnus albacares*.

Designation	Fishing date	Fishing location	Body weight (kg)	Fork length (cm)	Body height (cm)	Body width (cm)	
Chocho (A)	- 1	18, Jul., '73	04°50' S 166°55' W	4.2	56.2	14.4	10.6
	2	" "	04°45' S "	18.4	102.6	22.4	19.0
	3	8, Jul., '73	03°20' S 170°25' W	26.6	112.6	27.2	21.6
	4	13, Jul., '73	04°45' S 167°00' W	11.6	86.8	19.6	14.8
	5	29, Jun., '73	02°10' S 170°03' W	47.7	137.8	32.6	26.4
	6	11, Jul., '73	04°10' S 169°50' W	25.2	114.8	25.2	21.2
	7	26, Jun., '73	02°40' S 168°30' W	65.4	157.0	38.2	28.8
	8	30, Jun., '73	02°30' S 170°10' W	47.4	130.8	30.6	25.8
	9	26, Jun., '73	02°40' S 168°30' W	60.3	144.4	37.0	29.0
Sagami (B)	- 1	7, Aug., '73	02°53' S 164°12' W	30.7	115.4	27.8	23.4
	2	9, Aug., '73	00°49' S 169°14' W	51.9	142.0	33.6	28.2
	3	" "	" "	49.4	144.2	34.0	26.0
	4	10, Sept., '73	01°46' S 169°41' W	46.6	139.8	30.6	26.6
	5	10, Aug., '73	01°46' S 169°41' W	31.2	119.6	29.0	23.4
	6	17, Aug., '73	00°52' S 175°29' W	33.6	124.0	29.0	23.4
Kashima (C)	- 1	12, Sept., '73	17°26' S 176°02' E	25.6	117.5	27.9	22.1
	2	" "	" "	28.8	123.0	28.1	21.6
	3	" "	" "	30.9	119.0	28.6	25.1
	4	15, Sept., '73	23°59' S 169°11' E	43.7	142.0	33.0	25.5
	5	18, Sept., '73	24°47' S 168°22' E	47.0	142.0	32.8	27.2
	6	19, Sept., '73	25°13' S 169°13' E	43.3	135.0	30.2	25.8
	7	18, Oct., '73	28°23' S 153°57' E	6.9	71.0	18.0	13.8
	8	19, Oct., '73	29°05' S 153°57' E	12.2	87.4	22.0	17.2
	9	20, Oct., '73	28°53' S 153°54' E	6.7	73.4	18.0	14.4
Kuroshio (D)	- 1	17, Nov., '73	06°50' N 136°10' E	27.8	115.8	26.6	23.8
	2	21, Nov., '73	05°51' N 136°20' E	49.1	139.4	32.0	26.6
	3	24, Nov., '73	05°34' N 136°10' E	24.3	111.8	25.0	22.6
	4	" "	05°32' N 136°03' E	37.4	128.3	30.4	25.8
	5	25, Nov., '73	05°25' N 135°33' E	40.8	131.2	30.0	25.0
	6	" "	05°25' N 136°33' E	58.4	146.2	36.4	28.8
Shonan (E)	- 1	8, Nov., '73	16°20' S 116°30' E	52.4	136.5	36.0	28.2
	2	" "	" "	53.3	141.4	35.2	28.4
	3	" "	16°10' S 116°35' E	44.8	129.4	31.4	26.6
	4	10, Nov., '73	15°40' S 116°30' E	31.6	121.6	29.0	24.4
	5	" "	16°00' S 116°25' E	42.3	127.6	31.0	25.8
	6	14, Nov., '73	14°30' S 116°20' E	31.1	119.0	29.0	22.4
	7	16, Nov., '73	09°20' S 116°16' E	13.7	86.8	23.0	17.0
	8	" "	" "	12.4	86.0	21.6	16.1
	9	" "	" "	15.1	91.4	24.8	19.2
Mean			35.0	130.9	28.5	25.6	

すなわち、体重65.4~4.2kg、尾又長157~56.2cm、体高38.2~14.4cm、体幅29.0~10.6cmの範囲の試料である。これら試料魚の体重と尾又長との間には強い相関があり、異常な成長度を示すものは含まれていなかった。

第1背びれ後部末端から頭方向へ幅10cmに横断し、皮下1cmより深部の普通肉を「背肉」として採取した。また、この部位の深部血合肉を「血合肉」試料として採取した。背肉採取部位の腹側から表皮および腹腔側皮膜を除いて筋肉を採り、これを「腹肉」試料とした。

胃内容物については、餌料魚の魚種が判明できる場合は査定を行ない、その餌料魚、または全内容物を均質化して水銀分析を行なった。胃内容物を除去した胃は、水で軽く洗浄した後均質化した。腸内容物は、腸から指頭で圧して採出したのち均質化した。肝臓は直接細切し、均質化した。

2・2 総水銀分析法²⁾

前報の五酸化バナジウムを酸化助剤とする方法により、試料を分解し、還元気化原子吸光分光法で総水銀量(以下T-Hgと略す)を定量した。なお、各試料について5回分析を繰返し、その平均値を求めた。背肉

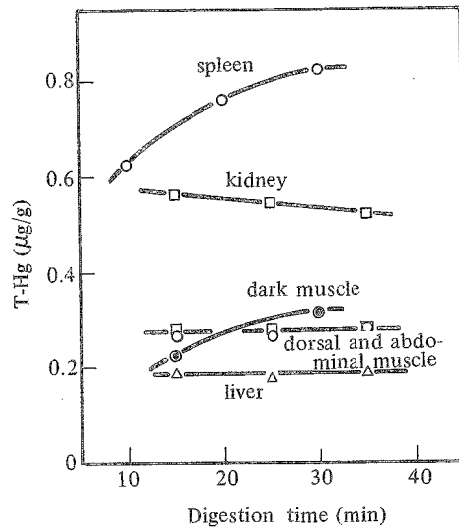


Fig. 2. Effect of digestion time on determinations of T-Hg in tissues of yellowfin.

Table 2. Statistical evaluation of collaborative results for total mercury determination in fish muscle.

