

東シナ海産マナガツオ筋肉の水銀とセレンレベル

武田道夫・上田 正^{※1}・片岡昭吉・乾 栄一^{※2}

The Levels of Mercury and Selenium in Muscle of Pomfret from the East China Sea

Michio Takeda, Tadashi Ueda, Akiyoshi Kataoka, and Eiichi Inui

The levels of mercury and selenium in the muscle of 44 specimens (20 males, 22 females, and 2 sex indistinct) of pomfret (*Pomfretus argenteus*) trawled from the East China Sea were determined by flameless atomic absorption- and fluorospectrophotometry, respectively.

The mean value of total mercury content (T-Hg) was $0.03 \pm 0.008 \mu\text{g g}^{-1}$ in the muscle.

Methyl mercury content (MeHg) determined by gas-liquid chromatography correlated significantly with T-Hg. The mean MeHg was $0.02 \pm 0.0005 \mu\text{g g}^{-1}$. The mean ratio of MeHg to T-Hg was $87.7 \pm 1.0\%$.

There is no significant difference in each average of T-Hg, MeHg, and body weight between the sexes.

The mean selenium level was $0.41 \pm 0.005 \mu\text{g g}^{-1}$. The mean Se/Hg (molar ratio) was 42.3 ± 28.7 .

1. 緒 言

海水および海産生物の水銀およびセレンレベルに関する研究の一環として、食物連鎖上、高位置にあるマグロ類¹⁾、カジキ類²⁾、およびサメ類³⁾についての調査結果は、既に報告した。また、海水および浮遊物⁴⁾、低水銀レベルの例として北洋底魚⁵⁾についての測定結果も報告した。

今回は、主として腔腸動物（ヒドラ、サンゴ、およびクラゲ類等）を主な餌としているマナガツオ（*Pomfretus argenteus*）の筋肉について、水銀およびセレン含量を測定し、それらの値の性差、および生長度との関係を検討した。

