

水俣湾内魚類の水銀汚染と体 内蓄積量の算定に関する考察

四 宮 知 郎 *

1. はじめに

魚類の生長過程で体内に特定物質が蓄積される様態を考察することは、魚類生理学の研究分野であろうが、この様な研究の活発な進展が最近各方面においてきわめて必要になりつつある。

水俣病の発生は、メチル水銀が体内に高濃度に蓄積している魚を多食したことにより因するとされている。メチル水銀は一般に多くの生物にも体内に認められるが、魚以外の食物では大ていその量は僅少である。

現在、国は食用魚類可食部の水銀蓄積濃度を総水銀では 0.4 ppm、メチル水銀では 0.3 ppm をもって規制値限界とし、暫定的に定めている。そして昭和 48 年以降、国および関係各県では、必要と認めた水域の生息魚類を捕獲し、水銀量の測定を続けている。

水俣湾の底質はおそらく現在硫化水銀の状態であろうが、25 ppm を超える水域は埋立て、または浚渫することに定められ、現在実施中である。湾内および湾口付近に生息する魚の体内水銀量とその変動を知ることは工事中の水銀汚染を監視する上で肝要である。

2. 湾内捕獲魚類の蓄積水銀濃度

水俣病多発時の調査では、入鹿山、喜田村、藤木らの測定値があり、10 ppm をはるかに超す値を示したことも多い。しかし、昭和 48 年以降の測定では、平均値で最高 1 ppm 余、単独値で稀に数 ppm のものが散見する程度となっている。これらの高値は特定の魚種に限られておるが、水銀が新たに湾内に流入しない昨今でも、魚体内で著しい減少の傾向を示していない。

水産庁発表の湾内捕獲魚種の総水銀濃度（平均値）は第 1 表に示すとおり、0.4 ppm を限度として 3 部に大別される。—を付したものは実測値が多く、信頼度が高いものである。

* 九州東海大学教授、理博 熊本県公害防止事業監視委員会会長、当協会理事

第1表 水俣湾内の調査魚種とその蓄積水銀値

I. 平均値が毎回ほとんど0.4 ppmを超すもの

1 カサゴ	2 トカゲゴチ	3 イシモチ	4 マアナゴ	5 クロダイ
0.891	0.840	0.722	0.642	0.592
6 ウミタナゴ	7 マゴチ			
0.533	0.477			

II. 平均値が0.4 ppmを上下するもの

8 スズキ	9 カナガシラ	10 ササノハベラ	11 イヌノシタ	12 ヨチ
0.453	0.422	0.408	0.379	0.374
13 キュウセン	14 ヒガソフグ			
0.343	0.289			

III. 平均値がつねに0.4 ppm未満のもの

15 マコガレイ	15 イラ	17 ヒイラギ	18 アオリイカ	19 ヨウイカ	20 マダイ
0.288	0.288	0.261	0.251	0.246	0.242
21 ヒラメ	22 カワハギ	23 メバル	24 マダコ	25 トカゲエソ	
0.219	0.213	0.194	0.191	0.162	
26 アカシタビラメ	27 タチウオ	28 カイワリ	29 マアジ	30 メジナ	
0.160	0.160	0.150	0.139	0.130	
31 アカエイ	32 クボアジ	33 マエソ	34 コノシロ	35 ボラ	36 アイゴ
0.122	0.121	0.121	0.065	0.046	0.043
37 ウマヅラハギ					
0.037					