	Albacore muscle	Swordfish muscle
No. of analyst	5	5
No. of determination	16	17
Mean Hg found ($\mu\text{g/g}$)	0.52	0.96
Range of Hg found ($\mu\text{g/g}$)	0.49~0.56	0.80~1.09
Repetitious std dev. ($\mu\text{g/g}$)	0.04	0.06
Reproductive std dev. ($\mu\text{g/g}$)	0.05	0.13
Relative std dev. (reproductive)(%)	9.6	13.5
Confidence interval at the 95% probability level($\mu\text{g/g}$)	$0.50 \leq \mu \leq 0.54$	$0.93 \leq \mu \leq 0.99$

の場合には、前報で示したように、15分間の分解を行なったが、各組織についての分解所要時間を検討し、分解時間と検出T-Hgとの関係を求めた。その結果は第2図に示すとおりである。すなわち、背肉、腹肉および肝臓については、15分の加熱で分解が完了するが、血合肉および脾臓の分解には、30分以上の加熱が必要である。一方、腎臓では15分以上加熱すると、逆に水銀の揮散が見られる。

つぎに分析精度を検討するために、同一試料（ビンナガおよびメカジキ背肉）について分析者5人の繰返し測定を行なった。その分析値の統計処理³⁾結果は第2表に示すような精度となった。すなわち、T-Hgの平均値、ビンナガ 0.52、メカジキ 0.96 $\mu\text{g/g}$ に対し、再現性相対標準偏差は、それぞれ、9.6および13.5%となり、測定値はまず信頼できる範囲にある。また、これらの分析は実験開始当初に行なわれたもので、研究の進捗とともに、精度はさらに高くなったと考えられる。

2・3 脂質定量法⁴⁾

FOLCH法により、全脂質を抽出定量した。またケイ酸カラムクロマトグラフィーにより、クロロホルム溶出の中性脂質と、メタノール溶出の極性脂質とに分画し、それぞれの含量を重量百分率で表わした。

2・4 水分定量法

常法の110 $^{\circ}\text{C}$ 恒温法によった。

3. 実験結果および考察

3・1 筋肉中の総水銀量

背肉（39検体）、血合肉（39検体）、および腹肉（17検体）についての分析結果を、それぞれの試料の水分含量とともに第3表に示した。すなわち、T-Hgは、背肉0.48~0.08（平均0.27）、血合肉0.59~0.08（平均0.24）、および腹肉0.40~0.06（平均0.21） $\mu\text{g/g}$ の範囲であった。また、水分については、背肉82.5~73.3（平均75.9）、および血合肉80.3~60.0（平均71.9）%で、血合肉の水分が背肉の値よりやや少なかった。

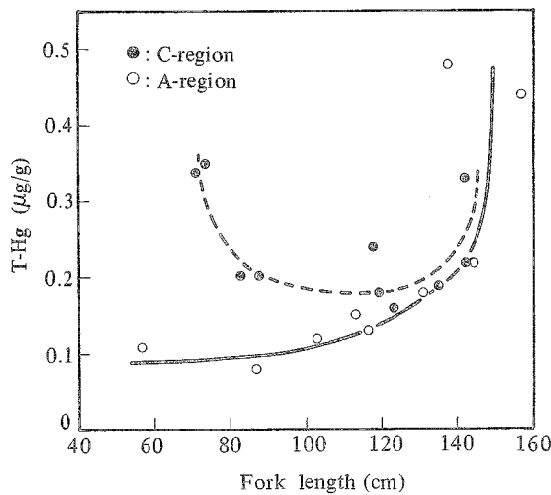


Fig. 3. Comparison between A- and C-region of relation of T-Hg in dorsal muscle to fork length.

Table 3. Total mercury (T-Hg) level ($\mu\text{g/g}$) and moisture content (%) in muscle and viscera of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*.

Designation	Dorsal muscle		Dark muscle		Abdominal muscle		Stomach		
	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	
Choho (A)	- 1	<u>82.5</u>	0.11	72.2	<u>0.08</u>		<u>0.06</u>	73.6	0.05
	- 2	77.4	0.12	73.6	0.12		0.09	73.8	0.05
	- 3	76.9	0.15	73.3	0.12			76.2	0.10
	- 4	78.3	<u>0.08</u>	62.9	0.09		0.12	73.1	0.05
	- 5	76.5	<u>0.48</u>	74.5	<u>0.59</u>			74.5	0.27
	- 6	78.3	0.13	72.1	0.12		0.11	73.1	0.04
	- 7	77.5	0.44	73.2	0.41			74.3	<u>0.45</u>
	- 8	75.0	0.18	78.9	0.14		0.17	76.0	0.08
	- 9	73.6	0.22	72.5	0.23			73.0	0.11
Sagami (B)	- 1	75.0	0.13	71.8	0.12			73.8	0.06
	- 2	75.7	0.33	73.7	0.29			73.0	0.21
	- 3	76.5	0.38	72.0	0.30		<u>0.40</u>	73.6	0.27
	- 4	75.2	0.24	72.9	0.23		0.22	75.0	0.11
	- 5	75.6	0.10	72.0	0.12			73.9	<u>0.04</u>
	- 6	75.7	0.13	70.7	0.14			73.0	0.05
Kashima (C)	- 1	74.6	0.24	69.2	0.36			76.5	0.14
	- 2	76.1	0.16	70.1	0.38			75.6	0.11
	- 3	75.3	0.18	73.3	0.23		0.33	76.0	0.12
	- 4	80.0	0.22	77.4	0.17		0.14	<u>78.0</u>	0.10
	- 5	78.6	0.33	72.8	0.36		0.27		
	- 6	77.4	0.19	74.2	0.37		0.28	<u>78.0</u>	0.11
	- 7	73.6	0.34	67.4	0.37			75.6	0.13
	- 8	73.8	0.20	69.4	0.16			76.4	0.08
	- 9	76.9	0.35	73.2	0.33			75.8	0.12
Kuroshio (D)	- 1	75.0	0.14	70.7	0.11			74.2	0.05
	- 2	77.0	0.31	<u>60.0</u>	0.17			76.4	0.13
	- 3	76.0	0.14	71.6	0.10				
	- 4	75.0	0.12	72.4	0.14			74.2	0.06
	- 5	74.4	0.24	<u>80.3</u>	0.21			77.5	0.07
	- 6	77.9	0.26	75.6	0.26	77.6	0.23		
Shonan (E)	- 1	74.4	0.23	70.4	0.18	67.4	0.18		
	- 2	<u>71.3</u>	0.16	66.8	0.17		0.21	75.8	0.07
	- 3	73.6	0.29	68.3	0.32		0.28		
	- 4	74.7	0.12	71.9	0.17			76.4	0.08
	- 5	74.6	0.24	72.4	0.25		0.26	<u>72.0</u>	0.09
	- 6	74.9	0.22	74.6	0.19		0.18	75.6	0.17
	- 7	75.6	0.46	71.2	0.52			77.0	0.24
	- 8	76.5	0.31	67.2	0.25			76.0	0.21
	- 9	73.3	0.36	69.3	0.40			<u>78.0</u>	0.15
No. of determination	39	39	39	39	2	17	34	34	
Mean	75.9	0.25	71.9	0.24		0.21	75.1	0.12	

Underlined figures are maximum or minimum value in the column.