2. 実験方法

2・1 試料魚

1978年12月、水産大学校練習船耕洋丸が東シナ海で漁獲したマナガツオ44尾（雄20、雌22、

※1 水産大学校製造学科

※2 水産大学校練習船天鷹丸

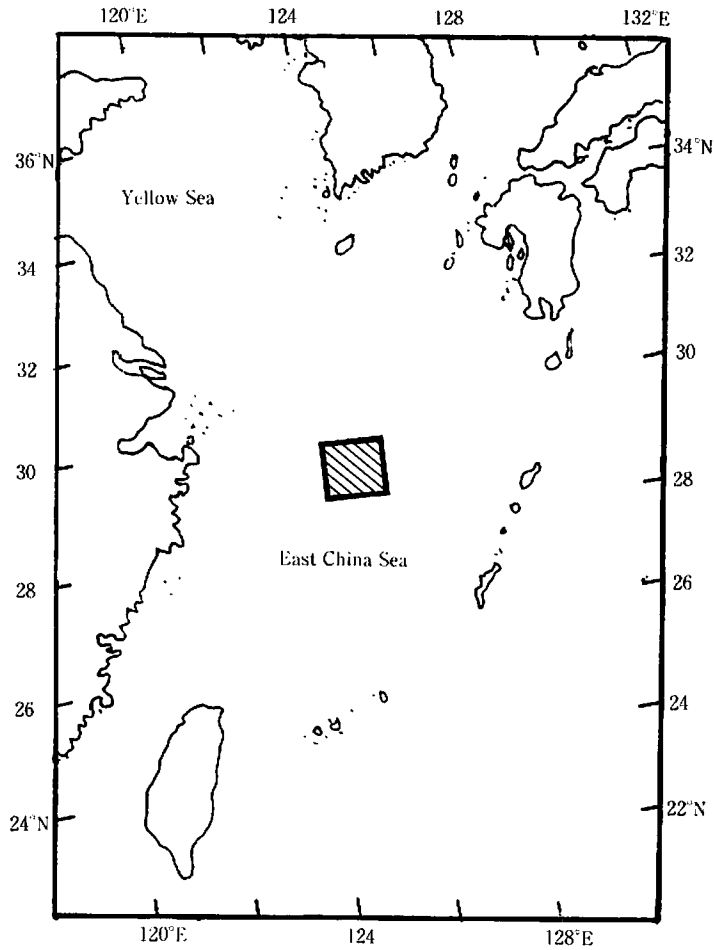


Fig. 1. Location trawled

Table 1. Size, mercury and selenium level in muscle of pomfret

	n	Range	Mean	SD	CV (%)
Body length (cm)	44	18.5-29.5	25.1	2.0	7.8
Body weight (g)	44	108 - 431	253.8	54.7	21.5
T-Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	44	0.01-0.05	0.03	0.08	31.4
MelHg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	44	0.01-0.04	0.02	0.0005	28.4
Selenium ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9	0.33-0.47	0.41	0.005	12.1
Se/Hg (molar ratio)	9	18.3-114.2	42.3	28.2	66.7

n : Number of sample
 SD : Standard deviation
 CV : Coefficient of variance

性別不明2尾)を試料とした。それらの漁獲位置を Fig. 1 に、体長および体重の分布範囲とその平均値を Table 1 に示した。なお、体長および体重の、雌雄別のそれぞれの平均値は、雄 $25.4 \pm 1.98 \text{ cm}$ 、 $252 \pm 57 \text{ g}$ 、雌 $24.9 \pm 2.1 \text{ cm}$ 、 $257 \pm 56 \text{ g}$ であった。雌雄間の平均値の差について *t*-検定をした結果、体長および体重ともに、雌雄間に有意差は認められなかった。

試料魚は船内で凍結した後、約 -20°C で保藏した。この試料魚を解凍後、筋肉を採取し、細碎して、分析に供した。

2・2 総水銀定量法⁶⁾

細碎筋肉を、五酸化バナジウムを酸化助剤として、硫酸-硝酸混液によって加熱分解した。この分解液中の水銀量を還元気化原子吸光法によって求めた。その水銀量を湿潤試料 1 g 当たりの μg として計算し、その値を総水銀量 (以下 T-Hg と略記する) とした。各試料について測定を 5 回繰り返し、その平均値を求めた。

2・3 メチル水銀定量法⁷⁾

細碎筋肉を塩酸酸性ベンゼンで処理して、抽出した塩化メチル水銀をシステイン溶液でクリーンアップし、ベンゼン相へ移行した。このベンゼン溶液中のメチル水銀量を、 α -クロロナフタレンを内部標準物質とするガスクロマトグラフィーで測定した。同一試料について、3 - 6 回測定を繰り返し、その測定値の差が $0.01 \mu\text{g g}^{-1}$ 以上の場合は、更に測定を繰り返した。分析結果は湿潤試料 1 g 当たりの塩化メチル水銀態水銀量 (μg) として表した (以下この値を MeHg と略記する)。

2・4 セレン定量法⁸⁾

細碎試料を硝酸-過塩素酸-硫酸系分解剤で加熱処理した。分解液中のセレン酸を過酸化水素水で還元した後、2・3-ジアミノナフタレンを蛍光発色剤とする蛍光法によりセレンを定量した。測定は同一試料について 5 - 6 回繰り返し、その測定値の変動係数が 30% 以下の場合、それらの値を採用して、平均値を求め、湿潤試料 1 g 当たりのセレン量 (μg) として表した。

3. 結果と考察

3・1 総水銀量

試料魚の体長と体重の分布範囲と平均値は Table 1 に示したように、それぞれ、18.5 - 29.5 と $25.1 \pm 2.0 \text{ cm}$ 、および 108 - 434 と $254 \pm 55 \text{ g}$ で、両者の関係を Fig. 2 に示した。すなわち、体重と体長の間は、相関係数 $r_0 = 0.78 [> r (42, 0.01)]$ の一次の正相関が、有意水準 0.01 で認められた。そこで、今後、生長度の指標として体重を用いた。

