

徳志別川鮭鱒被害調査(II)

高安三次 木村義一

Research on the Deach of Salmon in the Tokusibetsu River (2)

Mitsugu TAKAYASU and Gi-ichi KIMURA

In the course of investigations, it became clear that the hardness of the river water was extremely low. The hardness was always less than 0.7° dH. in the every part of the river.

Doudoroff, and the other authorities reported that in the case of soft water, toxicities of heavy metal ions were intensified. They revealed also Cu- and Zn- ions coexists in a solution, the toxicity was intensified synergistically.

The authors investigated the rate of toxicities of the solution in the water of 0.7° dH, and contain 1 : 10 : 2.5 of Cu, Zn and Pb ions. As the results of these experiments the authors determined the median tolerance limit (TLM₄₈) of these solutions are in the vicinity of 0.025-0.035 ppm as Cu, whereas the minimum lethal dose, "M.L.D." the minimum concentration that kills the first one of the test fishes, is about 0.01 ppm as Cu.

The concentrations of the river water ranges about 0.0058-0.012 ppm asCu. Thus it became clear that fishes die when the concentration exceeds the limit of M.L.D., and do not die under M.L.D. The authors emphasize that M.L.D. is an important criterion to discuss the death of fishes under such circumstances.

目 次

- 昭和37年度に於ける調査概要
- 昭和38年度以降の調査
 - I 昭和38年度被害の概況
 - II 重金属塩類の毒性と水の硬度に関する試験
 - III 徳志別川河川水の硬度
 - IV 銅, 亜鉛, 鉛等が軟水中に共存する場合の魚に対する毒性試験
 - V 徳志別川河川水中の銅, 亜鉛, 鉛等の分析結果
 - VI 塩化石灰の添加による被害防除試験
 - VII 総括并に結論

昭和37年度中に於ける調査概要

1) 徳志別川に於て鮭, 鱒親魚(主として桜鱒)の大量斃死事件が発生し, 昭和36年には約12,000尾, 昭和37年には約20,000尾の沂上親魚が斃死した。

- 2) 徳志別川支流オファンタルマナイ川の上流にある本庫鉱山の坑内水中に著量の銅、亜鉛が検出された。
- 3) 坑内水を1/300に薄めた液中でサケ稚魚は48時間以内に死し、1/400では50時間内外で死んだ。又オファンタルマナイ川の河中に設けた生簀中で鱒成魚は48時間以内に斃死した。之等によつて被害は本庫鉱山の廃水によるものと推定した。
- 4) 然し乍ら被害現場である河口附近の河水中から分析された銅、亜鉛等の量は極めて少なく、従来の文献に徴しても銅、亜鉛のみの影響としては説明困難であつた。それ故銅、亜鉛の外に何等か補助的原因があつて、これが毒性を強化したものと考へた。
- 5) 昭和37年7月頃は河川随所に暗青色の浮泥状沈澱物が見られ分析の結果選鉱残滓の微粒子と推定された。(成分乾物100分中 Cu 0.045~0.23, Zn 0.016~0.27, Pb 0.073~2.53) このものの魚に対する毒性に既て二、三の実験を行つたが、その結果は区々で確定的の結果を得なかつた。然し昭和37年7月末19号台風で増水の際、これ等の沈澱物は一度に洗い流されたが、その際下流に於て従来見なかつた程の大被害が起つたことから見て、これ等の沈澱物が相等な毒性をもつものである事が推定された。
- 6) 徳志別川の河岸随所に炭酸泉の湧出がある。これ等の炭酸泉と被害との関係に就ても追及したが、決定的結論は得られなかつた。

昭和37年度中に於ける調査は以上の通りで、徹底的の結論を得ずに了つたが、鉱山から排出される坑内水中には著しい量の銅、亜鉛等の重金属塩が含有されていることは明らかなので、石灰で処理するよう鉱山保安監督局を通じて鉱山側に要請した。(坑内水は当時無処理の儘河川に放流されていた。) 鉱山側も之れを了承し、新たに沈澱池を造成して坑内水を導入し、消石灰を加へて静置沈澱せしめたる後、その上澄水のみを放流する様に改めた。此工事は昭和37年11月中に完成した。坑内水の水量は0.5~1.2 m³/min 程度であるが、之れに対し 200 kg/day 内外の消石灰を加へ、静置沈澱せしめ、pH 9.80 内外の透明なる上澄液のみを放流することに改めた。此結果下流に於ける被害は多少軽減されたが、猶完全に被害を防除し得るには至らなかつた。(昭和38年度の被害状況(後出)参照)