Table 3 . — (Cont'd)

Designation	Stomach content*		Intestine content		Liver		Spleen		Kidney		
	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	mois- ture	T-Hg	
Choho (A)	- 1	76.4		82.5	0.01	71.4	0.04				
	- 2			94.9	0.00 ₄	73.9	0.04				
	- 3	77.0	0.07	86.0	0.01	74.5	0.06				
	- 4	76.0		88.2	0.02	73.1	0.05				
	- 5	82.2	0.06	85.0	0.11	73.4	0.31				
	- 6	81.6	0.05	90.4	0.06	74.1	0.05				
	- 7	79.6	0.04	82.1	0.20	72.4	0.50				
	- 8	95.0	0.05	83.1	0.03	71.4	0.07	77.6	0.10	75.1	0.05
	- 9	76.6	0.06	82.5	0.15	72.0	0.15				
Sagami (B)	- 1	80.8	0.05	80.4	0.01	72.9	0.07				
	- 2	72.3	0.04	78.9	0.12	73.2	0.22				
	- 3	80.4	0.08	78.0	0.14	73.6	0.36				
	- 4	78.0	0.07	81.4	0.10	72.8	0.08	85.9	0.10	79.2	0.12
	- 5	82.6	0.05	83.0	0.02	70.3	0.06				
	- 6	79.2	0.01	83.0	0.01	72.7	0.07				
Kashima (C)	- 1			80.9	0.01	72.0	0.07				
	- 2			75.9	0.00 ₄	72.6	0.07				
	- 3	73.0	0.08			72.2	0.15				
	- 4			88.9	0.02	73.0	0.18		0.28		
	- 5			88.2	0.07	73.2	0.28				
	- 6	76.0	0.04	86.4	0.05	72.0	0.18	74.8	0.92	79.9	0.53
	- 7	69.0	0.05								
	- 8	75.0	0.04	75.0	0.01	71.5	0.12				
	- 9					74.0	0.18				
Kuroshio (D)	- 1			82.3	0.01	68.0	0.05				
	- 2	74.0	0.02	83.7	0.01	72.0	0.10				
	- 3			75.9	ND	73.2	0.04				
	- 4	75.6	0.12								
	- 5		0.07	83.0	0.03	73.2	0.08	75.5	0.19		
	- 6						0.15		0.66		0.50
Shonan (E)	- 1			83.0	0.03	71.8	0.06		0.82		0.30
	- 2	72.0	0.03			71.8	0.06				
	- 3								0.82		
	- 4			80.1	tr	71.0	0.06				
	- 5	72.0	0.04	81.5	0.03	71.2	0.09	75.3	2.06	73.8	0.48
	- 6	77.6	0.17	80.7	0.03	73.8	0.09		0.48		
	- 7	75.0	0.04	77.2	0.10	72.4	0.32				
	- 8		0.13	75.8	0.03	73.0	0.15				
	- 9		0.04	77.8	0.04	70.6	0.14				
No. of determination	24	25	32	32	35	36	5	10	4	6	
Mean	77.4	0.06	82.4	0.05	72.5	0.13	77.8	0.64	77.0	0.33	

*: The details are indicated in Table 6.

背肉中のT-Hgと試料魚の成長度(尾叉長)との関係は海域により2つのパターンに分かれ、その代表的な例として、長芳(A)および鹿島(C)グループの関係を第3図に示した。すなわち、Aグループでは、尾叉長の増大とともにT-Hgも高くなり、特に130cm以上のものにおけるT-Hgの増加率が大きい。FORRESTERら⁵⁾はツノザメの体長とその筋肉中の水銀レベルとの関係は、指数関数として表わされることを報告している。また、一般に外洋性魚類の水銀蓄積は成長に伴い増加するものと考えられている⁶⁾。魚の成長速度が早い間は、水銀蓄積はあまり大きくならないが、成長速度が遅くなると水銀レベルが増大するものと考えられる。これに対し、Cグループでは尾叉長が100cm以下のものでも、120cm以上のもののT-Hgと同じか、またはそれ以上の値を示している。

キハダでは2~3才で成熟に達し、その時期の尾叉長は92~119cmであるといわれる⁷⁾。また、それまでは主として陸地や島嶼に近接した水域を生活領域とし、あまり大きな回遊を行わないので、延縄漁業の対象になり難いといわれる⁸⁾。

以上のことから、Aグループの尾叉長とT-Hgとの関係は正常であり、Cグループのそれは異常なものと推測することができる。そこで、Aグループと同じようなパターンを示した相模(B)および黒潮(D)にAグループを加えた3つの海域における試料を正常型とし、この中で尾叉長110cm以下の3尾(A-1, 2, 4)に関するデータを除き、尾叉長(対数値)と背肉のT-Hg(対数値)との間の回帰式を求め、その式の $\alpha=0.01$ における有意性を検討し、また、得られた回帰式の棄却帯を計算した。一方、EグループもCと同じようなパターンを示したので、この2つのグループを異常型として、先に計算より除いたA-1, 2および4をこれに加えて、正常型の棄却帯に対して如何なる関係にあるかをしらべた。その結果は第4図に示すようであ

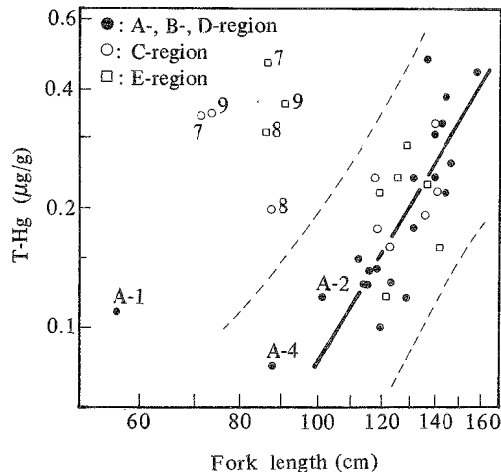


Fig. 4. Relation of T-Hg in dorsal muscle to length.

Solid line is regression line for the samples larger than 110 cm in length in A, B, and D-regions and broken line indicate rejection zone at 0.01 level of significance.

