

# マグロ類の水銀および セレン含有に関する研究—VI\*

東インド洋マグロ・カジキ類の  
肝臓と脾臓の水銀量

武田道夫・上田 正

On Mercury and Selenium in Tuna Fish Tissues - VI.  
Mercury Level in Liver and Spleen of Tuna and Marlin  
from the East Indian Ocean

By

Michio TAKEDA and Tadashi UEDA

Total and methyl mercury levels have been determined on liver and spleen from each of 10 albacore, *Thunnus alalunga*, 14 yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, 16 bigeye tuna, *Thunnus obesus*, 5 blue marlin, *Makaira mazara*, 2 black marlin, *Makaira indica*, 2 sailfish, *Istiophorus platyterus*, and 3 striped marlin, *Tetrapturus audax*, caught in the East Indian Ocean (Java and Sumatra coast).

In liver and spleen of bigeye tuna and marlins, significant correlations were found in the following relations, i.e., total or methyl mercury level to body weight, methyl mercury level to total mercury level, and mercury level between liver and spleen.

Total mercury level in spleen of albacore and yellowfin tuna, however, was markedly higher than methyl mercury level in these tissues and remarkably greater than total mercury level in respective livers. Therefore, significant correlations were scarcely found in the same relations as in the case of bigeye tuna and marlins.

An effect of fishing area on the following values was investigated, i.e., total mercury level ratio between spleen and liver, mercury level gradient [ $\log(\text{total or methyl mercury})/\log(\text{fork length})$ ], and the scattering of mercury level to body weight. Then, it seems to be that Java coast has a higher environmental potential which is responsible for mercury level in fish than Sumatra coast.

---

\* 水産大学校研究業績 第 805 号, 1977 年 11 月 21 日受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 805.

Received Nov. 21, 1977.

昭和 50 年度日本水産学会, 中・四国秋季支部大会にて発表.

## 1. 緒 言

先に、キハダの筋肉と内臓の水銀量の分析結果を発表した<sup>1)2)3)</sup>。その中で、キハダでは一般に筋肉に含まれる水銀レベルは内臓のそれより高く、また、脾臓に著しく高レベルの水銀が含まれる例のあることを報告した。そこで、1973年11～12月（ジャワ沖）および1974年11月（スマトラ沖）に東インド洋で釣獲されたマグロ類40尾、カジキ類12尾から、脾臓および対照として肝臓組織を採取し、それぞれの組織に含まれる水銀量を測定し、その値と成長度との関係、また海域、魚種、含有水銀の形態および組織間の相違について検討した。その結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2・1 試料

水産大学校練習船耕洋丸で釣獲、解体、凍結運搬した試料を分析に供するまで約 $-20^{\circ}\text{C}$ で貯蔵した。試料魚の釣獲海域を第1図に、魚種別試料数、体重範囲および平均体重を第1表に示す。

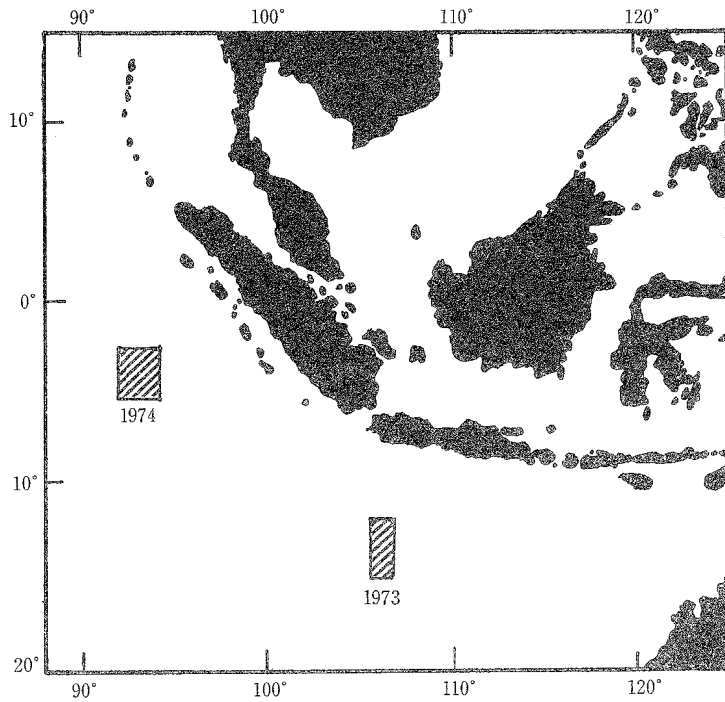


Fig. 1. Fishing area of sample.

Table 1. Samples for mercury analysis

Species	Number of samples			Body weight (kg)	
	Java coast	Sumatra coast	Total	Range	Mean
Albacore	10	—	10	19 — 27	22.7
Yellowfin tuna	10	4	14	19.5 — 57	41.1
Bigeye tuna	9	7	16	22 — 84	45.8
Blue marlin	4	1	5	44 — 179	127.8
Black marlin	2	—	2	78 — 162	120.0
Striped marlin	1	2	3	45 — 65	55.3
Sailfish	2	—	2	21 — 36	28.5

## 2・2 水銀分析法

総水銀量：試料を五酸化バナジウムを酸化助剤とする湿式法で灰化し<sup>1)4)</sup>、得られた分解液の水銀含量を還元気化原子吸光法により求めた。

メチル水銀量：WESTÖÖ改良法に準拠し、*p*-ニトロベンジルクロライドを内部標準物質とし GLC 法により求めた<sup>3)</sup>。

## 3. 実験結果および考察

### 3・1 水銀レベルと成長度との関係

肝臓の総水銀量（以下 T-Hg と略記する）とメチル水銀量（以下 MeHg と略記する）の範囲および平均値を第 2 表に、脾臓におけるそれらの値を第 3 表にそれぞれ示す。また、肝臓における体重と T-Hg の関係を第 2 図に、脾臓におけるそれらの関係を第 3 図に示す。体重と T-Hg との間の相関を魚種別および組織別に求め、得られた標本 1 次回帰式と相関係数を第 4 表に示す。なお、カジキ類では種ごとの試料数が少なかったため、4 種を一緒にしてカジキ類として計算した。

肝臓において、T-Hg と体重との間の相関係数（以下  $r_0$  と略記する）が有意と認められた魚種はメバチおよびカジキ類であった。また脾臓においてはメバチ、キハダおよびカジキ類であった。なお、第 2 および 3 図には、それぞれの回帰直線を示したが、 $r_0$  が有意と認められるものは実線で、そうでないものは破線で示してある。キハダ肝臓では、本実験の体重範囲内で、T-Hg は体重と関係なく、ほぼ 0.1~0.2 $\mu$ g/g に分布した。また、ピンナガでは、試料魚の体重がほぼ同じであるにもかかわらず、脾臓の T-Hg は 0.28~1.35 $\mu$ g/g の広い範囲に分布したことが注目される。第 II 報で、太平洋産キハダ 39 尾の肝臓の水銀レベルを分析した結果、特殊海域を除き、尾又長と T-Hg との間に正の相関があることを報告した<sup>1)</sup>。本実験データを太平洋産キハダの体重対肝臓 T-Hg の回帰直線における棄却帯に適用すると、1 例を除いて各プロットは棄却帯内に分布したが、体重 40 kg 以下の試料の肝臓中の水銀レベルは太平洋産のもの値に比べて約 2 倍高かった。