3. 蓄積濃度の経年変動

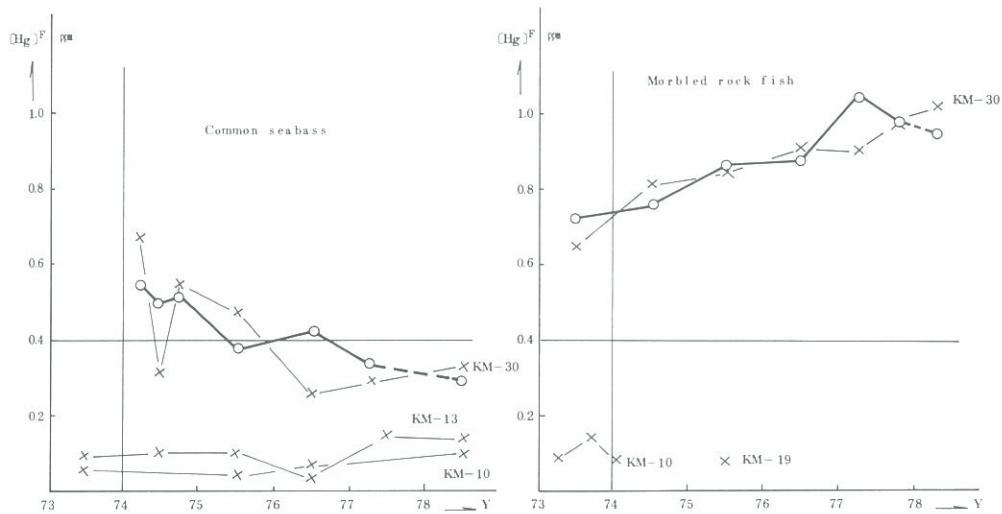
第1表の蓄積濃度は各魚種とも昭和48～53年の間の測定総平均値であるが、その中の4魚種について各測定時値をとり、経年の変動をみると第1図に示すとおりである。

なお、調査水域に番号を付記した地図を第2図に示す。

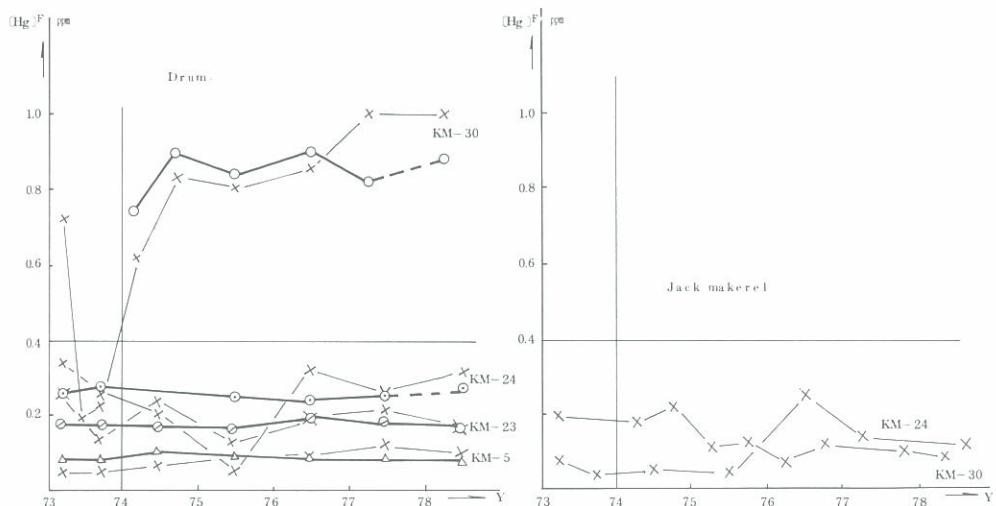
注目すべき諸点は次のとおりである。

- (1) 魚種について：第1表の通り、イシモチ Drum カサゴ Morbled fish は蓄積濃度が高く、マアジ Jack mackerel は低い。スズキ Common seabass はその中間である。
- (2) 水域について：湾内 KM-30 は蓄積濃度が大で、湾口 KM-24 を経て湾を離れ小となる。