る。すなわち、C-7, 8, 9, E-7, 8, および9がこの棄却帯より高い水銀レベルに分布した。なお、A-1も外側にあるものと考えられるが、この試料は尾叉長56cmで、試料魚中最小のものであり、A-2および4とほぼ同じ水銀レベルにあるものと考えたほうがよいのではないかと思う。

さらに、背肉のT-Hgと尾叉長との間の相関に関する計算結果を第4表に示した。すなわち、全試料(39尾)については相関係数 r_0 は0.15で相関は認められないが、前記のC-7, 8, 9, E-7, 8, および9の6尾に関する値を除くと $r_0=0.65(> r(31, 0.01))$ となり、有意水準0.01で相関が認められる。

血合肉のT-Hgと尾叉長との関係も、背肉の場合と同じような計算をした結果を第5図および第4表に示

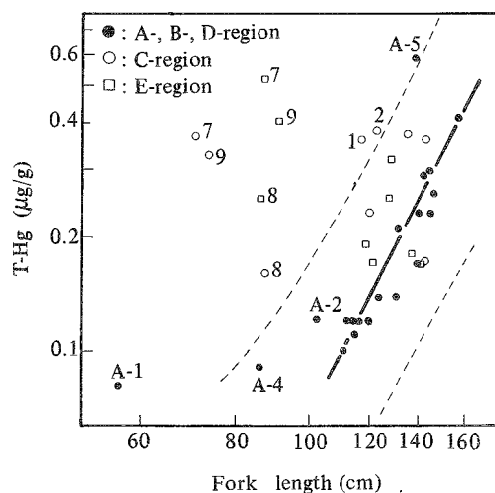


Fig. 5. Relation of T-Hg in dark muscle to fork length.

Legend is identical to that in Fig. 4.

Table 4. Correlation of T-Hg (y , $\mu\text{g/g}$) in some tissues to fork length (x , cm).

Regression equation: $\log y = a \cdot \log x + b$

Tissue	a	b	r	n	Inapplicable sample to statistical analysis
Dorsal muscle	-1.299	2.999	0.15	39	
" "	-3.992	1.565	0.65**	33	C-7, 8, 9, E-7, 8, 9
Dark muscle	-1.510	0.402	0.18	39	
" "	-4.365	1.735	0.68**	31	C-1, 2, 7, 8, 9, E-7, 8, 9
Abdominal muscle	-4.000	1.569	0.76**	17*	
Liver	-1.980	4.665	0.16	36	
"	-5.789	2.274	0.63**	31	C-8, 9, E-7, 8, 9
Stomach	-2.009	0.494	0.20	34	
"	-4.285	1.563	0.52**	29	C-7, 9, E-7, 8, 9
Intestine content	-5.831	2.021	0.32	32	
" "	-8.222	3.144	0.46*	29	E-7, 8, 9

Note :

r : Correlation coefficient ; n , number of determination.

* : Significant at 0.05 level ; ** , significant at 0.01 level.

※ : The data of C-7, 8, 9, E-7, 8, and 9 are lacking.

した。すなわち、この場合も背肉の場合と同じように、C-7, 8, 9, E-7, 8, 9およびA-1の水銀レベルは、棄却帯より高い位置に分布し、これら以外にもC-1, 2, およびA-5がやや高い位置に分布した。また、血合肉のT-Hgと尾叉長との間の相関は全試料については $r_0=0.18$ であったが、C-1, 2, 7, 8, 9, E-7, 8, および9を除くと $r_0=0.68$ ($> r(29, 0.01)$)となり相関が認められた。

腹肉のT-Hgについては、分析数が17検体であるので、棄却帯については計算しなかったが、第4表に示したように、尾叉長との相関係数は分析した全試料に対して $r_0=0.76$ ($> r(15, 0.01)$)と相関が認められた。(しかし、このデータには異常型グループの中のC-7, 8, 9, E-7, 8, および9に関する分析値が欠けている)。

前記の異常型グループの中で、棄却帯より著しく高い水銀レベルを示したC-7, 8, および9はオーストラリア・プリズペーン沖、またE-7, 8, および9はインドネシア・ロンボック島沖で釣獲されたもので、いずれもそのグループの中で最も陸地に近い海域に生息していた幼魚であった。

つぎに各筋肉のT-Hg間の関係について検討した。すなわち、背肉のT-Hgと血合肉のそれとの間の関係は第6図および第5表に示したようである。すなわち、両者の間には全分析値について $r_0=0.84$ ($> r(37,$

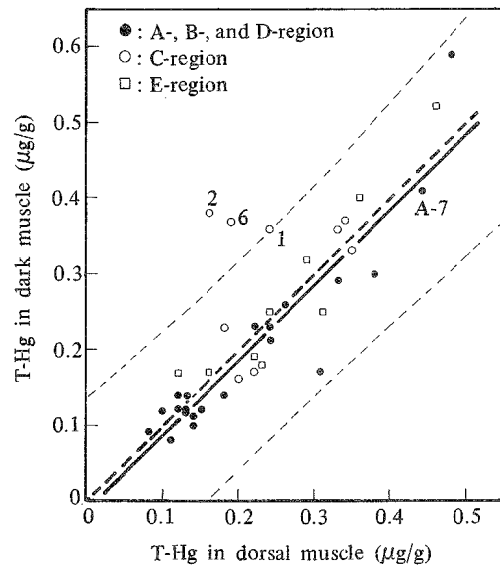


Fig. 6. Relation between T-Hg in dark muscle and those in dorsal muscle.

Average of T-Hg is 0.24 in dark muscle and 0.25 $\mu\text{g/g}$ in dorsal muscle. —: Regression line for samples in A-, B-, and D-regions; ---, rejection zone at 0.01 level of significance; ···, the line, $y = x$.

0.01))の強い相関が認められた。この関係の回帰式 $y = ax + b$ を直線 $y = x$ に対してt-検定を行なった結果、第5表に示したように、 $\alpha=0.01$ で有意差が認められなかった。しかし、第6図に正常型グループの回帰直線を実線で、この回帰式の棄却帯を破線で示してあるが、C-2および6はこれより高いレベルに位置し、血合肉のほうが背肉より異常に高いレベルにある。

Table 5 . Correlation of T-Hg ($y, \mu\text{g/g}$) in some tissues to those ($x, \mu\text{g/g}$) in dorsal muscle.
Regression equation : $y = a.x + b$

Tissue	Regions	a	b	r	n	t_a	t_b	F_e
Dark muscle	A,B,D	0.985	-0.013	0.86**	21	-0.160	-1.555	1.222
" "	A ~ E	0.976	0.009	0.84**	39	-0.137	0.572	0.173
Abdominal muscle	A,B,D	1.049	-0.022	0.93**	8	0.418	-1.139	0.736
" "	A ~ E	0.874	0.025	0.86**	17	-0.673	-0.122	0.234
Liver	A,B,D	0.942	-0.075	0.78**	20	-0.488	-6.439**	20.85**
" "	A ~ E	0.832	-0.060	0.84**	36	-1.782	-9.952**	51.11**
Stomach	A,B,D	0.803	-0.052	0.81**	19	-2.075	-8.369**	37.09**
" "	A ~ E	0.658	-0.026	0.84**	32	-4.354**	-11.85**	79.65**
Intestine content	A,B,D	0.391	-0.028	0.59**	19	-7.663**	-16.98**	173.4**
" "	A ~ E	0.316	-0.026	0.68**	30	-10.52**	-26.53**	407.3**

Note : r : Correlation coefficient; n , number of determination; t_a , Student t for testing whether $a=1$ or not; t_b , Student t for testing whether $b=0$ or not, F_e , F -value to see if estimated equation is within the variation of the equation $y = x$.