昭和38年度以降の調査

I 昭和38年度に於ける被害の概況

徳志別川に於ける鮭鱒親魚斃死数は、昭和36年度に於ては12,000尾内外、昭和37年度に於ては大凡20,000尾内外と推定されている。之れは蓄養池内の斃死のみでなく、河川内で斃死したもの、斃死して海岸に打寄せられたもの等の推計であつて、聞取り等による概数である。

昭和38年度に於ける斃死数も、蓄養池内の斃死数以外は聞取り等による概数であるが10月20日現在で大凡次の通りである。

(1) 昭和38年度捕獲数、蓄養数、蓄養池内斃死数

	捕獲数			蓄養数			斃死数		
	雌	雄	計	雌	雄	計	雌	雄	計
桜 鱒	74	56	130	66	6	72	52	2	54
樺 太 鱒	833	1,495	2,328	824	508	1,332	78	17	95
鮭	140	146	286	132	42	174	31	7	38

(10月20日現在)

計 187尾

(2) 河川に沂上したものの内流れ来つたもの。及び土地の人が拾得した数(見込)概数

(イ) 河川に沂上したものの内流れ来つたもの

桜 鱒	850~900尾	} ……………計 1,410~1,500尾
樺 太 鱒	440~500尾	
鮭	120~150尾	

(ロ) 土地の人が拾得したもの

徳志別川鮭鱒被害調査(Ⅱ)

桜 鱒	580~680尾	} 計 970~1,090尾
樺 太 鱒	330~370尾	
鮭	60~90尾	
(イ) 止めの下流で斃死したもの		
桜 鱒	620~650尾	} 計 1,140~1,310尾
樺 太 鱒	440~560尾	
鮭	80~100尾	
(ニ) 海岸に打寄せられたもの		
桜 鱒	30~50尾	} 計 90~150尾
樺 太 鱒	40~65尾	
鮭	20~35尾	

以上斃死の合計は3,797~4,287尾となるが、元よりこれは概数であるから全体で4,000尾内外と見れば大差ないであろう。

一方折上した親魚の総数は、桜鱒は38年は不漁で37年の3割程度と見られて居り、樺太鱒は37年より稍多く、鮭は大体37年同様とのことであるから、全体として37年より稍不漁と見られ、彼是総合して被害の程度は37年と同様か或は多少少ない程度であるが依然として相当多数の斃死魚を出して居る現状である。

以上の様に38年は鮭鱒の遡上状況も37年に比して減少したが、被害状況も多少緩和されたとは云え依然として相当多数の斃死魚を出した。よつて更に被害原因を追及し、更に進んで之れが防止方法を研究するため二、三の試験調査を行つた。以下之等試験調査の結果に就て述べる。

II 重金属塩類の毒性と水の硬度に関する試験

本試験は最初別の目的で計画し、施行したものであるが、後に此問題と至大の関係を有する事が判明したのでその結果の概要を茲に掲記する。

重金属塩類の魚に対する毒性に就ては古来幾多の研究がある。然し多くの学者によつて発表された魚族に対する有害極量は甚だ区々で、その結果は可なり広い汎囲に亘つている。その数例を挙げると、或る学者は4吋の bass が硬水中で 150 ppm の硫酸銅 (37.5 ppm as Cu) に堪え、1吋の bass は 80 ppm の硫酸銅 (20 ppm as Cu) に堪えたと報告している(1)。Thomas は海水中で mummichog が 30.0 ppm の硫酸銅 (7.5 ppm as Cu) に堪えたと述べ(2)、Marsh and Robinson は Large mouth black bass が 10 ppm の硫酸銅 (2.5 ppm as Cu) では24時間内に死ぬが、5 ppm では5日間死ななかつと述べている。然し多くの学者は 1~4 ppm の銅塩 (0.25~1.0 ppm as Cu) が致死性的、又は安全最高限界であると報告して居り、Powers, Jones 等は軟水中では 0.01~0.02 ppm (as Cu) で既に魚に対して有毒であるとしている(3)。これらの違つた結果は試験に用いた魚種の違いや、実験方法、実験条件の違いにもよるであろうが、特に使用した水の硬度に関係することが極めて大きい。