肝臓 MeHg と体重との関係を第 4 図に、脾臓のそれを第 5 図に、また 1 次回帰式および  $r_0$  を第 5 表にそれぞれ示す。肝臓における  $r_0$  が有意と認められた魚種はメバチ、ピンナガおよびカジキ類であり、脾臓において  $r_0$  が有意と認められた魚種はメバチおよびカジキ類であった ( $\alpha=0.01$  または 0.05)。

以上のように、成長にともなう肝臓および脾臓の水銀レベルの増加のしかたには、魚種によって相違があることが認められる。第 2~5 図において、体重 50 kg に対応する回帰直線上の水銀レベルを比較すると、ピンナガを除き、肝臓の T-Hg および MeHg と脾臓の MeHg では、メバチ>カジキ類>キハダの順序が得

られた。しかし脾臓の T-Hg ではキハダ > メバチ > カジキ類の順序となった。このことはキハダ脾臓には T-Hg 変動を受けやすい要因があることを示唆している。

### 3・2 肝臓および脾臓中の T-Hg と MeHg との関係

魚種別に検討した T-Hg と MeHg との  $r_0$  および標本 1 次回帰式を、肝臓については第 6 表に、脾臓については第 7 表にそれぞれ示す。第 IV 報において、キハダ筋肉の MeHg/T-Hg はほぼ 80% 以上であることを報告した<sup>3)</sup>。しかし、第 6 および 7 表から明らかなように、肝臓および脾臓では MeHg/T-Hg の値は筋肉の場合よりも低く、また魚種によってかなり差があった。T-Hg と MeHg との間の  $r_0$  が有意と認められた魚種は肝臓ではメバチ、キハダおよびカジキ類であり、脾臓ではメバチおよびカジキ類であった。また、 $r_0$  が有意と認められた場合、標本 1 次回帰式が  $y=x$  とみなせるかどうかについて  $t$ -検定し、その結果を第 6 および 7 表に示す。表から明らかなように、標本 1 次回帰式は  $y=x$  とはみなされなかった。すなわち、T-Hg の増加にともない MeHg は増加するが、両値間にはっきりとした差があるものと認められる。

3・2・1 ビンナガおよびキハダ：ビンナガおよびキハダの肝臓と脾臓の T-Hg と MeHg との関係を第 6 図に示す。T-Hg と MeHg との間の  $r_0$  が有意と認められたものはキハダ肝臓のみであった。脾臓の T-Hg 範囲は MeHg に比べて特に広く、ビンナガで 0.36~1.35, キハダで 0.33~2.10  $\mu\text{g/g}$  であったことは注目に値する。

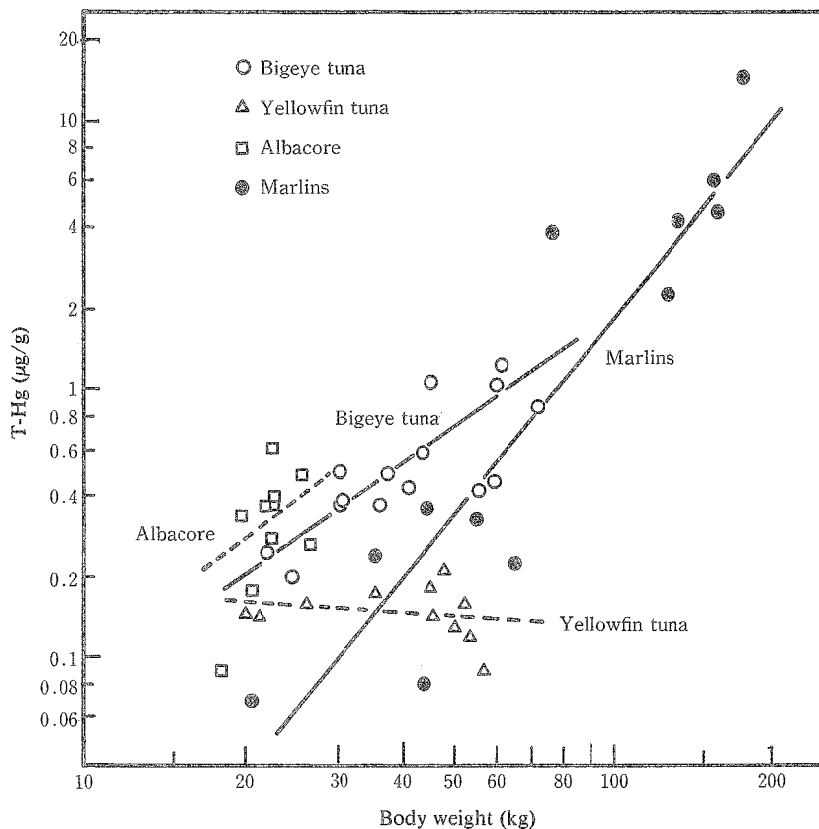


Fig. 2. Relation of T-Hg in liver to body weight of tuna and marlin.

Solid lines are the regression line at 0.01 level of significance and broken lines are the regression line at 0.01 level of insignificance.

Table 2. Mercury level in liver of tuna and marlin from the East Indian Ocean

Species	T-Hg			MeHg		
	Number determined	Mean ( $\mu\text{g/g}$ )	Range ( $\mu\text{g/g}$ )	Number determined	Mean ( $\mu\text{g/g}$ )	Range ( $\mu\text{g/g}$ )
Bigeye tuna	15	0.63	0.20—1.21	15	0.44	0.14—0.94
Yellowfin tuna	11	0.15	0.09—0.21	12	0.10	0.06—0.13
Albacore	10	0.32	0.18—0.61	8	0.13	0.08—0.19
Marlins	12	3.01	0.07—14.24	10	0.36	0.10—0.95

Table 3. Mercury level in spleen of tuna and marlin from the East Indian Ocean

Species	T-Hg			MeHg		
	Number determined	Mean ( $\mu\text{g/g}$ )	Range ( $\mu\text{g/g}$ )	Number determined	Mean ( $\mu\text{g/g}$ )	Range ( $\mu\text{g/g}$ )
Bigeye tuna	15	0.72	0.17—1.41	13	0.47	0.14—1.19
Yellowfin tuna	11	0.97	0.32—2.10	10	0.07	0.04—0.09
Albacore	6	0.78	0.28—1.35	6	0.14	0.06—0.17
Marlins	12	2.48	0.06—11.10	11	0.17	0.03—0.49