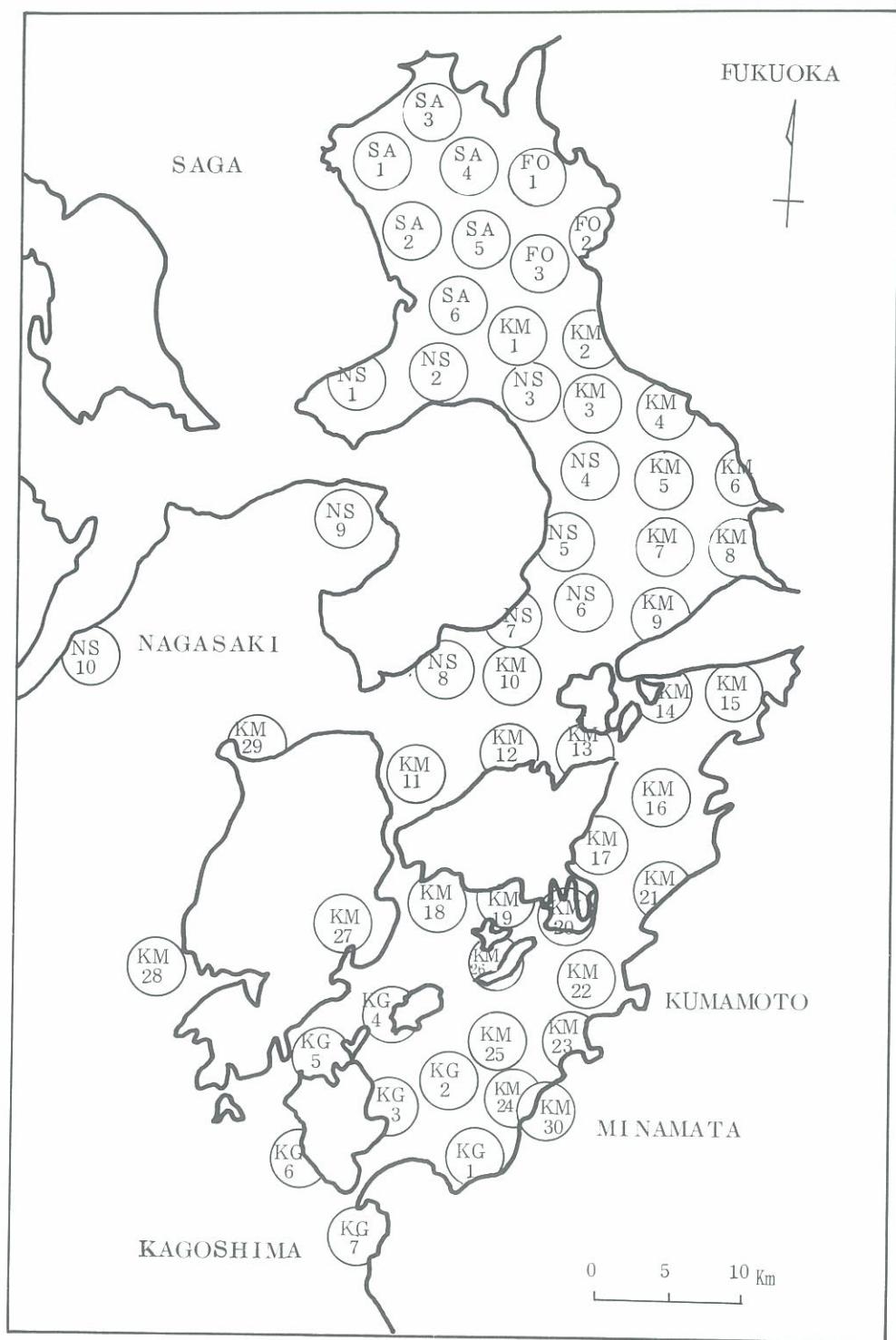
湾内、湾口および湾外の各水域は、後に述べるように底質に存する水銀量に著しい相違がある。これに対応する蓄積濃度は前掲4魚種のうち、カサゴが最



Marbled rock fish



第1図 各魚別水銀蓄積量の経年変化



第2図 調査水域

大でイシモチこれに次ぎ、マアジは最小で対応の存否も定かでない。

多くの測定値の中には僅かであるが、平均値をかなり上まわる過大・過小値がある。有明海、八代海、および水俣湾内を除く全水域では、可食部に 0.4 ppm 以上の総水銀平均値（メチル水銀は 0.3 ppm）を示す食用魚は発見されていない。