重金属塩類の毒性が水の硬度によつて相違することは Doudoroff その他の学者も述べているが(4)、余は此間

第1表 硫酸亜鉛の稚魚に対する毒性

試験水の硬度°dH	TLM (48) 48時間中に試験魚の半数が死する濃度、補間法で求めた (Zn ppm)	M.L.D. (最小致死濃度) 試験魚の一部が死する最小の濃度 (Zn ppm)
0	0.27	0.08
0.64	2.0	1.0
1.27	4.1, 3.8, 3.4, 平均3.8	3.58, 3.57, 2.0
1.78	10.75	7.17
3.0	10.5	7.0~8.0
4.27	11.0	6.0
5.0	11.0~12.0 (稍不確実)	10.0
10.0	11.74	9.93

の関係を更に明らかにする目的で、先づ硫酸亜鉛の毒性と硬度との関係に就て試験した。

試験は昭和38年4月31日から同年6月13日迄の間に、北海道千歳市蘭越、北海道鮭鱒孵化場千歳支場で行った。

試験に使用した材料魚は同場にて孵化した鮭稚魚（孵化後8～9週、全長3.8cm前後）である。

試験用器は内容5ℓ内外の硝子製バットで、此中に試験水3ℓと、試験魚10尾宛を入れた。バットを8℃の水流中に置き試験中の水温を8℃に保たしめた。

斯くして亜鉛の濃度と用水の硬度を種々に変化させ、1～2時間毎に試験魚の動静を観察し、48時間の観測を行つた。その結果を要約すると第1表の如くである。

（詳細は別報「硫酸亜鉛の毒性と水の硬度との関係に就て」水産孵化場研究報告 第18号参照）

上表中“最小致死濃度”（Minimum Lethal Dose, M.L.D.）とあるのは、試験魚の内1尾でも48時間内に斃死した最小量であつて、余が仮りに命名したものである。徳志別川に於ける被害状況を見ると、遡上魚の全数或

は半数程度が斃死すると云うような場合は寧ろ少なく、僅かに遡上魚の一部（10～20%）が斃死する場合が多い。斯かる被害の判定にはM.L.D.（最小致死濃度）の方が参考になる様に思はれたので特に斯かる濃度に注意した。M.L.D.は一般に採用されている“忍限量” $TLM \times \frac{1}{10}$ よりは可なり大きい値を示すが、個体差が大きく現はれるので、結果が不定で、一致した値を得難い。

以上の結果を図上にプロットしたものが第1図である。

以上の結果は試験の性質上可なり不規則で、殊にM.L.D.は結果のバラツキが甚しかつたので、曲線は或程度想像を加へて描いた、

以上により亜鉛の毒性が硬度に

よつて甚しく相違することが明らかになつた。硬水の場合に比し、軟水の場合には毒性が数10倍に強烈である。而してその毒性の変化する状態（硬度の増大に伴う毒性減退率）は0°dHから2.0°dH程度までは極めて急激であるがそれ以上になると極めて緩やかである。

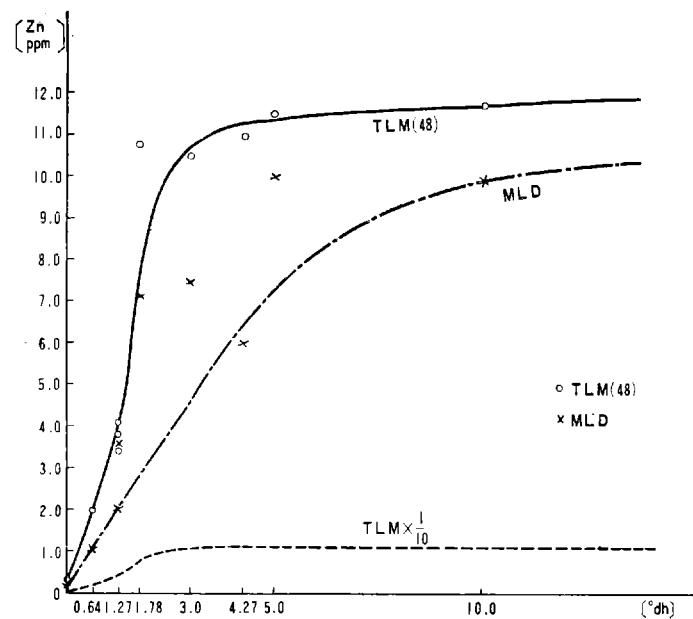
重金属塩類の毒性に水の硬度が至大の関係を有することが明らかとなつたので、徳志別川の河水の硬度を精査する必要を感じ、直ちに現場に急行して河川随所の硬度を検定した。