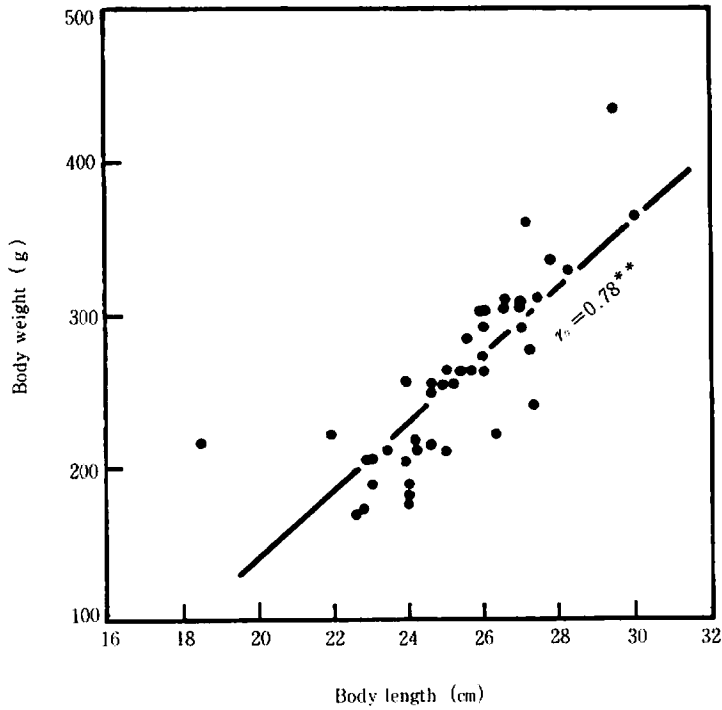


Fig. 2. Correlation between body length and body weight of pomfret

Table 2. Statistical analyses of mercury and selenium level of muscle of pomfret

x	y	r_s	$y = mx + b$		Fig. No.
			m	b	
(1) Body weight (g)	body length (cm)	0.78**	0.0281	17.9796	2
(2) " " "	T-Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.26	—	—	3
(3) " " "	MeHg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.48**	0.0000 ₂	0.0066	5
(4) " " "	selenium ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-0.17	—	—	7
(5) " " " (log)	Se/Hg* (log)	-0.71**	-1.0686	4.1422	9
(6) T-Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	MeHg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0.56**	0.3597	0.0089	6
(7) " " "	selenium ($\mu\text{g g}^{-1}$)	-0.29	—	—	8
(8) " " " (log)	Se/Hg* (log)	-0.97	-1.0755	-0.1060	10

* : Molar ratio

** : Significant at 0.01 level

r_s : Correlation coefficient

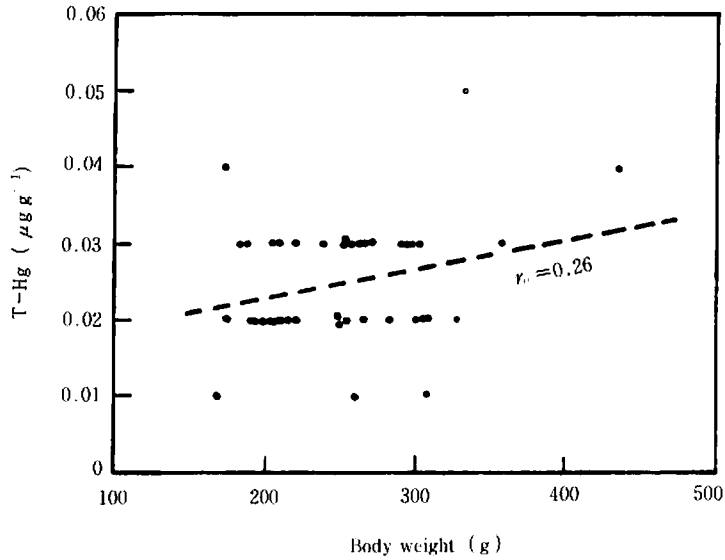


Fig. 3. Correlation between body weight and T-Hg in muscle of pomfret

T-Hgの測定結果について、その分布範囲と平均値はTable 1に示したように、0.01-0.05 および $0.03 \pm 0.001 \mu\text{g g}^{-1}$ である。雌雄別のT-Hgの平均値は雄 0.02 ± 0.001 、雌 $0.03 \pm$