4. 蓄積濃度の検討

(1) 検体値、測定値、および公表値

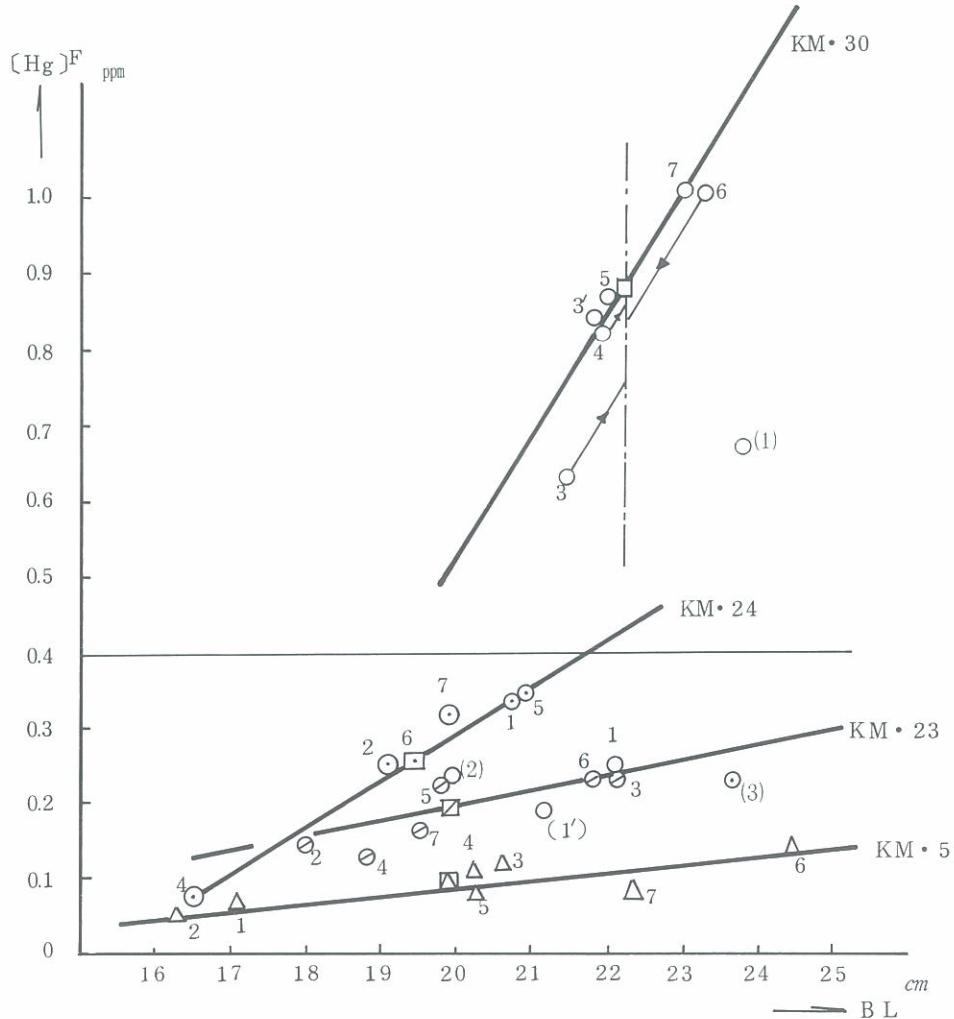
測定魚の採取は年に 1～2 回行う。毎回の試料魚は 1～数尾をあつめて 1 検体とし、体長および体重を測った後、各魚の可食部を合わせて水銀値を測る。このようにして 1 検体値を作り、約 10 検体値を表記してその回の測定値とする。毎回の測定値中、全検体の体長、体重の最高、最低値とその平均値は毎年公表されるが、これを公表値と呼ぶ。

(2) 蓄積濃度勾配

第 3 図はイシモチについての体長と水銀蓄積濃度との関係を示す。すべて昭和 48～52 または 53 年度の値であり、湾内 KM-30 と湾口 KM-24 両水域は測定値より、その他の 2 水域（KM-23、KM-5）のものは公表値により、確率計算によって求めた。これらの各値は正規分布に従うものと推定され、相関直線 Y、濃度勾配 m、試料平均値 M、標準偏差 σ_{n-1} および相関係数 r を第 2 表に示した。