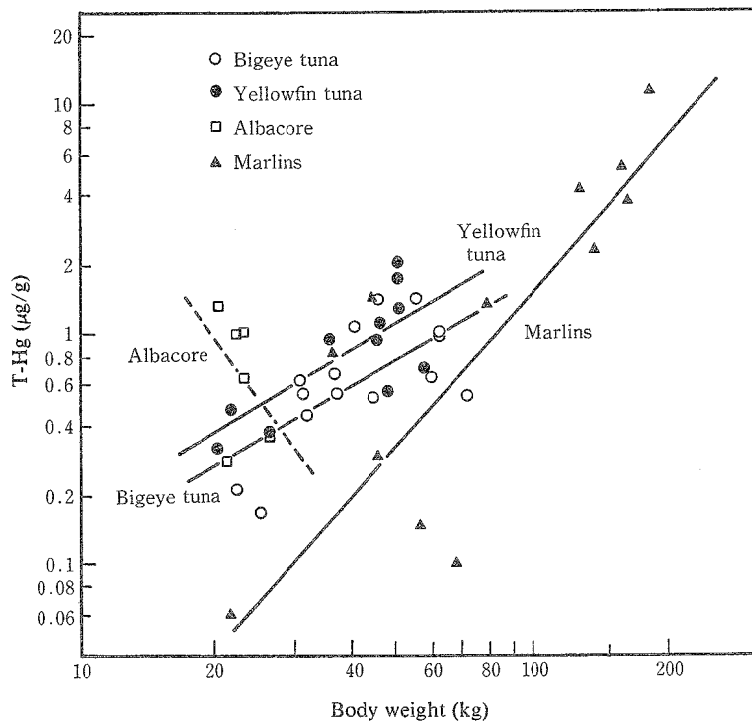


Fig. 3. Relation of T-Hg in spleen to body weight of tuna and marlin.

Table 4. Correlations of T-Hg ( $y$ ,  $\mu\text{g/g}$ ) in liver and spleen to body weight ( $x$ , kg) of tuna and marlin  
 Regression equation :  $\log y = a \log x + b$

Species	Viscera	$a$	$b$	$r_0$	$n$
Bigeye tuna	liver	1.388	-2.498	0.89**	15
Yellowfin tuna	"	-0.132	-0.624	-0.22	11
Albacore	"	1.610	-2.668	0.46	10
Marlins	"	2.432	-4.592	0.92**	12
<hr/>					
Bigeye tuna	spleen	1.147	-2.056	0.68**	15
Yellowfin tuna	"	1.207	-2.000	0.75**	11
Albacore	"	-2.753	3.547	-0.39	6
Marlins	"	2.230	-4.267	0.87**	12

$r_0$ , Correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations.

\*\* Significant at 0.01 level.

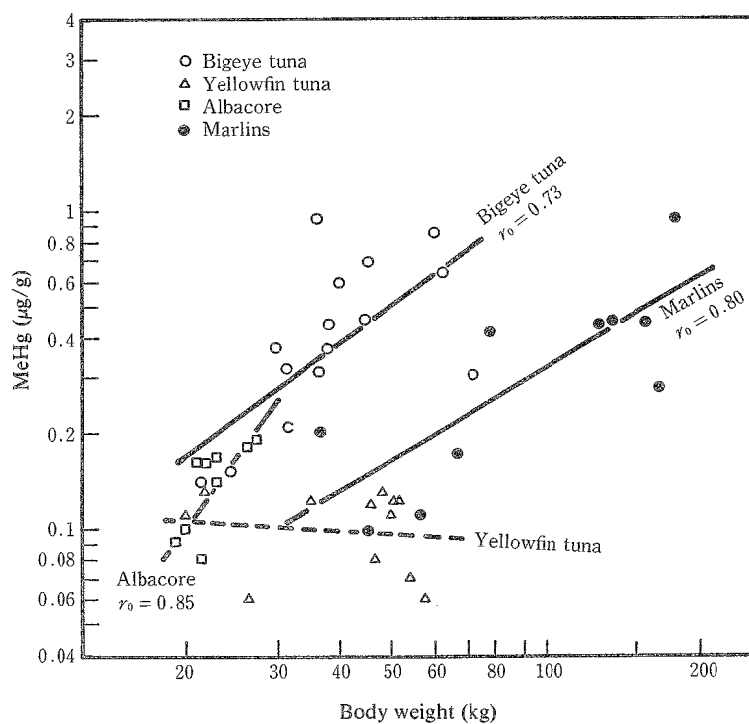


Fig. 4. Relation of MeHg in liver to body weight of tuna and marlin.

Table 5. Correlations of MeHg ( $y$ ,  $\mu\text{g/g}$ ) in liver and spleen to body weight ( $x$ , kg) of tuna and marlin  
 Regression equation :  $\log y = a \log x + b$

Species	Viscera	$a$	$b$	$r_0$	$n$
Bigeye tuna	liver	1.169	-2.299	0.73**	15
Yellowfin tuna	"	-0.115	-0.823	-0.14	15
Albacore	"	2.278	-3.954	0.85*	8
Marlins	"	0.974	-2.447	0.80**	10
Bigeye tuna	spleen	1.505	-2.800	0.85**	15
Yellowfin tuna	"	0.102	-1.366	0.13	10
Albacore	"	2.477	-4.237	0.72	6
Marlin	"	0.894	-2.622	0.72**	11

$r_0$ , Correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations.  
 \*\* Significant at 0.01 level ; \* significant at 0.05 level.

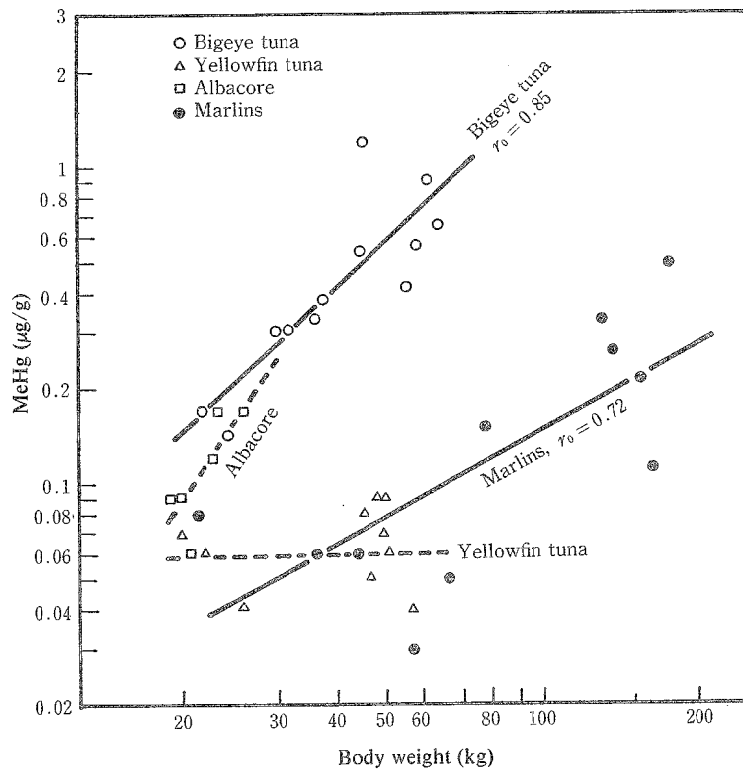


Fig. 5. Relation of MeHg in spleen to body weight of tuna and marlin.