Ⅲ 徳志別川河川水の硬度

昭和38年5月徳志別川本支流の随所に就て硬度の測定を行つた。測定はEDTA法によつた。その結果は第2表の通りである。猶之等観測点の概略の位置を第2図に示す。

徳志別川の河水は概ね0.7°dH内外で、可なり高度の軟水であることが判明した。そのために銅、亜鉛等の塩類の毒性が異常に強化されたものと考へられる。河水から検出された重金属の量は前述の様に極めて微量であるが、河水が高度の軟水であつたために異常に毒性が強化され、上述の様な被害が起つたものではないかとの疑がもたれた。

猶茲に注目すべきことはオフタルマナイ川の上流及びその支流、並びにオフタルマナイ川合流前の徳志別川本流等鉦山廢水に関係ない部分は何れも0.7°dH以下で特に硬度が低い、オフタルマナイ川の鉦山より下



第1図 硫酸亜鉛の致死濃度曲線

徳志別川鮭鱒被害調査(Ⅱ)

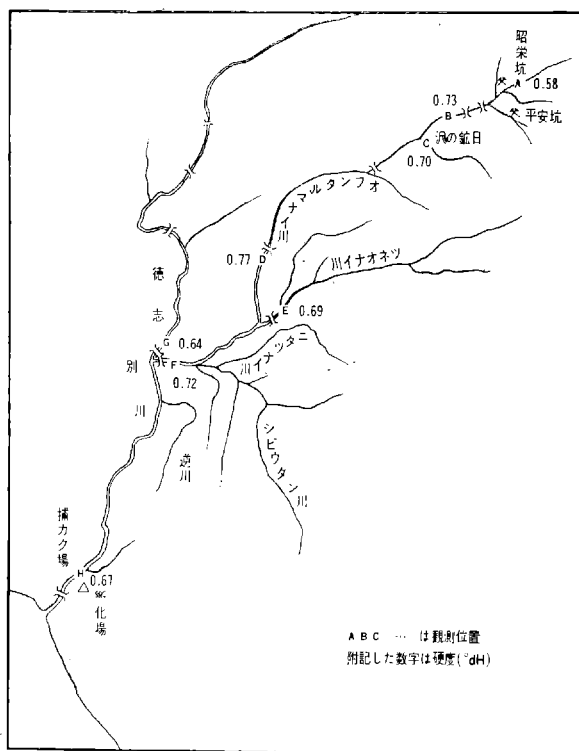
第2表 徳志別川河川水の硬度

番号	地 点	as CaO ppm	°dH
A	オファンタルマナイ川 (鉦山より上流)	5.84	0.58
B	オファンタルマナイ川 (鉦山の下流, 末広橋附近)	7.30	0.73
C	同支流, 日鉦の沢	6.98	0.70
D	オファンタルマナイ川 (豊国橋附近)	7.68	0.77
E	同支流, ツネオナイ川	6.86	0.69
F	オファンタルマナイ川 (本流との合流点の上流)	7.24	0.72
G	徳志別川本流 (オファンタルマナイ川との合流点の上流)	6.35	0.64
H	ク (ふ化場附近)	6.73	0.67

流は何れも 0.7°dH 以上で多少硬度が高くなっている。これは鉦山に於て選鉦の工程, 並びに坑内水の中和に相当量の石灰を使用するので当然のことではあるが, それにしても可なり量の石灰が毎日加へられているにも拘はらず, 硬度の増大は極めて微々であり, 人為の力が自然力の前には如何に微力であるかを如実に物語るものとい