** : Significant at 0.01 level.

腹肉のT-Hgと背肉のそれとの関係も、第7図および第5表に示したように、ほぼ同じ水銀レベルにあるものと考えられる。すなわち、両者間の相関は $r_o = 0.86 (> r(15, 0.01))$ であり、回帰式も有意水準0.01で $y = x$ とみなせる。しかし、C-3は正常型グループの棄却帯より高い水銀レベルに位置した。

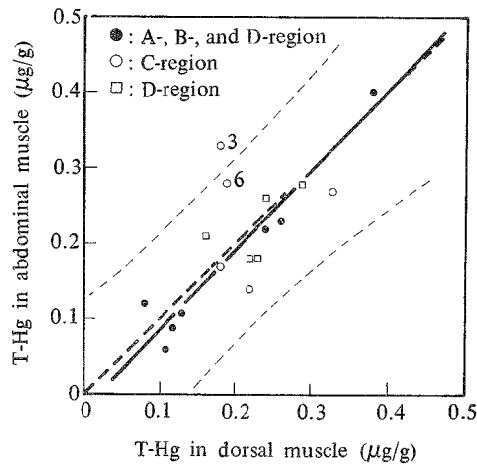


Fig. 7. Relation between T-Hg in abdominal muscle and those in dorsal muscle.

Averages of T-Hg in abdominal and dorsal muscle are equal, being $0.21 \mu\text{g/g}$. Legend is identical to that in Fig. 6.

このように、背肉のT-Hgと他の筋肉のそれとの関係においても、正常型グループの棄却帯に対して、異常型のCグループ中の試料のみが高い水銀レベルに分布するのは単に偶然の結果だけではなく、キハダの生息海域の水銀の環境的要因およびその水銀の蓄積経路となんらかの関係があるのかもしれないが、今後の究明に待ちたい。

3・2 肝臓中の総水銀量

肝臓中のT-Hgの分析結果を、その水分とともに第3表に示した。すなわち、水銀レベルは0.50～0.04(平均0.13) $\mu\text{g/g}$ で筋肉中の値の約1/2であり、水分は74.5～68.0(平均72.5)%の範囲であった。尾叉長と肝臓のT-Hgとの間に、筋肉の場合と同じような統計処理をした結果を第8図および第4表に

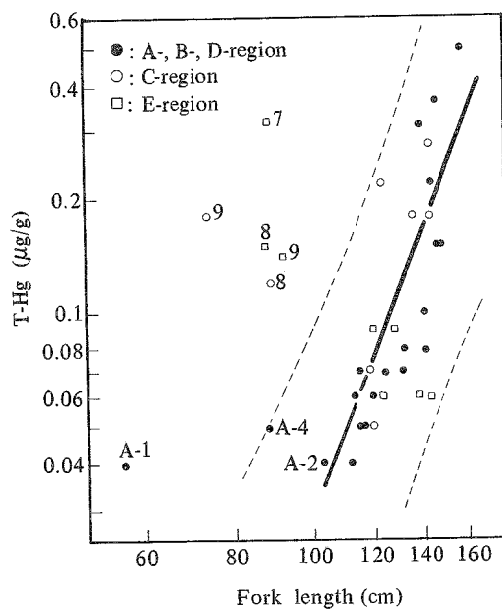


Fig. 8. Relation of T-Hg in liver to fork length.
Legend is identical to that in Fig. 4.

示した。すなわち、正常型グループの有意水準0.01における棄却帯に対して、A-1, C-8, 9, E-7, 8, および9が高い水銀レベルの位置に分布し、全分析値(36検体)に対する尾叉長とT-Hgとの相関は $r_0=0.16$ であるが、上記のC-8, 9, E-7, 8, および9の値を除くと、 $r_0=0.63$ [$> r(29, 0.01)$]となり相関が認められる。

肝臓のT-Hgと背肉のそれとの間の相関を、筋肉間のそれと同じように統計処理して、第9図および第5表にその結果を示した。すなわち、両者の間には全分析値について $r_0=0.84$ [$> r(34, 0.01)$]の相関が認められ、また、正常型グループの棄却帯内に全分析値が分布していた。ただし、回帰式については有意水準0.01で $a=1$ は認められるが、 $b \neq 0$ のため $y=x$ とは認められず、また、A-7の1例を除いて、すべて

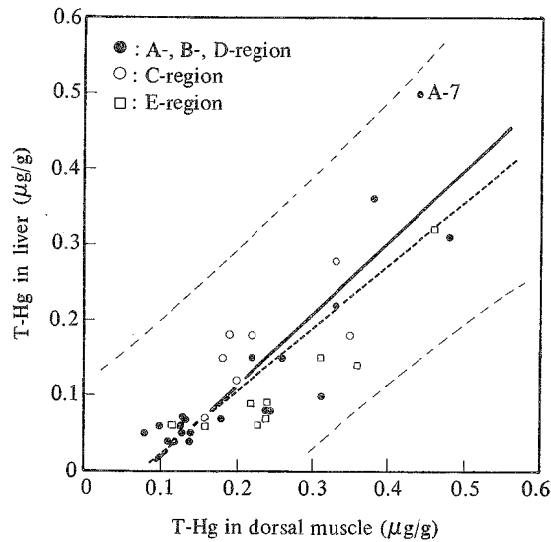


Fig. 9. Relation between T-Hg in liver and those in dorsal muscle.

Averages of T-Hg in liver and dorsal muscle are 0.13 and 0.23 $\mu\text{g/g}$, respectively. —: Regression line for the samples in A-, B-, D-regions; ---, rejection zone at 0.01 level of significance.; ···, regression line for all samples.