Table 6. Correlation between T-Hg (x) and MeHg (y) in liver of tuna and marlin  
Regression equation :  $y = ax + b$

Species	y/x		a	b	r <sub>0</sub>	n	t <sub>a</sub>	t <sub>b</sub>	F <sub>e</sub>
	Mean	Range							
Bigeye tuna	0.71	0.35—(1.37)	0.606	0.066	0.82**	15	-3.32**	-4.79**	17.01**
Yellowfin tuna	0.67	0.38—0.93	0.534	0.019	0.89**	10	-1.99	-6.73**	24.86**
" "	0.80	0.25—1.00	1.006	-0.017	0.89**	37	0.07	-2.53	3.20**
Albacore	0.45	0.29—0.73	0.261	0.055	0.63	8	—	—	—
Marlins	0.38	0.07—(1.25)	0.056	0.158	0.95**	10	-144.51**	-120.11**	17655**

\* Included the data for the samples from the Pacific Ocean.<sup>1)</sup>

\*\* Significant at 0.01 level.

r<sub>0</sub>, Correlation coefficient ; n, number of determinations ; t<sub>a</sub>, "t" for testing the slope (a = 1) ; t<sub>b</sub>, "t" for testing the y-intercept (b = 0) ; F<sub>e</sub>, F-value to see if the estimated equation is within the variation of the equation y = x.

Figure in parentheses must be less than or equal to 1.00 theoretically.

Table 7. Correlation between T-Hg (x) and MeHg (y) in spleen of tuna and marlin  
Regression equation :  $y = ax + b$

Species	y/x		a	b	r <sub>0</sub>	n	t <sub>a</sub>	t <sub>b</sub>	F <sub>e</sub>
	Mean	Range							
Bigeye tuna	0.67	0.30—(1.02)	0.578	0.063	0.75**	13	-2.76	-4.08**	121.53**
Yellowfin tuna	0.09	0.03—0.21	0.010	0.056	0.13	10	—	—	—
" "	0.11	0.03—0.21	0.009	0.062	0.24	14	—	—	—
Albacore	0.23	0.07—0.47	0.006	0.118	0.05	4	—	—	—
Marlins	0.16	0.03—1.00	0.039	0.063	0.90**	11	-153.42**	-125.00**	19581**

\* Included the data for the samples from the Pacific Ocean.<sup>1)</sup>

\*\* Significant at 0.01 level.

r<sub>0</sub>, Correlation coefficient ; n, number of determinations ; t<sub>a</sub>, "t" for testing the slope (a = 1) ; t<sub>b</sub>, "t" for testing the y-intercept (b = 0) ; F<sub>e</sub>, F-value to see if the estimated equation is within the variation of the equation y = x.

Figure in parentheses must be less than or equal to 1.00 theoretically.

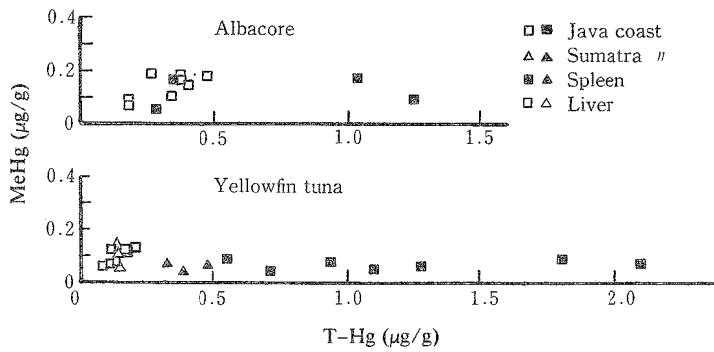


Fig. 6. Correlation between T-Hg and MeHg in liver and spleen of yellowfin tuna and albacore.



3・2・2 メバチおよびカジキ類：メバチの肝臓および脾臓について、T-Hg と MeHg との関係を示す。肝臓および脾臓ともに、T-Hg と MeHg との間の  $r_0$  が有意と認められ、前記のビンナガとキハダの場合と対照的な違いを示した。また、MeHg/T-Hg の平均値は肝臓では 0.71、脾臓では 0.67 であり、ともに他魚種の値より大きかった。

カジキ類の肝臓および脾臓について、T-Hg と MeHg との関係を示す。カジキ類もメバチと同様に  $r_0$  が有意と認められたが、MeHg/T-Hg 平均値は低く、その値は肝臓で 0.38、脾臓で 0.16 であった。なお、第 8 図の T-Hg と MeHg はともに対数目盛で示されているため、 $r_0$  は第 6 および 7 表の値とやや違っている。

SHULTZ らは<sup>9)</sup>ハワイ沖クロカジキ 35 尾について水銀分析を行い、MeHg/T-Hg 平均値として肝臓、脾臓ともに 0.02 の値を得ている。本実験結果はこの値に比較すると、かなり大きかった。

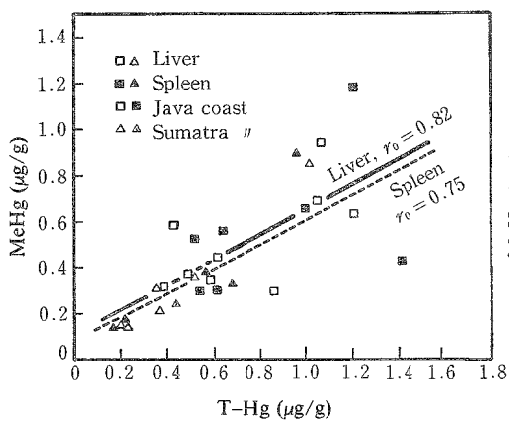


Fig. 7. Correlation between MeHg and T-Hg in liver and spleen of bigeye tuna.

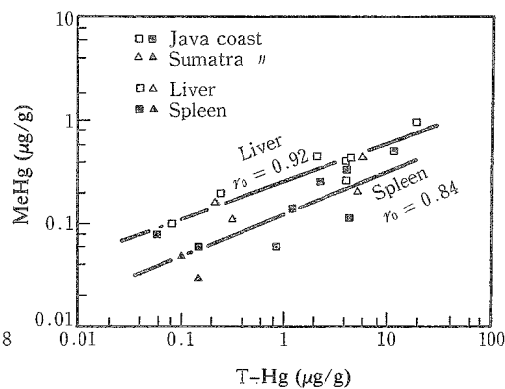


Fig. 8. Correlation between T-Hg and MeHg in liver and spleen of marlins.