う可きであろう。

以上によつて徳志別川が軟水であるということが今回の被害と至大の関係をもつと想像されたので, 0.7°dH の軟水の場合重金属塩類の毒性がどの程度強化されるかを実験により確かめる必要を生じた。徳志別川の河水中には微量ではあるが銅, 鉛, 亜鉛等の重金属塩類が共存している。これ等の金属が共存する場合その毒性は Synergistic に作用し, それぞれの金属が単独に存する場合より毒性が著しく強化されることを Doudoroff 等は述べている。彼等によれば 0.025 ppm の銅と 1.0ppm の亜鉛を硫酸塩として軟水中に混合したものは (恐らく 2.0°dH 内外の軟水であろう) 0.2ppm の銅, 若しくは 8.0ppm の亜鉛単独の場合より速やかに Minnow を殺すとのことである。徳志別川の河川水中には, 従来の分析結果から見ると, 銅, 亜鉛, 鉛の三者が大凡 1 : 10 : 2.5 の割合で共存している。よつてこれらの重金属塩が斯かる比率で混合され, 共存した場合 0.7°dH の軟水中で魚族に対して果してどの程度の毒性を示すかということに関する試験を行つた。



第2図 硬度測定地点略図

IV 銅, 鉛, 亜鉛等の塩類が軟水中に共存する場合の魚に対する毒性試験

本試験は昭和38年6月中千歳市, 蘭越, 北海道鮭鱒ふ化場千歳支場に於て行つた。

試験に使用した容器は前回同様, 内容5ℓ内外の硝子製バットで, これに試水3ℓ宛を入れた, 試験中の水温は8°Cとした。

試験魚としては次の2種を用いた。

1. 鮭稚魚, 千歳川より採取せるもの。推定ふ化後 120 日内外の稍々大型のものである。全長平均 5.16cm, 体重平均 0.909g, 1回の試験に7尾宛を使用した。
2. ヒメマス稚魚, ふ化後 9~10週内外, 全長 2.5cm 内外のもの。一回の試験に10尾宛を使用した……サケ稚魚

欠乏のためヒメマス稚魚を使用したのであるが、別に試験した結果、毒物に対する抵抗力はふ化後9～10週内外のサケ稚魚と大差ないことを確かめた。

試験の結果を次のグラフ～1……グラフ～6に示す。

(グラフ-1)

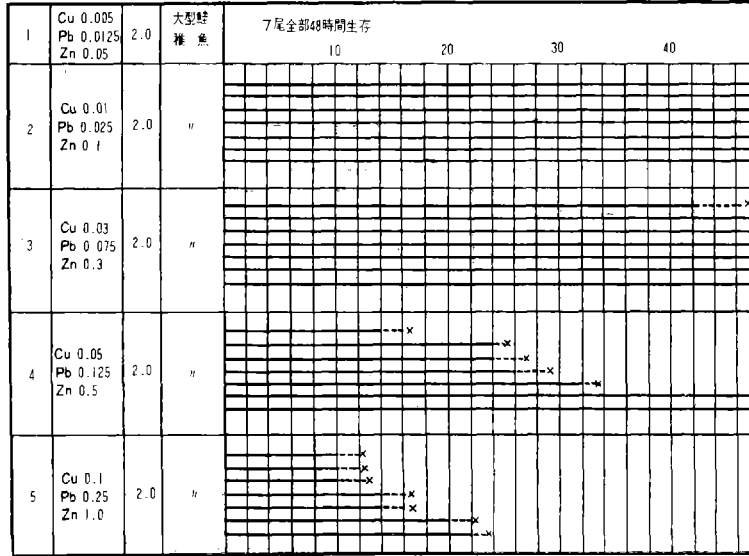
試験 番号	濃 度 (ppm)	硬度 (dH)	試料魚	試 験 結 果			
				10	20	30	40
1	Cu 0.001 Pb 0.0025 Zn 0.01	0	大型鮭 稚 魚				
2	Cu 0.003 Pb 0.0075 Zn 0.03	0	"				
3	Cu 0.005 Pb 0.0125 Zn 0.05	0	"				
4	Cu 0.01 Pb 0.025 Zn 0.1	0	"				

(グラフ-2)