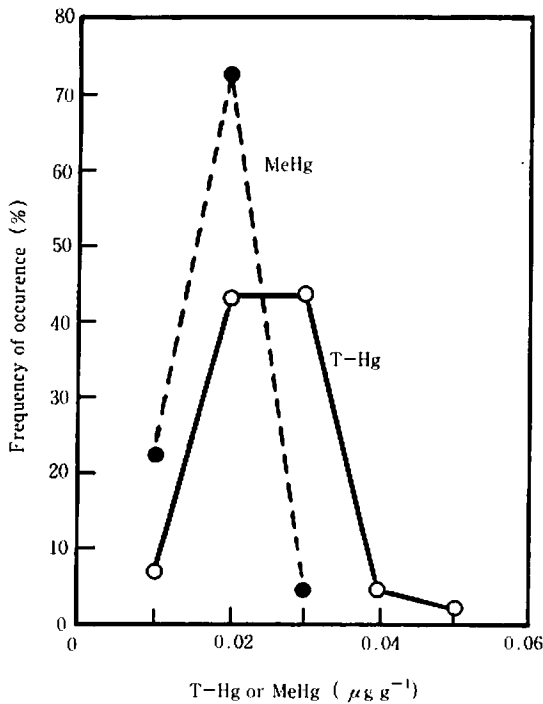


Fig. 4. Frequency of occurrence of T-Hg and MeHg in muscle of pomfret

0.001 $\mu\text{g g}^{-1}$ であるが、両者のt-検定の結果は $t_0 = -1.350$ で、雌雄の間に有意差は認められない。

試料魚の体重とT-Hg間の相関をFig. 3とTable 2に示した。すなわち、マナガツオ筋肉のT-Hgと生長度との間は $r_s = 0.26$ [$< r(40, 0.01)$]で、有意の相関は認められない。現在まで調査の対象とした海洋生物のほとんどの場合、筋肉中の水銀レベルは、その試料魚の生長度と有意の正相関が認められている。今回のマナガツオでは、その統計的有意性が認められなく、珍しい例と言える。

Fig. 4にT-Hgの頻度分布を示した。すなわち、T-Hg 0.02と0.03 $\mu\text{g g}^{-1}$ における頻度分布の合計は86.4%を占め、一方、試料魚体重の分布は、Fig. 2でうかがわれるように、広く、細かく分布している。このため両者間

に正相関が認められなかったと推察できる。

マナガツオの成魚では、体長が約60cmに達すると報告されているが⁴⁾、今回の試料魚の体長組成は18.5-29.5cmであり、比較的小型で、しかも、その分布範囲が狭かったことも、水銀レベルと生長度との関係を正確に検討できなかった一因であろう。

なお、筋肉の平均T-Hgが $0.03 \mu\text{g g}^{-1}$ であったことは、今まで調査した魚類の値と比較すると、プランクトンフィードとされるスケトウおよびマダラのレベルと一致しており⁵⁾、低水銀含有グループに入る。