### 3・3 肝臓と脾臓の水銀レベルの比較

肝臓の水銀レベル ( $x$ ) と脾臓のそれ ( $y$ ) との間の  $r_0$ 、標本 1 次回帰式および  $r_0$  が有意と認められたとき、標本 1 次回帰式が  $y=x$  とみなせるかどうかを検討するための  $t$ -検定結果を T-Hg については第 8 表に、MeHg については第 9 表に示す。メバチおよびカジキ類の場合、T-Hg について、 $x$  と  $y$  との間に正の相関が認められた ( $\alpha=0.01$ )。一方、MeHg についてメバチ、キハダ、ビンナガおよびカジキ類の全試料魚種において、 $x$  と  $y$  との間に正の相関が認められた。

また、 $t$ -検定結果はメバチおよびカジキ類において、肝臓 T-Hg は脾臓 T-Hg にほぼ等しく、メバチ、キハダおよびビンナガにおいて、肝臓 MeHg と脾臓 MeHg はほぼ等しいことを示唆した ( $\alpha=0.01$  または  $0.05$ )。

3・3・1 ビンナガおよびキハダ：第 9 図にビンナガおよびキハダの肝臓の水銀レベルと脾臓のそれとの関係を示す。ビンナガ脾臓の T-Hg には肝臓のそれに比べて著しく大きいものがあり、一方 MeHg については、肝臓および脾臓ともに同じ水銀レベルにあった。キハダにおいて、脾臓 T-Hg と肝臓 T-Hg の差はビンナガの場合よりさらに大きく、全測定値にわたって前者の値が高く、 $y/x$  の最高は約 16 であった。一方 MeHg については、ビンナガの場合と同じように、肝臓および脾臓は同じ水銀レベルにあった。SHULTZ ら

は<sup>9)</sup>クロカジキに関する水銀測定結果から、T-Hg とMeHg の差は無機態水銀量にほぼ等しいことを示し、さらに魚体組織中でメチル水銀が無機化されることを推測している。本実験において、キハダおよびビンナガが脾臓のT-Hg とMeHg との差を無機態水銀量とするならば、これらの魚種の脾臓では、無機態水銀レベルは変動しやすく、その変動中も大きいといえる。菊池らは<sup>9)</sup>、タイの飼育実験をし、無機態水銀はまず脾臓に著しく濃縮されることを示した。これより、キハダおよびビンナガが脾臓の水銀レベルが高いのは鰓から直接摂取された無機態水銀が脾臓に蓄積するためではないかと推測でき、興味ある問題である。

3・3・2 メバチおよびカジキ類：メバチにおける肝臓の水銀レベルと脾臓のそれとの関係を第10図に、カジキ類については第11図に示す。両魚種ともにT-Hg および MeHg について、両組織間に相関が認められた。また、カジキ類のMeHgを除いて、肝臓と脾臓の水銀レベルはほぼ同じであると考えられ、前述のキハダおよびビンナガと著しく異なる傾向が認められた。この原因として、前述の摂取される水銀の形態とその摂取経路および魚体内における水銀の無機化<sup>9)</sup>等が考えられるが、この外に井村ら<sup>7)</sup>のマグロ肝臓による無機水銀のメチル化および山元ら<sup>9)</sup>による低酸素時におけるハマチ脾臓の収縮等も考慮しなければならないだろう。

Table 8. Correlation between T-Hg in liver ( $x$ ) and those in spleen ( $y$ ) of tuna and marlin  
Regression equation :  $y = ax + b$

	$y/x$		$a$	$b$	$r_0$	$n$	$t_a$	$t_b$	$F_e$
	Mean	Range							
Bigeye tuna	1.21	0.62-2.53	0.880	0.168	0.76**	15	-0.581	1.422	1.180
Yellowfin tuna	5.95	2.62-16.15	-3.661	1.398	-0.23	9	—	—	—
Albacore	2.15	0.77-3.97	0.044	0.765	0.02	6	—	—	—
Marlins	1.13	0.46-3.59	0.759	0.198	0.95**	12	-3.110	-1.728	6.331*

\*\* Significant at 0.01 level ; \* significant at 0.05 level.

$r_0$ , Correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations ;  $t_a$ , “ $t$ ” for testing the slope ( $a = 1$ ) ;

$t_b$ , “ $t$ ” for the  $y$ -intercept ( $b = 0$ ) ;  $F_e$ ,  $F$ -value to see if the estimated equation is within the variation of the equation  $y = x$ .

Table 9. Correlation between MeHg in liver ( $x$ ) and those of spleen ( $y$ ) in tuna and marlin  
Regression equation :  $y = ax + b$

Species	$y/x$		$a$	$b$	$r_0$	$n$	$t_a$	$t_b$	$F_e$
	Mean	Range							
Bigeye tuna	1.09	0.45-1.51	0.827	0.103	0.71**	13	-0.692	0.424	0.329
Yellowfin tuna	0.63	0.46-0.75	0.557	0.007	0.82**	10	-3.246	-0.111	0.668
Albacore	0.91	0.75-1.00	1.044	-0.016	0.98**	6	0.428	-2.505	3.229
Marlins	0.45	0.27-0.75	0.560	-0.025	0.95**	10	-6.769**	-11.634**	90.584**

\*\* Significant at 0.01 level.

$r_0$ , Correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations ;  $t_a$ , “ $t$ ” for testing the slope ( $a = 1$ ) ;

$t_b$ , “ $t$ ” for the  $y$ -intercept ( $b = 0$ ) ;  $F_e$ ,  $F$ -value to see if the estimated equation is within the variation of the equation  $y = x$ .

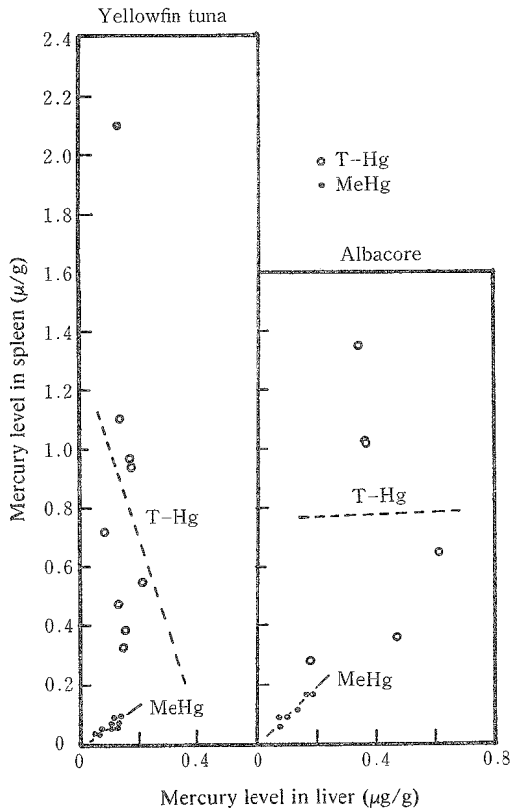


Fig. 9. Correlation between mercury level in liver and those in spleen of yellowfin tuna and albacore.