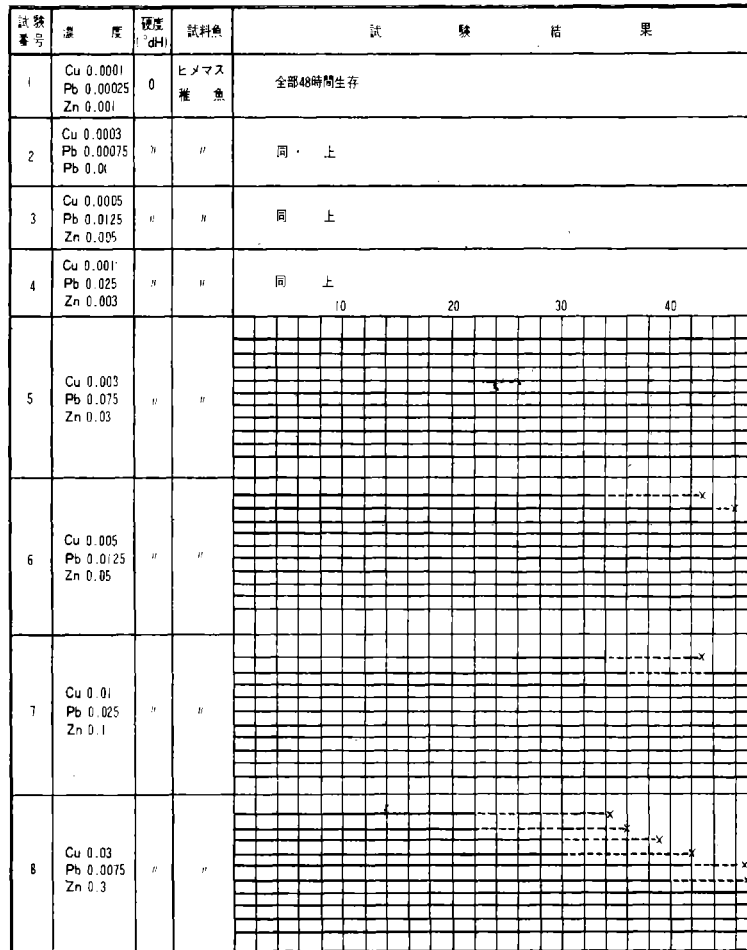
試験 番号	濃 度 (ppm)	硬度 (dH)	試料魚	試 験 結 果			
				10	20	30	40
1	Cu 0.001 Pb 0.0025 Zn 0.01	0.7	大型鮭 稚 魚	7尾全部48時間生存			
2	Cu 0.003 Pb 0.0075 Zn 0.03	0.7	"	7尾全部48時間生存			
3	Cu 0.005 Pb 0.0125 Zn 0.05	0.7	"				
4	Cu 0.01 Pb 0.025 Zn 0.1	0.7	"				
5	Cu 0.03 Pb 0.075 Zn 0.3	0.7	"				

徳志別川鮭鱒被害調査(Ⅱ)

(グラフー3)



(グラフー4)



(グラフ-5)

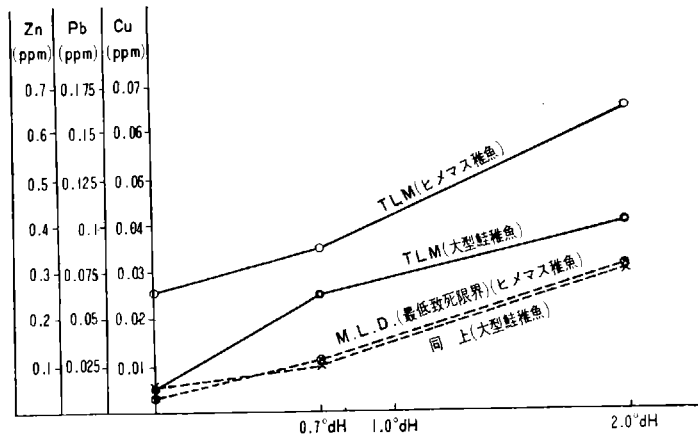
試験番号	濃度 (ppm)	硬度 (dH)	試料魚	試験結果
1	Cu 0.0005 Pb 0.00125 Zn 0.005	0.7	ヒメマス 稚魚	10尾共全部48時間生存
2	Cu 0.001 Pb 0.0025 Zn 0.01	"	"	同上
3	Cu 0.003 Pb 0.0075 Zn 0.03	"	"	同上
4	Cu 0.005 Pb 0.0125 Zn 0.05	"	"	同上
5	Cu 0.01 Pb 0.025 Zn 0.1	"	"	10
				20
6	Cu 0.03 Pb 0.075 Zn 0.3	"	"	30
				40
7	Cu 0.05 Pb 0.125 Zn 0.5	"	"	10
				20
8	Cu 0.07 Pb 0.175 Zn 0.7	"	"	30
				40