背肉のT-Hgより肝臓の値のほうが小さい。すなわち、肝臓の水銀レベルは、筋肉のその増加に伴い高くなる傾向を持つと考えることができる。

3・3 胃および胃内容物中の総水銀量

胃および胃内容物のT-Hg分析値を水分とともに第3表に示した。すなわち、胃のT-Hgは0.45～0.04 (平均0.12) $\mu\text{g/g}$ で、筋肉中の値の約1/2に相当し、胃内容物では0.17～0.01 (平均0.06) $\mu\text{g/g}$ でさらに低く、筋肉中の値の約1/4に相当する。水分は胃78.0～72.0 (平均75.1) %, 胃内容物82.6～69.0 (平均77.4) %であった。

胃の水銀レベルと尾叉長との間に筋肉の場合と同じような計算をし、その結果を第10図および第4表に示した。すなわち、正常型グループに基づく棄却帯 ($\alpha=0.01$) に対して、筋肉の場合と同じようにA-1, C-7, 8, 9, E-7, 8, および9が高い水銀レベルに分布した。胃のT-Hgの全分析値(34検体)と尾叉長との間の相関は、 $r_0=0.20$ で相関が認められないが、上記のC-7, 8, 9, E-7, 8, および9の値を除くと $r_0=0.52$ ($> r(27, 0.01)$) となり、相関が認められる。

胃のT-Hgと背肉のそれとの間の相関は、第5表に示したように $r_0=0.84$ ($> r(32, 0.01)$) で強い相関が認められ、また、第11図に示したように、全分析値は正常型グループの棄却帯 ($\alpha=0.01$) 内に分布している。筋肉の場合と同じように、この回帰式に対してt-検定を行ない、その結果を第5表に示した。すなわち、正常型グループに対してのみ $a=1$ と認められるが、 $b=0$ および $y=x$ の関係は正常型グループおよ

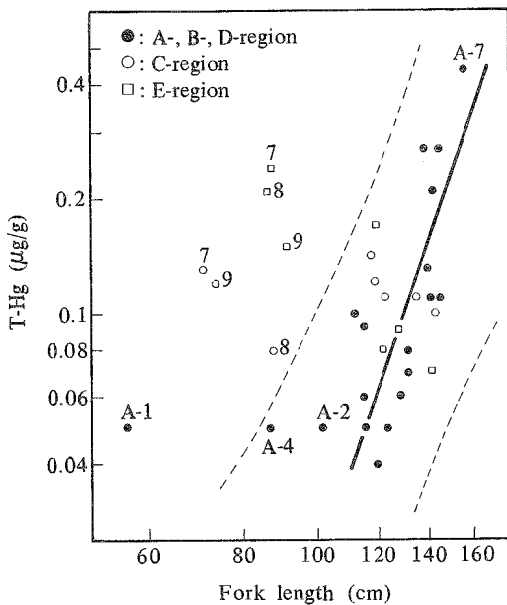


Fig. 10. Relation of T-Hg in stomach to fork length.

Legend is identical to that in Fig. 4.

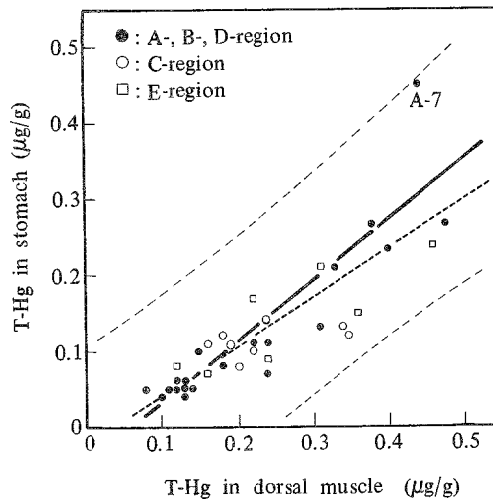


Fig. 11. Relation between T-Hg in stomach and those in dorsal muscle.

Averages of T-Hg in stomach and dorsal muscle are 0.12 and 0.22 $\mu\text{g/g}$, respectively. Legend is identical to that in Fig. 9.

び全分析値、いずれに対しても認められなかった。また、A-7の1例のみ、背肉の水銀レベルより高い値を示し、他は背肉のそれの約1/2である。この例外となったA-7の試料は、肝臓の場合にも背肉より高いT-Hgを示したただ1つの例である。A-7試料魚は、今回の試料39尾の中で最大（体重65.4kg、尾叉長157cm）のもので、背肉中のT-Hg 0.44 $\mu\text{g/g}$ は3番目に高い値である。これらのことから、キハダの水銀蓄積に関して、つぎのように推察ができる。すなわち、キハダ筋肉の水銀蓄積量にはある飽和レベルがあり、生育年数がたち、そのレベルに達した後は、他の組織中の水銀濃度を高めるような蓄積機構の存在である。このことについては、さらに今後の解明に待ちたい。

胃内容物の魚種の判定ができたものについて、その種類、体長、尾数およびT-Hgを第6表に示した。すなわち、餌料魚として、イカ、イワシ、アジ（オキアジを含む）、エビ（アミを含む）の順に多く、このほかにカニ、サバ、マンボウ、フグ、カワハギ、タコ等が認められた。また、異物として段ボール箱止め金具、プラスチックフィルムがそれぞれ2検体に認められ、環境汚染の拡りを示している。個々の餌料魚のT-Hgで高い値を示したものは、イワシ0.17および0.12、タコ0.13 $\mu\text{g/g}$ があり、他はみな0.1 $\mu\text{g/g}$ 以下のレベルであった。前記の高いT-Hgを示したイワシおよびタコが、ジャワ沖のキハダの中で見出されていることは注目すべきである。

Table 6. Stomach content and their T-Hg level.