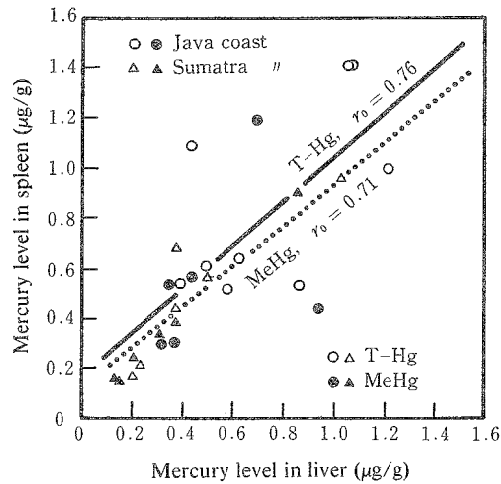


Fig. 10. Correlation between mercury level in liver and those in spleen of bigeye tuna.

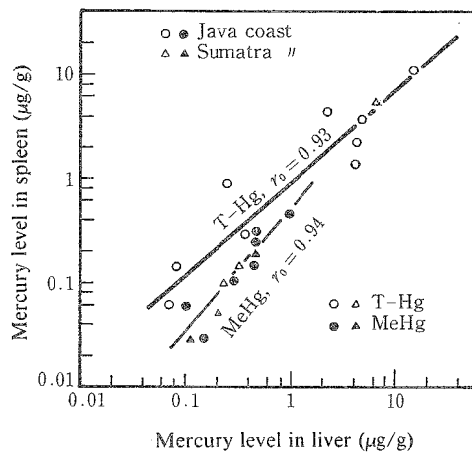


Fig. 11. Correlation between mercury level in liver and those in spleen of marlins.

### 3・4 水銀レベルおよび水銀形態に対する海域の影響

3・4・1 肝臓と脾臓のT-Hg比および成長にともなう水銀レベルの増加率にみられる海域の影響：肝臓と脾臓の水銀レベル比に対する釣獲海域の影響を明らかにするため、魚種ごとに、脾臓と肝臓のT-Hg比の平均値 ( $R$ ) をジャワ沖とスマトラ沖に分けて求め、それを第10表に示す。キハダ、メバチおよびカジキ類いずれもジャワ沖で釣獲されたものの  $R$  値が大きかった。したがってスマトラ沖に比べジャワ沖には脾臓の水銀レベルを高める要因があるのかもしれない。

成長にともなう水銀レベルの増加率を算するために、 $a = \log(\text{T-Hg または MeHg} \times 10^2) / \log(\text{尾叉長})$  を魚

種別、組織別および海域別に計算し、その $\alpha$ 比を第11表に示す。キハダ肝臓のT-Hg, MeHg およびカジキ類脾臓のT-Hgを除き、ジャワ沖群の $\alpha$ 値がスマトラ沖群のそれより大きくジャワ沖には成長にともなう水銀レベル増加を促進するポテンシャルが存在するものと推測される。

3・4・2 メバチ肝臓および脾臓の水銀レベルにみられる海域の影響：本実験の試料魚中、ジャワおよびスマトラ両海域にわたって比較的に試料数が多いのはメバチであったので、これを水銀レベルにおける海域差を検討する対象とした。すなわち、体重と肝臓または脾臓の水銀レベルとの相関を海域別に検討し、これを第12と13図に示す。なお、第12、13図に示された破線はスマトラ沖試料についての回帰直線である。スマトラ沖試料の場合、肝臓、脾臓および水銀形態の如何にかかわらず、水銀レベルと体重との間には高い相関が認められた(第12表)。これに対しジャワ沖試料の場合、水銀レベルに大きなバラツキが認められ、体重との間の $r_0$ は有意水準に達しないか達してもその値は小さかった。各水銀レベルの回帰直線からのバラツキの大きさを次式により計算<sup>10)</sup>した。

$$(1 - r_0^2) S^2 \quad r_0: \text{相関係数}, S: \text{標準偏差}$$

その結果、肝臓T-Hgでは、ジャワ沖のバラツキはスマトラ沖のその8倍、肝臓MeHgでは約20倍、脾臓ではT-Hgの場合約10倍、MeHgの場合68倍であり、すべてスマトラ沖の試料に比べジャワ沖試料のバラツキが大きかった。

1974年11月鹿児島錦江港内で漁獲されたアナゴ4尾の筋肉の水銀レベルを測定し、その値と体長との関係を第14図に示す。この結果の特徴は成長と水銀レベルとの間に明白な相関が認められないことである。最近、錦江湾で漁獲される魚類に高い水銀レベルを示すものがあることが報告されており、その原因として、実証されていないが、火山性海底噴気説<sup>11)12)</sup>が推測されている。以上このことから、ジャワ沖にはスマトラ沖と異なり、メバチについて成長にともなう水銀レベルの正常な自然増加を乱す環境要因が存在するものと推論した。

3・4・3 メバチの肝臓および脾臓の水銀形態にみられる海域の影響：メバチ肝臓および脾臓におけるT-HgとMeHgとの相関を海域別に求め、その結果を第13表に示す。表から明らかなように、スマトラ沖群では、両値間に高い相関が認められたが、ジャワ沖群では両値間に相関が認められなかった。また、スマトラ沖群のものについて得られた回帰式が $y=x$ ,  $y=0.75x$ あるいは $y=0.5x$ のいずれかとみなせるかどうかを $t$ -検定した結果(第13表)、MeHg/T-Hgは肝臓で0.75、脾臓で0.50とみなすことができた( $\alpha=0.01$ )。ジャワ沖群のものについては、MeHg/T-Hgの値にも大きいバラツキが認められ、スマトラ沖とジャワ沖とでは、マグロ類の水銀摂取に海域差があるものと推測した。

3・4・4 クロカジキの肝臓および脾臓の水銀レベルにみられる海域の影響：ハワイ沖で漁獲されたクロカジキ35尾の水銀分布に関するSHULTZらのデータ<sup>5)</sup>に基づいて、肝臓および脾臓の水銀レベルと体重それぞれの対数値の間の1次回帰式とその棄却帯( $\alpha=0.01$ )を計算し、東インド洋産5尾の測定値と比較した。その結果、東インド洋試料の肝臓に関するT-Hg 1例を除き、他の測定値はハワイ沖において得られた棄却帯内に分布した。しかし、東インド洋産の試料魚の肝臓および脾臓ともに、そのT-Hgはハワイ沖のものについて得られた回帰直線より下方に、逆にMeHgは上方に分布した。また、MeHg/T-Hg平均値は東インド洋産のもの肝臓で0.29、脾臓で0.13であったのに対し、ハワイ沖産のものでは両組織とも0.02であり、東インド洋の値に比べ著しく小さかった。