第 2 表 イシモチの体長－水銀蓄積濃度の相関

KM	Y = mX + b		M		σ_{n-1}		r
	m	b	BL cm	$[Hg]^F_{ppm}$	BL cm	$[Hg]^F_{ppm}$	
30	0.145	-2.391	2.2408	0.872	2.033	0.397	0.742
24	0.062	-0.962	1.9514	0.254	2.420	0.177	0.851
23	0.019	-0.202	2.0364	0.198	1.899	0.050	0.742
5	0.007	-0.067	2.0378	0.090	2.845	0.028	0.781



第3図 イシモチの体長と水銀蓄積濃度

KM	表示記号		西歴年次一回数						
	各回	平均	73-1	73-2	74	75	76	77	78
30	○	□	(1),(1')	(2)	3,3'	4	5	6	-
24	◎	■	1	2	(3)	4	5	6	-
23	⊖	▢	1	2	3	4	5	6	7
5	△	▣	1	2	3	4	5	6	7

イシモチの体長はその水銀蓄積濃度とかなり関連の著しいことを示す。この魚は底質水銀量と敏感な対応を示し、生長とともに著しい体内濃縮をするものと考えられる。

湾内魚については次の報告がある。各魚を濃度勾配m値を付して、第1表記載順に列記すると、カサゴ(0.091)、クロダイ(0.0495)、スズキ(0.0217)マダイ(0.009)、メバル(0.012)、マアジ(0.0093)、メジナ(0.0011)およびボラ(-0.00004)。m値はマダイを除いて順次減少している。濃縮の速い魚種はまた蓄積濃度も著しい結果となっている。ボラのm値はここでは負数となったが、成長した大魚でも可食部の水銀汚染はないことを示している。

(3) 蓄積濃度の規整

経年変動を求める場合、毎回の蓄積濃度値は濃度勾配を考慮して、ある定長の魚の値を用いる必要がある。平均体長(第2表M値)の濃度に換算した値を用いた変動を第1図に太線をもって示した。変動は非規整の場合より余程なだらかなものとなった。スズキ、カサゴについても同様に処理し、似た結果となっている。蓄積濃度の変動はその体長よりも年令を考慮すべきであろう。また、生息環境、季節、平時か繁殖時期か、雌雄差、個体差によってそれ相違するため、詳細は今後の研究にまたねばならない。

5. 底質水銀量との関連

(1) 濃度勾配mとの相関

水俣湾内に限らず、有明海・八代海は広域にわたり底質に水銀の存在が認められている。また、その大部分の水域で採取したイシモチの蓄積水銀濃度が認知であるので、この関係を第4図に示すが、相関式としては次式がえられた。