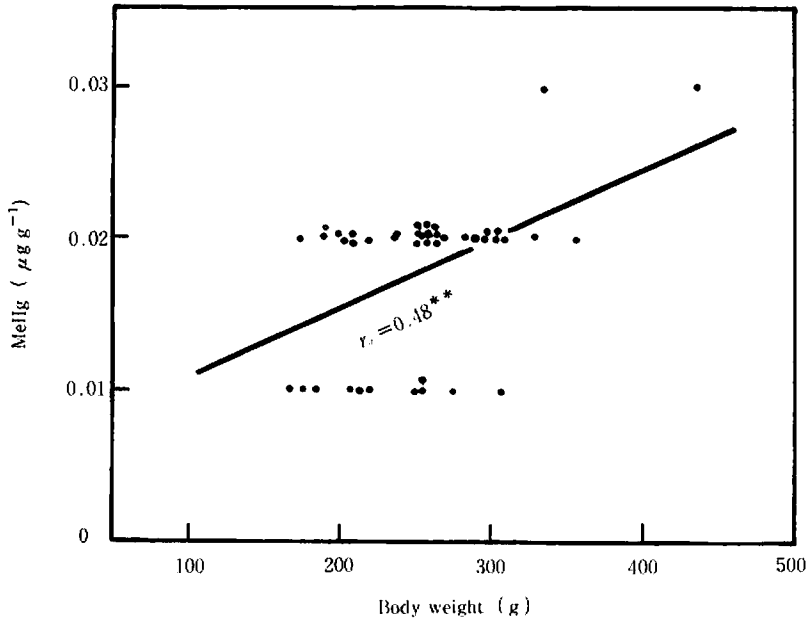


Fig. 5. Correlation between body weight and MeHg in muscle of pomfret

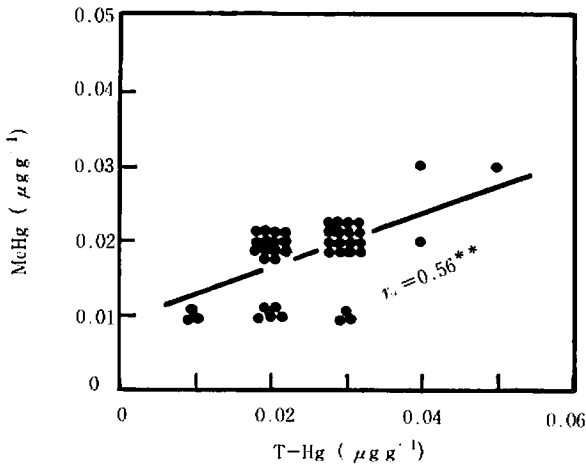


Fig. 6. Correlation between T-Hg and MeHg in muscle of pomfret

3・2 メチル水銀量

MeHgの測定結果はTable 1に示したように、分布範囲0.01-0.04、平均値 $0.02 \pm 0.0005 \mu\text{g g}^{-1}$ である。また、雌雄別の平均値は、共に $0.02 \pm 0.005 \mu\text{g g}^{-1}$ と等しく、有意差は認められない。試料魚の体重とMeHg間の相関をTable 2およびFig. 5に示した。両者の間には $r_s = 0.48$ [$>r(42, 0.01)$]の正相関が有意水準0.01で認められ、生長にともな

い筋肉中の MeHg が増加することが認められた。MeHg の頻度分布を Fig. 4 に示したが、 $0.02 \mu\text{g g}^{-1}$ が 72.7% を占めている。

MeHg と T-Hg の間の相関を Fig. 6 に示した。両者間には $r_s = 0.56 [> r(42, 0.01)]$ の一次相関が、有意水準 0.01 で認められた。また、MeHg / T-Hg の平均は $87.7 \pm 1.0\%$ であった。すなわち、マナガツオ筋肉の水銀は、ほとんど、メチル水銀態として含有されていると考えられる。このことは既報の他の魚類の多くの場合と同じ傾向にあると推察した。