以上のことから、ハワイ沖クロカジキは東インド洋のものに比べ、無機態水銀摂取量が大きく、反対にメチル水銀摂取量が小さいのではないかと推測される。

3・4・5 キハダ肝臓の水銀形態にみられる海域の影響：第II報に太平洋産キハダ肝臓の水銀レベルについて報告した<sup>1)</sup>。それらの結果と本実験結果を比較し、その結果を第6表ならびに第15図に示す。肝臓における、T-HgとMeHgの間には、東インド洋のもので $r_0=0.89$  [ $> r(8, 0.01)$ ]と相関が認められ、これらに太平洋産の27の測定値を加えても $r_0$ に変化はみられなかったが、MeHg/T-Hgは0.67から0.80に増加し、 $t$ -検定結果からMeHgとT-Hgはほぼ同じであるとみなされた。また、第15図から明らかなように、東インド洋産のものの場合、太平洋産のものに比較し、MeHg/T-Hgが小さい( $\chi^2$ -検定結果)ことが特徴といえる。先に、本実験試料魚の中で、体重40kg以下のキハダ肝臓T-Hgが太平洋産のものより大きいことを述べたが、東インド洋ではキハダの無機態水銀摂取量が大きいのかもしれない。

Table 10. Relative ratio ( $R$ , mean) between T-Hg in spleen to that in liver of tuna and marlin by fishing area

Species	Java		Sumatra		Total	
	$R$	$n$	$R$	$n$	$R$	$n$
Yellowfin tuna	7.58	6	2.69	3	5.95	9
Albacore	2.15	6	—	—	—	—
Bigeye tuna	1.25	9	1.09	6	1.21	15
Marlins	1.29	9	0.61	3	1.13	12

$n$  : Number of specimen.

Table 11. Ratio of mercury level slope ( $\alpha$ ) of liver and spleen by fishing area ( $\alpha$  of Java coast /  $\alpha$  of Sumatra coast)

$$\alpha = \log(\text{T-Hg or MeHg} \times 10^2) / \log(\text{fork length in cm})$$

Species	Liver		Spleen	
	T-Hg	MeHg	T-Hg	MeHg
Marlins	1.09	1.16	0.90	1.31
Bigeye tuna	1.11	1.09	1.11	1.11
Yellowfin tuna	0.95	0.95	1.23	1.03

Table 12. Correlation of mercury level ( $y$ ,  $\mu\text{g/g}$ ) in liver and spleen to body weight ( $x$ , kg) of bigeye tuna

$$\text{Regression equation : } \log y = \alpha \log x + b$$

Viscera	Area	Form of Hg	$a$	$b$	$r_0$	$n$	
Liver	J	T-Hg	1.015	-1.855	0.74*	9	
	"	S	1.587	-2.831	0.97**	6	
	"	J+S	1.388	-2.498	0.89**	15	
	"	J	MeHg	0.299	-0.819	0.23	9
	"	S	"	1.860	-3.392	0.99**	6
	"	J+S	"	1.169	-2.299	0.73**	15
Spleen	J	T-Hg	0.231	-4.858	0.17	9	
	"	S	1.744	-3.025	0.92*	6	
	"	J+S	1.147	-2.056	0.68**	15	
	"	J	MeHg	9.283	-1.828	0.56	7
	"	S	"	1.818	-3.299	0.98**	6
	"	J+S	"	1.505	-2.800	0.85**	13

J, Java coast ; S, Sumatra coast ;  $r_0$ , correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations.

\* Significant at 0.05 level ; \*\* significant at 0.01 level.

Table 13. Effect of fishing area on correlation between T-Hg ( $x$ ) and MeHg ( $y$ ) in liver and spleen of bigeye tuna.

$$\text{Regression equation : } y = ax + b$$

Viscera	Area	$a$	$b$	$r_0$	$n$	Standard equation	$t_a$	$t_b$	$F_e$	
Liver	J	0.444	0.184	0.64	9	—	—	—	—	
	"	S	0.879	-0.056	0.99**	6	$y = x$	-2.034	-6.741**	24.784**
	"	S	—	—	—	—	$y = 0.75x$	2.167	-0.128	3.356
Spleen	J	0.462	0.159	0.60	7	—	—	—	—	
	"	S	0.828	-0.070	1.00**	6	$y = x$	-20.265**	-12.291**	280.871**
	"	S	—	—	—	—	$y = 0.5x$	1.790	2.009	3.619

\*\* Significant at 0.01 level.

$r_0$ , Correlation coefficient ;  $n$ , number of determinations ;  $t_a$ , "t" for testing the slope ( $a = 1$ ) ;  $t_b$ , "t" for testing the  $y$ -intercept ( $b = 0$ ) ;  $F_e$ ,  $F$ -value to see if the estimated equation is within the variation of the standard equation ; J, Java coast ; S, Sumatra coast.

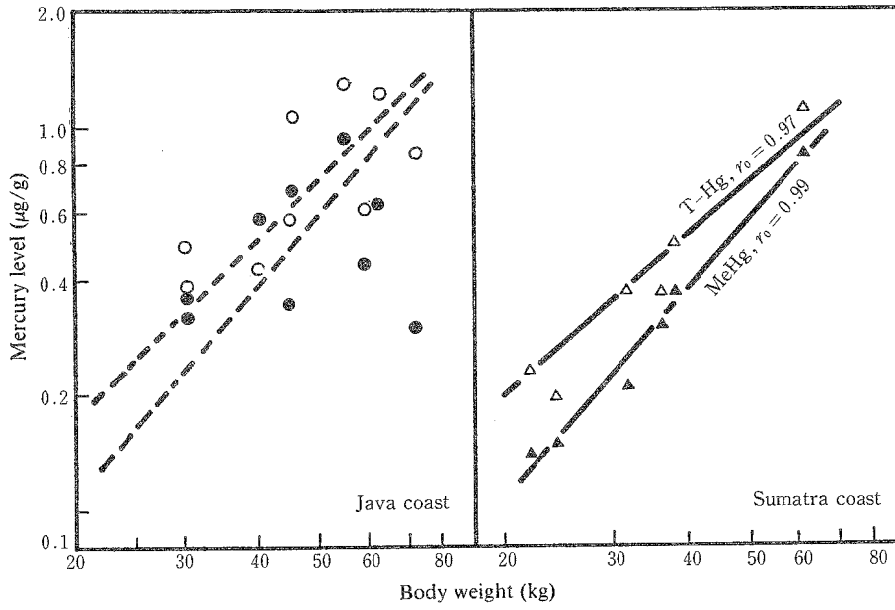


Fig. 12. Relationship of mercury level in liver to body weight of bigeye tuna. Both full and broken lines are the regression lines for samples from the Sumatra coast.