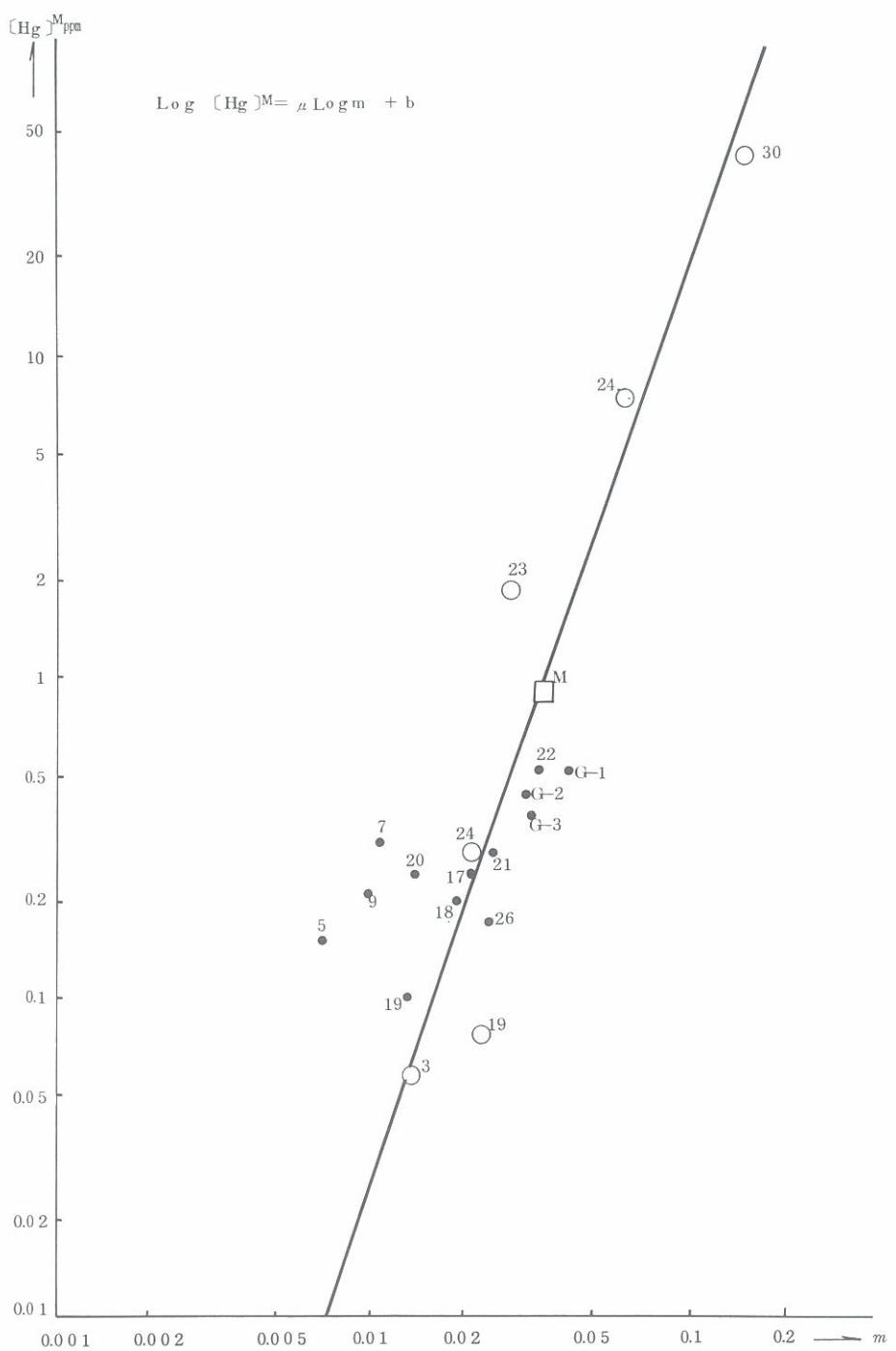
$$\log [Hg]^M = 2.8 \log m + 4.1$$

ここに、 $[Hg]^M$ は各水域における底質中の水銀濃度(ppm)であり、水域各設定点(経・緯度決定)値であるが、底質分析値は定位置で同時刻採取したものでも再現性は余りよくないことを認めねばならない。