3・3 セレン量

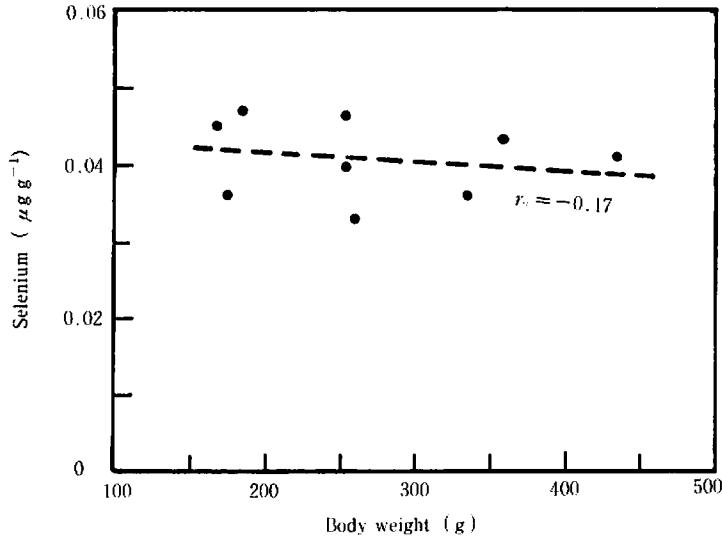


Fig. 7. Correlation between body weight and selenium in muscle of pomfret

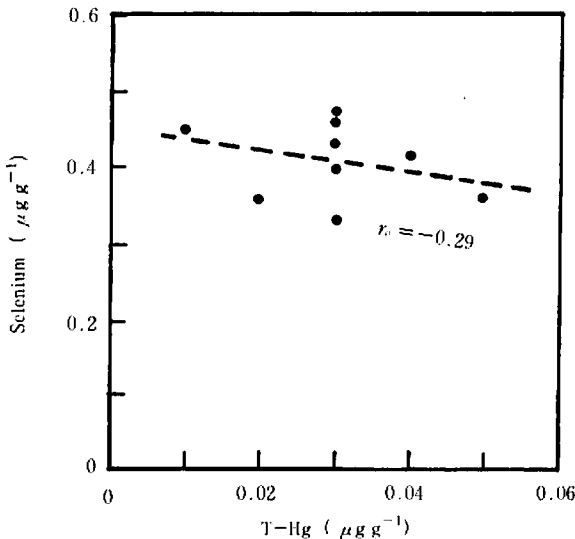


Fig. 8. Correlation between T-Hg and MeHg in muscle of pomfret

マナガツオ 9 試料についての測定結果は Table 1 に示したように、その分布範囲 $0.33 - 0.47$ 、平均値 $0.41 \pm 0.005 \mu\text{g g}^{-1}$ であった。また、セレンレベルと体重との相関を Fig. 7 に示した。両者の間には、Table 2 に示したように、 $r_s = -0.17$ で有意の相関関係は認められなかった。このことは、既報の他の魚類の場合と同じ傾向である。すなわち、海産生物中のセレンは必須元素としての役割を持つので、生長度に関係なく、ある一定レベルが保持され、水銀に伴われて筋肉に蓄積さ

れるセレン量は、比較的小さいので、生長度との間に正相関が認められないのであろうと推察した。筋肉中の T-Hg とセレン量の関係を Fig. 8 および Table 2 に示した。すなわち、両者の間は、 $r_0 = -0.29$ で、有意の相関は認められなかった。

海洋生物中の水銀は、セレンを伴っているなので、その毒性が低いと考えられている¹⁰⁾。この推察が正しいならば、生長に伴い水銀とセレンのモル比は、その生物の食物連鎖上の位置に対するモル比に近づくものと考えることができる。マナガツオ筋肉の T-Hg とセレン量とか

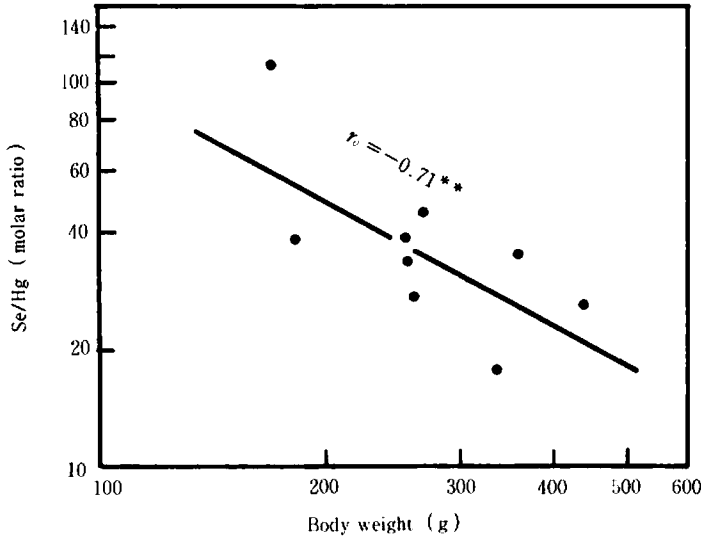


Fig. 9. Correlation between body weight and Se/Hg (molar ratio) of muscle of pomfret