Designatin	Size (cm) and number*					T-Hg level		
	squid	sardine	shrimp	horse mackerel	miscellanea	specimens	T-Hg ($\mu\text{g/g}$)	
Choho (A)	-1	5×?	?×?			—	—	
	2				(empty)	—	—	
	3	10to15×?			(metalic staple for carton box)	mixture	0.07	
	4	15×?				—	—	
	5				(obscure)	mixture	0.06	
	6	16×?			(metalic staple)	mixture	0.05	
	7	10to13×?	10×?		3×?	—	—	
	8	5×?	?×?			squid	0.03	
Sagami (B)	9	5to15×?			octopus (5 to 15×2) mackerel (15×4)	octopus mixture	0.05 0.06	
	-1	5×?		2×5		mixture	0.05	
	2	8to11×?	?×?		mackerel (5×?)	mixture	0.04	
	3	8×?			?×?	mixture	0.08	
	4	?×1	25×1		sunfish (?×2)	sunfish	0.07	
	5			?×2		mixture	0.05	
Kashima (C)	6				3×?	mixture	0.01	
	-1				(empty)	—	—	
	2				(empty)	—	—	
	3	?×3	25×1 ?×2		20×1	sunfish (?×1)	horse mackerel	0.08
	4	?×?				(plastic film)	—	—
	6					(obscure)	mixture	0.04
	7		15×?			sardine	0.05	
	8				13×2	horse mackerel	0.04	
	9			?×?		crab	—	—
Kuroshio (D)	-1		?×?			—	—	
	2	?×2	25×3			sardine	0.02	
	4	3×11	15×1			sardine	0.12	
	5	?×1	?×1			sardine	0.07	
Shonan (E)	-2	?+1	25×2	?×1	13to20 ×4 2to3 ×15	sardin horse mackerel	0.03 0.02	
	4				(plastic film)	—	—	
	5		22×1			sardine	0.04	
	6	?×1				spuid	0.03	
	7	?×1				sardine	0.17	
	8	?×1				mackerel (25×1)	mackerel	0.04
8	?×?		?×1	?×1	octopus	octopus	0.13	
9		?×3	?×?		filefish	mixture	0.04	
Rate of appearance** (%)	58.8	44.1	17.6	26.5				

* Illustration on size and number : 5×2 refer to 2 preys whose size are 5 cm.

** Ratio of number of predator on each food species to all specimens (34).

3・4 腸内容物の総水銀量

腸内容物の水銀レベルは水分の値とともに第3表に示した。すなわち、T-Hgは0.20~0.01 (平均0.05) $\mu\text{g/g}$ で、水分は94.9~75.0 (平均82.4)%であった。このT-Hgは胃内容物の値とほとんど同じであるが、水分はやや多い。

腸内容物のT-Hgと尾叉長との関係について統計処理した結果を、第4表および第12図に示した。すなわち、正常グループの棄却帯 ($\alpha=0.01$) に対し、E-7のみが高い水銀レベルに位置し、他は全部棄却帯内に分布している。また、全分析値 (32検体) に対する関係は、 $r_o=0.32$ で相関が認められないが、E-7, 8, および9の値を除くと $r_o=0.46$ [$> r(27, 0.05)$]の相関が認められる。腸内容物のT-Hgと尾叉長との間に相関が認められることについては、つぎの推察ができる。

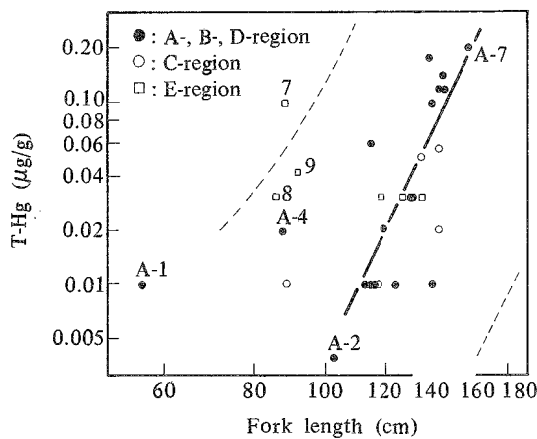


Fig. 12. Relation of T-Hg in intestine content to fork length.

Legend is identical to that in Fig. 4.

すなわち、胃および肝臓のT-Hgは、その尾叉長と相関があり、しかもその水銀レベルは、胃および腸それぞれの内容物の値の約2倍高い。腸壁のT-Hgは測定していないが、その水銀レベルについても、胃および肝臓のそれらと大体同じ程度の値を持つことが推測できる。そこで、腸内容物の試料採取の際に、腸組織が混入したため、尾叉長と腸内容物のT-Hgとの間に相関が認められたのかもしれない。あるいは、餌料魚のT-Hgは、捕食キハダ内臓中のその約1/2以下であり、捕食魚の消化分泌液中の水銀レベルは、他の内臓組織のそれと強い相関関係にあると考えられるので、その分泌液のT-Hgが、腸内容物のみかけの水銀レベルに強く影響していることも考えられるが、詳細は今後の究明に待ちたい。

腸内容物のT-Hgと背肉のそれとの間の相関は、第5表および第13図に示した。すなわち、この両者の間には $r_o=0.68$ [$> r(28, 0.01)$]の相関が認められ、腸内容物のT-Hgの平均は0.05 $\mu\text{g/g}$ で、対応する背肉のその平均0.23 $\mu\text{g/g}$ の約1/4に相当する。この場合も試料中の最高値を示したのはA-7の0.20 $\mu\text{g/g}$ であったが、背肉中の値の約1/2である。正常型グループの棄却帯 ($\alpha=0.01$) 内に全試料の分析値は分散した。

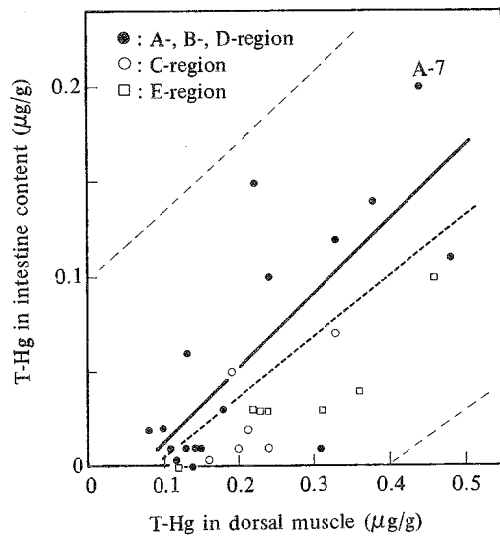


Fig. 13. Relation between T-Hg in intestine content and those in dorsal muscle.

Averages of T-Hg in intestine content and dorsal muscle are 0.05 and 0.23 $\mu\text{g/g}$, respectively. Legend is identical that in Fig. 9.

3・5 脾臓および腎臓の総水銀量

脾臓および腎臓のT-Hgを水分とともに第3表に示した。すなわち、脾臓では2.06~0.10(平均0.64) $\mu\text{g/g}$ 、腎臓では0.53~0.05(平均0.33) $\mu\text{g/g}$ であった。これらの平均値は、それぞれ対応する試料の背肉の平均値0.23および0.22 $\mu\text{g/g}$ よりも高いレベルである。とくにE-5の脾臓のT-Hgは2.06 $\mu\text{g/g}$ で、筋肉中の値に比較して1桁高い値が注目される。

3・6 筋肉の脂質含量と総水銀量との関係

中部太平洋の試料魚についてのみの分析結果であるが、筋肉中の全脂質量、中性および極性脂質量を第7表に示した。すなわち、全脂質量は背肉では0.98~0.48(平均0.63)、血合肉では4.78~2.36(平均3.17) $\text{g}/100\text{g}$ で、血合肉は約5倍近く含んでいる。極性脂質については、背肉では0.58~0.31(平均0.45)、血合肉では1.91~1.25(平均1.63) $\text{g}/100\text{g}$ で、血合肉中には約3.5倍高く含まれている。また、中性脂質については、背肉で0.53~0.004(平均0.21)、血合肉で1.93~0.36(平均1.04) $\text{g}/100\text{g}$ であり、これも血合肉が8.6倍高い含量を示した。試料魚の体重、全脂質量およびT-Hgの間の関係を第14図に示した。すなわち、背肉および血合肉のいずれの場合も、脂質量とT-Hgの間には関係がなかった。また、海域の影響についても不明である。

Table 7. Lipid content of muscles.