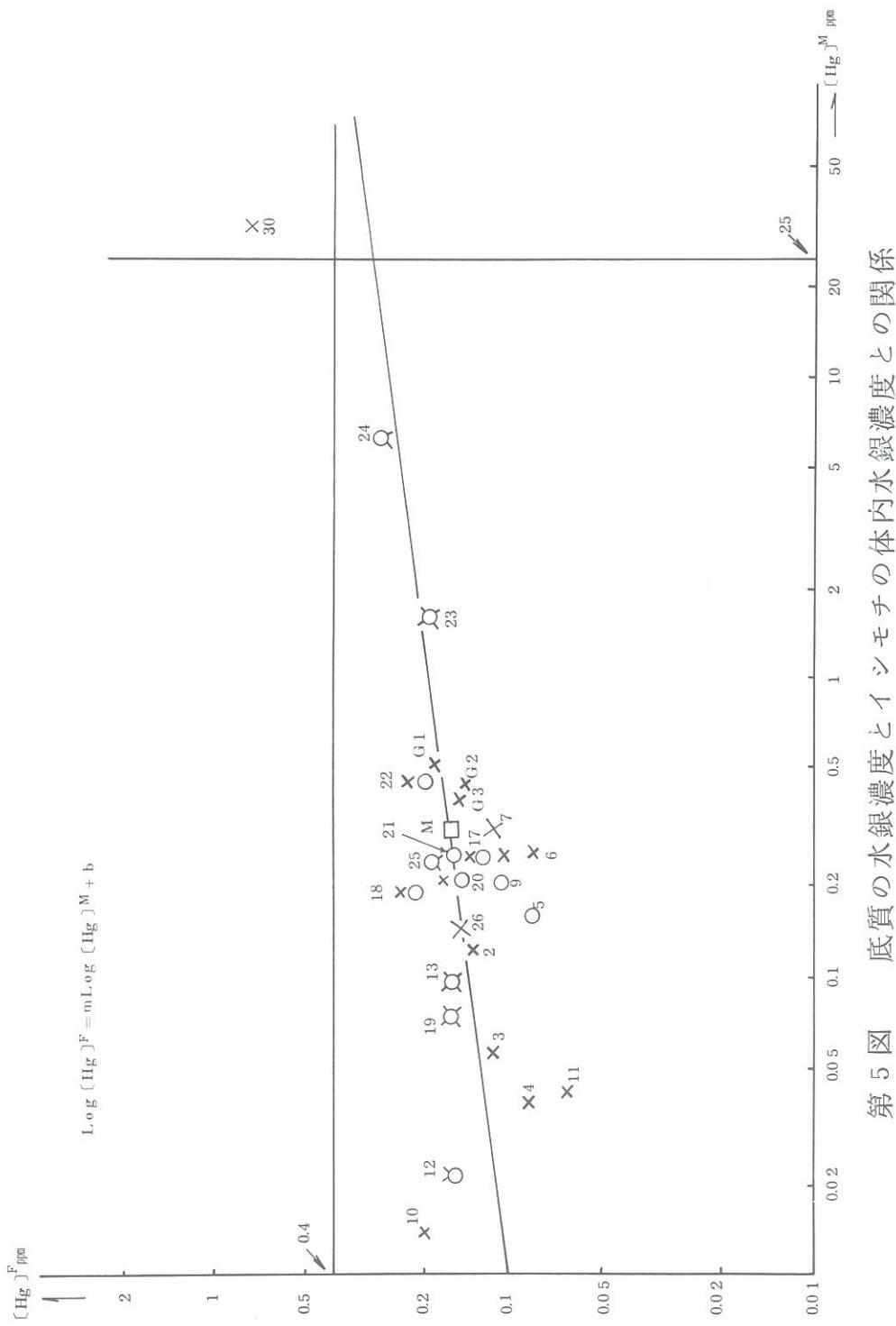
(2) 魚体水銀濃度との相関

底質の水銀濃度と魚体の水銀濃度の関係をイシモチについて第5図に示す。

第5図中の×点は実測値、付記の数字はKMの水域番号、KGは鹿児島県担当の値である。○点は規整値であり、規整効果も現われているので、これらの値だけを用いた。規整しなかった水域値は実測少なく、信頼性に乏しいので用いなかった。また、湾内値はその環境が特異なため合一して用いられないもので、別に取扱うことにして、ここにKM-30値は比較までに記入した。採用検体数は約800である。



第4図 イシモチにおける底質水銀量と濃度勾配との関係



第5図 底質の水銀濃度とイシモチの体内水銀濃度との関係

$$\text{Log}[\text{H}]^F = 0.139 \text{Log}[\text{Hg}]^M - 0.723$$

総平均値〔底質 0.298 ppm、魚体 0.159 ppm〕

$$\text{標準偏差} = \frac{M}{\sigma_{n-1}} 0.523 \text{ ppm}, \frac{F}{\sigma_{n-1}} 0.126 \text{ ppm}$$

$$\text{相関係数} r = 0.576$$

両対数相関は公害汚染の因果関係によく示される結果である。イシモチによるこの結果は魚の水銀汚染が底質水銀（無機体）と関連する結果を示している。何故にこのような結果になるかは今後の問題である。