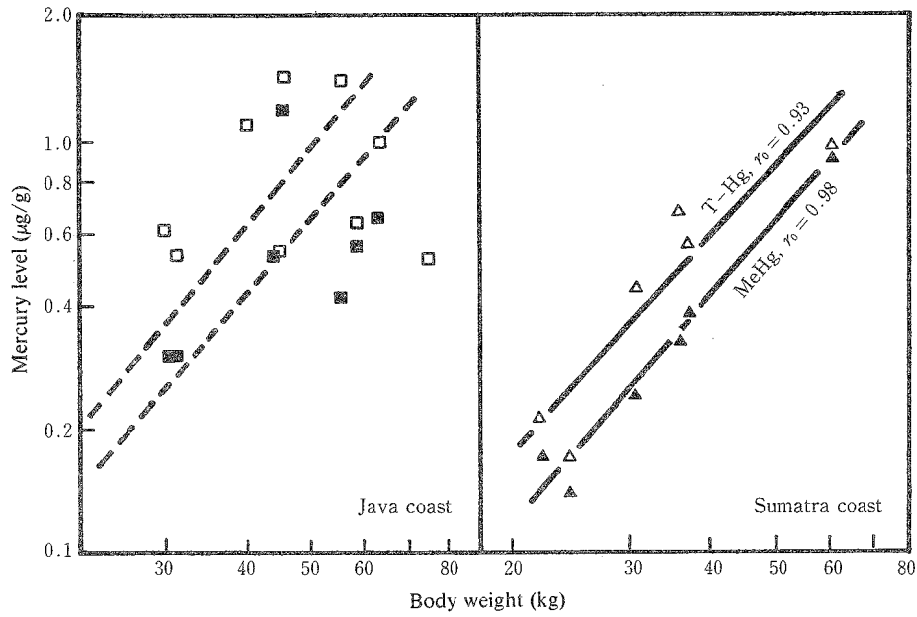


Fig. 13. Relationship of mercury level in spleen to body weight of bigeye tuna. Both full and broken lines are the regression lines for samples from the Sumatra coast.

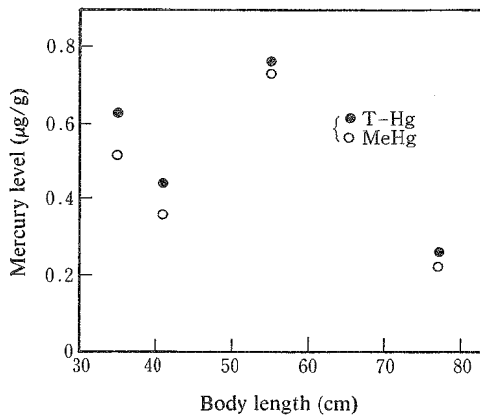


Fig. 14. Relationship of mercury level in muscle to body length of sea eel from Kagoshima Bay.

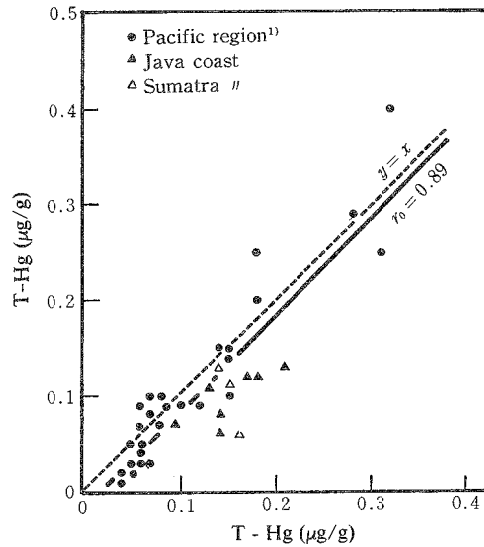


Fig. 15. Correlation between T-Hg and MeHg in liver of yellowfin tuna.

A solid line is the regression line and a broken line is the line for  $y = x$ .

#### 4. 要 約

東インド洋（ジャワ沖およびスマトラ沖）で漁獲されたマグロ類（ビンナガ10尾、キハダ14尾、メバチ16尾）とカジキ類（クロカジキ5尾、シロカジキ2尾、バショウカジキ2尾、マカジキ3尾）の肝臓および脾臓の水銀レベルを分析して、次のような結果を得た。

1) メバチおよびカジキ類では、下記に示す測定値間に正の相関が認められた ( $\alpha=0.01$ ): 体重と肝臓および脾臓の総水銀量またはメチル水銀量, 総水銀量とメチル水銀量, および肝臓の水銀レベルと脾臓の水銀レベル。

2) しかし、ビンナガおよびキハダ脾臓では、総水銀量はメチル水銀量に比べ、また肝臓の総水銀量に比べて著しく大きかった。なお、下記に示す測定値間に正の相関が認められた: キハダでは脾臓の総水銀量と体重, 肝臓のメチル水銀量と総水銀量, 脾臓と肝臓のメチル水銀量間; ビンナガでは肝臓のメチル水銀量と体重, 肝臓と脾臓のメチル水銀量間。

3) ビンナガ, キハダおよびメバチでは、肝臓のメチル水銀量と脾臓のそれはほぼ同じであった。

4) 魚種ごとに、脾臓と肝臓の総水銀量比, 水銀レベル傾斜 [ $\log(T\text{-Hg または MeHg} \times 10^2) / \log(\text{尾又長})$ ], および体重に対する水銀レベルの1次回帰直線からの各測定値のバラツキから海域の影響を検討した結果、マグロおよびカジキ類の水銀蓄積に対するポテンシャルはスマトラ沖よりジャワ沖で高いと推測された。

本研究の実施にあたり、試料採取を引き受けられた本校練習船耕洋丸船長片岡昭吉氏をはじめ乗組員の方々に深謝する。また、脾臓について助言を頂いた本校小林 博教授に厚くお礼を申し上げる。

## 文 献

- 1) 武田道夫・稲益猷二・越川虎吉・上田 正・中野道紀・冨田輝雄・浜田盛承, 1976: 本報告, **25**, 47.
- 2) 浜田盛承・稲益猷二・上田 正, 1976: 本報告, **25**, 213.
- 3) 上田 正・武田道夫, 1977: 日水誌, **43**, 1115.
- 4) 武田道夫・稲益猷二・冨田輝雄・浜田盛承・勝浦 洋, 1975: 本報告, **23**, 145.
- 5) SHULTZ, C.D., and D. CREAM, 1976: *Pacific Science*, **30**, 101.
- 6) 菊池武昭・本多 均・森内博之・天野慶之, 1976: 食衛誌, **17**, 438.
- 7) IMURA, N., Shoe-kung PAN, and T. UKITA, 1972: *Chemosphere*, No. **5**, 197.
- 8) BURROWS, W.D., and P.A. KRENKEL, 1973: *Environ. Sci. Technol.*, **7**, 1127.
- 9) 山元憲一・板沢靖男・小林 博, 1976: 日本水産学会 51 年度秋季大会講演要旨集, p. 124.
- 10) 石川 馨・藤森利美・久米 均, 1964: 「化学者および化学技術者のための統計的方法」, p. 220, 東京化学同人.
- 11) 小坂文子, 1975: 現代化学, No. **55**, p. 12.
- 12) 水銀汚染調査検討委員会環境調査分科会, 1975: 直江津海域および鹿児島湾の水銀汚染に係る環境調査結果の総合評価.