徳志別川鮭鱒被害調査(II)

(グラフー6)

試験番号	濃度 (ppm)	硬度 (°dH)	試験魚	試験結果
1	Cu 0.003 Pb 0.0075 Zn 0.03	2.0	ヒメマス稚魚	10尾全部48時間生存
2	Cu 0.005 Pb 0.0125 Zn 0.05	2.0	"	同上
3	Cu 0.01 Pb 0.025 Zn 0.1	2.0	"	
4	Cu 0.03 Pb 0.075 Zn 0.3	2.0	"	
5	Cu 0.05 Pb 0.125 Zn 0.5	2.0	"	
6	Cu 0.07 Pb 0.175 Zn 0.7	2.0	"	

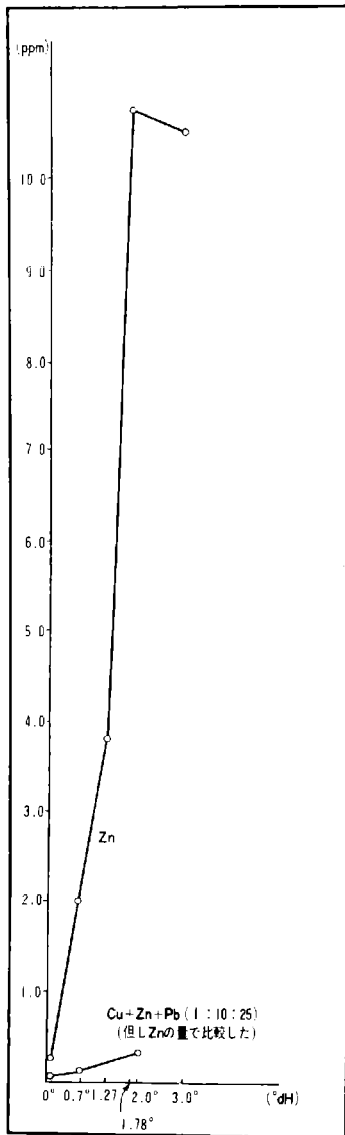
以上の試験結果から得られた、種々たる硬度に於ける TLM, 及び M.L.D.(最低致死限界)の値を一括して第3表に示す。又之等の値を図上にプロットしたものが第3図である。



第3図 銅, 鉛, 亜鉛混合溶液の毒性) Cu : Pb : Zn : 1 : 2.5 : 10)

第 3 表 銅, 亜鉛, 鉛混合溶液の毒性

硬 度	成 分	ヒメマス稚魚		大型鮭稚魚	
		最低致死濃度	TLM (48)	最低致死濃度	TLM (48)
0° dH	Cu	0.005	0.025	0.003	0.0047
	Zn	0.05	0.26	0.03	0.047
	Pb	0.0125	0.065	0.0075	0.0118
0.7° dH	Cu	0.01	0.035	0.01	0.025
	Zn	0.1	0.35	0.1	0.25
	Pb	0.025	0.083	0.025	0.063
2.0° dH	Cu	0.03	0.065	0.03	0.04
	Zn	0.3	0.65	0.3	0.4
	Pb	0.075	0.075	0.075	0.1



第 4 図 Zn 単独の場合と Cu, Zn, Pb が共存する場合との硬度の変化に伴う毒性減退の程度比較図

以上によつて、銅, 亜鉛, 鉛等の混合溶液の種々なる硬度に於ける TLM 及び M.L.D. (最低致死限界) の値に関する概念を得たが、之等の結果から次の事が考へられる。