Designation	Lipid content (g/100 g muscle)						
	Dorsal muscle			Dark muscle			
	Total lipid	Polar lipid	Non-polar lipid	Total lipid	Polar lipid	Non-polar lipid	
Choho - (A)	1	0.70	0.58	0.08	2.96	1.62	0.99
	2	0.56	0.50	0.02	2.81	1.47	0.93
	3	0.48	0.41	0.07	2.65	1.58	0.81
	4	0.57	0.51	0.00 ₄	3.00	1.66	0.78
	5	0.49	0.37	0.12	3.33	1.91	0.84
	6	0.50	0.43	0.04	2.39	1.59	0.59
	7	0.70	0.47	0.16	3.78	1.89	1.17
	9	0.98	0.41	0.53	2.77	1.25	1.15
	Sagami- (B)	1	0.74	0.31	0.11	4.78	1.59
2		0.51	0.42	0.06	2.36	1.35	0.36
3		0.69	0.49	0.18	3.32	1.63	1.45
5		0.61	0.49	0.06	2.96	1.88	0.61
6		0.68	0.51	0.17	4.10	1.73	0.93
Mean		0.63	0.45	0.12	3.17	1.63	1.04

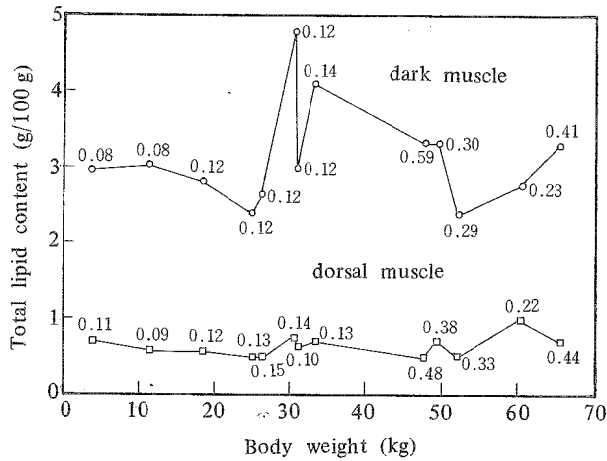


Fig. 14. Relation of total lipid content in muscle to body weight and T-Hg.
Figures on plot are T-Hg ($\mu\text{g/g}$) in muscle.

4. 要 約

中部・西部太平洋および東部印度洋において釣獲したキハダ *Thunnus albacares*, 39尾の筋肉および内臓の総水銀量を分析して、つぎのような結果を得た。

1. 背肉の T-Hg と血合肉または腹肉中のそれとの間には、いずれも強い相関があり、回帰式を t -検定した結果、三者とも、ほぼ同じ水銀レベル ($\alpha=0.01$) と考えられる。
2. 尾叉長と筋肉および内臓 (肝臓, 胃および腸内容物) の T-Hg との関係は、釣獲海域によって2つの違ったパターンを示した。すなわち、長芳 (A), 相模 (B), および黒潮 (D) グループ (正常型) では、尾叉長と T-Hg のそれぞれの対数値の間には強い相関 ($\alpha=0.01$) が認められた。一方、鹿島 (C) および湘南 (E) グループ (異常型) では、尾叉長100cm以下の幼魚で、正常型グループの棄却帯 ($\alpha=0.01$) より高い水銀レベルに分布するものが6尾あった。これらの幼魚は、オーストラリア・ブリスベン沖およびインドネシア・ロンボック島沖で漁獲されたものであった。
3. 肝臓, 胃, および腸内容物の T-Hg を、それぞれ背肉の値と比較すると、いずれも強い相関が認められた ($\alpha=0.01$)。また、背肉の T-Hg に対し、肝臓および胃の値は約1/2で、腸内容物の値は約1/4に相当した。ただし、全試料中で最大の魚 (体重65.4kg, 尾叉長157cm, A-7) では、肝臓および胃の T-Hg は、背肉の値とほぼ同じぐらい高く、キハダにおける水銀蓄積の経路と飽和点を示すものではないかと考えた。
4. 餌料魚としては、イカ, イワシ, アジ, エビの順に多く捕食されており、その T-Hg は大部分が0.1 $\mu\text{g/g}$ 以下であった。しかし、ジャワ沖の試料魚の中にイワシ0.17, タコ0.13 $\mu\text{g/g}$ のものがあった。
5. 筋肉中の脂質含量は、中性および極性脂質とも、血合肉のほうが背肉より高かった。しかし、その含量と T-Hg との間には相関は無かった。

本研究は、農林水産技術会議特別研究費によったものである。本研究の実施にあたり、種々助言をいただいた東海区水産研究所生物化学部平尾秀一部長を始めとし、部員の方々、および統計処理について御教示をいただいた本校前田 弘教授に厚くお礼申しあげる。

文 献

- 1) Inter-American Tropical Tuna Commission, 1972: "Mercury in Tuna: A Review" (Background Paper No. 4)
西垣 進, 田村行弘, 真木俊夫, 山田 洋, 嶋村保洋, 木村康夫, 1974: 東京衛研年報, 25, 245
- 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
- 3) 石油学会規格, 1969: JPI-5R-4-69T
- 4) FOLCH, T. M. LEES, and G. H. SLOANE STANLEY, 1957: *J. Biol. Chem.* 226, 497
- 5) FORRESTER, C. R., K. S. KETCHEN, C. C. WONG, 1972: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 29, 1487
- 6) BECKETT, J. S., H. C. FREEMAN, 1972: NOAA Technical Report NMFS SS-675, Proceedings of the International Billfish Symposium, p. 154
- 7) 三谷文夫, 1970: 日水誌, 36, 258
- 8) 上柳昭浩, 1966: 日水誌, 32, 743
NAKAMURA, H., 1969: "Tuna Distribution and Migration", p.18, Fishing News Ltd., London