イシモチは従来より調査に用いられる魚種中①最高の濃度勾配 m ②カサゴに次ぐ蓄積濃度③広域で採取可能の 3 条件を備えた調査の好適魚である。カサゴは、 m 値がイシモチに次ぐも広域に生息せず、湾外実測値は極めて微量である。（第 1 図参照）。

第 5 図において、イシモチが底質 25 ppm 以下の水銀値の水域に生息するとして、この図より求めた蓄積濃度は 0.3 ppm を超えない。湾外ではいずれの水域でも魚の水銀蓄積濃度（実測値）はさほど大ではない。

6. 今後の監視について

(1) 水銀蓄積濃度の変動

第 1 図 KM-30 の実測値は昭和 48 ~ 49 年の間に数値の激増を見る。これは、網張りによる湾内魚封じ込めの結果かと思われる。以後も網張り封鎖は続き、53 年以後は更に強化して二重網を用いている。湾内の底泥浚渫は未だ始っていないので、定濃度でしかも高濃度の底質水域の魚は現在まで次第に蓄積濃度を増加している。詳細は今後にゆずり概要を示すと、湾内、湾口とも多く採取可能の 10 魚種を選定し、毎年次測定値によって変動を監視している。第 3 表に概略を示す。

第 3 表 湾内封じこめ魚種の水銀蓄積傾向

No.	選定魚種	経過 月数(1)	傾向線 $Y = mx + b$		蓄積量 ppm y 2) 第1表値	No.	選定魚種	経過 月数(1)	傾向線 $Y = mx + b$		蓄積量 ppm y 2) 第1表値
			m	b					m	b	
1	イシモチ	A	0.004	0.51	0.89	6	スズキ	A			(0.35)
		B	-0.007	1.08	0.79			B	-0.004	0.48	0.30
2	ウマヅラハギ	A			(0.07)	7	ボラ	A			(0.04)
		B	-0.001	0.10	0.05			B	-0.0002	0.04	0.04
3	カサゴ	A	0.007-	0.58	1.30	8	マアジ	A			(0.12)
		B	0.007+	1.02	1.35			B	-0.002	0.16	0.04
4	クロダイ	A	0.005	0.19	0.72	9	メジナ	A	0.001	0.07	0.21
		B	-0.009	1.04	0.63			B	-0.002	0.23	0.12
5	ササノハベラ	A	0.002	0.40	0.64	10	メバル	A	0.003	0.12	0.41
		B	0.001	0.57	0.61			B	0.0004	0.35	0.37

1) A : イシモチで昭和 48 年以降、その他の魚で 49 年以降、いずれも 55 年末まで。

但し、ウマヅラハギは 53 年初 ~ 54 年末。

B : すべての魚で 54 年 4 月 ~ 56 年 6 月。

2) 56 年 6 月の算定値

表中 A , B の蓄積値をくらべると、イシモチ、クロダイ、マアジ、メジナは B 値の方がかなり少ない。

さらに、第 1 表に示した該当値と比較すると次の結論を得る。はじめ、水俣湾の魚封じこめ以前の蓄積量（第 1 表値）は網張りによって急激に増加した（スズキ、ボラ、マアジは例外）。その頃の傾向線（A の場合）による変移はしばらく続くが、次第に飽和量に近づくため、この直線によらず傾向線 B による。即ち蓄積增加の速度は減少し、魚種によっては減少に転じることが認められる（m 値）。

封じこめ後の現在において、選定 10 種の魚のうちカサゴ、イシモチ、クロダイおよびササノハベラは蓄積量多く、ボラ、マアジ、メジナおよびウユヅラハギはつねに蓄積量の少ない魚種である。

(2) その他の監視事項

湾内には養魚槽を浮べ、この中でマダイ、メジナを小割飼育して 6 ヶ月間の蓄積濃度を測定している。湾内および沿岸に海水、地下水などの監視点を設けて、総水銀、濁度、ヒ素、鉛、油分、PH、COD、DO、 Cl^- 、 NO_3-N 、 PO_4-P などを測定している。今までこれらの値に著しい異常は認められない。

7. おわりに

本報は都合により発表の遅延していたものであり、多数測定値の詳細な算定によるものであるが、要点のみを記した。引用文献その他は特に記載しなかった。