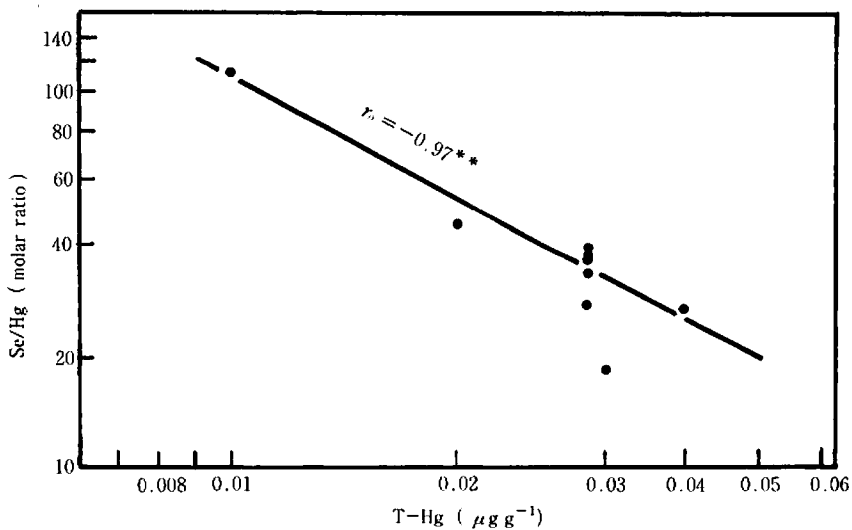


Fig. 10. Correlation between T-Hg and Se/Hg in muscle of pomfret

ら、両者のモル比（以下 Se/Hg と略記する）を求めた。その結果は Table 1 に示したように、分布範囲18.3-114.2、平均値 42.3 ± 28.2 で、ばらつきが大きい。試料魚の体重と Se/Hg の対数値間の相関を Table 2 と Fig. 9 に示した。すなわち、 $|r_0| = 0.71 [> r (7, 0.05)]$ で、有意水準0.05で両者間に負相関が認められた。すなわち、マナガツオ筋肉中の Se/Hg は、生長とともに低下することが推察できる。さらに、筋肉の T-Hg と Se/Hg の両対数値間の関係は Table 2 と Fig. 10 に示した。両者間には $|r_0| = 0.97 [> r (7, 0.01)]$ で負相関が、有意水準0.01で認められた。海水の水銀およびセレンのレベルは、ほぼ、 $5 \text{ ng l}^{-1(11)}$ および $0.09 \mu\text{g l}^{-1(12)}$ と報告されており、これらの値に基づくと、海水の Se/Hg は約50となる。今回の分析の結果、マナガツオ筋肉中の Se/Hg が約40で、イワシ筋肉の値と、ほぼ同じレベルであり、海水の値に近いことを示した。これは、マナガツオの餌が主として腔腸動物で、海洋生物の食物連鎖上の位置が低いことに関連しているであろう。

以上のように、海洋生物の食物連鎖上の位置に関する情報としては、単に筋肉中の水銀レベルを解析するだけでなく、同時にセレンレベルを求めることにより、より正確な推論が可能となるのであろう。

4. 要 約

東シナ海で漁獲したマナガツオ（雄20、雌22、性不明2尾）の筋肉の水銀とセレンの含量を測定し、次のような結果を得た。

- (1) 筋肉の平均 T-Hg は $0.03 \pm 0.00_8 \mu\text{g g}^{-1}$ で、北洋産マダラおよびスケトウのそれとほぼ等しい。しかし、マナガツオ筋肉の T-Hg と体重との間には、有意の相関は認められなかった。また、雌雄間には、その T-Hg に有意の差はなかった。
- (2) 平均 MeHg は $0.02 \pm 0.000_5 \mu\text{g g}^{-1}$ で、体重または T-Hg との間には、いずれも有意の相関が認められた。

MeHg の T-Hg に対する比の平均値は $87.7 \pm 1.0\%$ で、筋肉中の水銀は大部分がメチル水銀態として存在する。

- (3) セレン量（試料数9尾）の平均値は $0.41 \pm 0.00_5 \mu\text{g g}^{-1}$ で、体重および T-Hg との間には、有意の相関は認められなかった。Se/Hg（モル比）の平均値は 42.3 ± 28.7 で、イワシ類、マダラおよびスケトウの値と、ほぼ同じで、海洋生物の食物連鎖上の位置が極めて低いことを示している。

〔文 献〕

1) 例えば

甲斐徳久・上田 正・武田道夫・片岡昭吉：水産大研報、31、69-73（1983）

- 2) 武田道夫・上田 正：水産大研報、26、251-266 (1978)
- 3) 上田 正・武田道夫：日水誌、49、1731-1735 (1983)
- 4) 武田道夫・鶴田新生・片岡昭吉・長友洪太・富田輝雄：水産大研報、32、57-65 (1984)
- 5) 武田道夫・上田 正・片岡昭吉・乾 栄一：下関女子短期大学紀要、6、1-14 (1987)
- 6) 武田道夫・榎益猷二・富田輝雄・浜田盛承・勝浦 洋：水産大研報、23、145-153 (1975)
- 7) 上田 正・武田道夫：日水誌、43、1115-1121 (1977)
- 8) Horwitz, W. (ed) : Official Methods of Analysis of the AOAC, 12th ed., AOAC, Washington, p. 455-456 (1975)
- 9) 蒲原稔治：標準原色図鑑全集 魚、保育社、東京、p. 52 (1966)
- 10) 鈴木継美：微量元素と生体、秀潤社、東京、p. 32 (1987)
- 11) M. Nishimura, S. Konishi, K. Matsunaga, K. Hata, and T. Kosuga : *J. Oceanog. Soc. Japan.* 39、295-300 (1983)
- 12) 杉村勇行・鈴木 款・三宅泰雄：日海洋誌、32、235-241 (1976)