1. 銅, 鉛, 亜鉛混合液の TLM は、一般にヒメマス稚魚より大型鮭稚魚の方が低い値を示す。これは発育の Stage の進んだものの方が、毒物に対する抵抗力が弱いということの意味する。このことは魚種の相違によるものではない。別に試験した結果によれば、同じ Stage (ふ化後 9~10 週内外) のヒメマス稚魚とサケ稚魚は、大体に於て同様の結果を示した。この事から類推して成魚は却て稚魚より弱いことも想像される。
2. 硬度の増大と共に毒性の減退する割合は、亜鉛単独の場合より、銅, 亜鉛, 鉛が共存する場合の方が遙かに少ない。第 4 図は亜鉛単独の場合 (第 1 図の一部) と、銅, 亜鉛, 鉛が共存する場合 (第 3 図) との硬度の増大に伴う毒性の弱まり方を、亜鉛に就て同じスケールで比較したものであるが、図に見る様にその傾向に大差のあることが認められる。これだけの結果から結論を出すのは聊か無理かとは思ふが、亜鉛単独の場合は硬度を上げれば毒性が急激に減退するが、銅が共存すると、その割に減退しないということは言い得ると思う。此事は应用的に極めて重要な点であるが、更に充分な研究によつて之を確かめる必要がある。
3. 今回のような被害原因の考察, 判定には TLM より M.L.D. (最低致死限界) の方が、より参考になる様に思はれる。

以上の試験によつて銅, 亜鉛, 鉛が共存する場合に魚を殺す最小の量, 並びに之れと硬度との関係に就て、或る程度概念を得たので、これらの結果を徳志別川水の従来分析結果と比較して見た。

V 徳志別川水の銅, 亜鉛, 鉛等の分析結果

徳志別川河川水, 並びに本庫鉱山坑内水等の銅, 亜鉛, 鉛等に就ては、数次に亘つて分析を行つた。その内昭和 36 年 6 月 22 日及び昭和 37 年 6 月 5 日に行つた分析結果はさきに報告したが (第 1 報), その後 4 回に亘つて分析を行つたので、これ等の結果を一括し第 4 表に表記する。

第 4 表を通覧すると、各回の分析結果には可なり大きな開きが見られ、極めて不同である。微量の金属の定量は Dithizon 法によるのであるが、本法は極めてデリケートな方法で、高度の技術を必要とし、試薬中の僅かな不純物や、用器の僅かな汚染等によつても誤差を伴い易い方法であるから多少の誤差は免れないと思うが、一面又鉱山に於ける処理方法の如何、河水量の変化等によつて変動することも考えられる。

徳志別川鮭鱒被害調査(Ⅱ)

第4表 徳志別川本支流河水，本庫鉦山坑内水等の銅，亜鉛，鉛分析結果

番号	分析年月日	分析者	種別	オフシタルマナイ川上流 (鉦山より上流)	平安坑坑内水	オフシタルマナイ川本流 (末広橋附近)	同上 (豊国橋附近)	同上 (本流との合流前)	徳志別川下流 (ふ化場附近)
1	36. 6. 22	鉦山保安監督局(西山氏)	Cu Zn Pb	tr tr —	3.29 39.0 —	0.30 0.51 —		tr 0.04 —	tr 0.02 —
2	37. 6. 5~6	同(同)	Cu Zn Pb	0.002 0.021 0.002	3.04 30.5 6.38	0.02 0.35 0.035	0.015 0.28 0.012	0.005 0.151 0.0038	0.0011 0.009 tr
3	37. 10. 5~6	同(同)	Cu Zn Pb					0.016 0.28 0.019	0.012 0.097 0.018
4	38. 4. 23~25	同(同)	Cu Zn Pb	tr tr 0.0035	3.25 43.0 2.6	0.086 0.97 0.19	0.025 0.021 tr	0.009 0.072 tr	0.0025 0.003 tr
5	38. 7. 11	同(同)	Cu Zn Pb		8.6[1.33] 71.5[2.6] 2.1[1.55]	0.025 0.63 0.01	0.003 0.078 tr	tr 0.041 tr	tr 0.002 nil
6	38. 7. 26	東京水産大学(森田氏)	Cu Zn Pb	0.0010 0.0095 0.0006		0.097 3.10 0.14	0.0104 0.40 0.011		0.0058 0.098 0.005
備考				表中の数字はppmである	括弧内の数字は石灰処理後の上澄水				

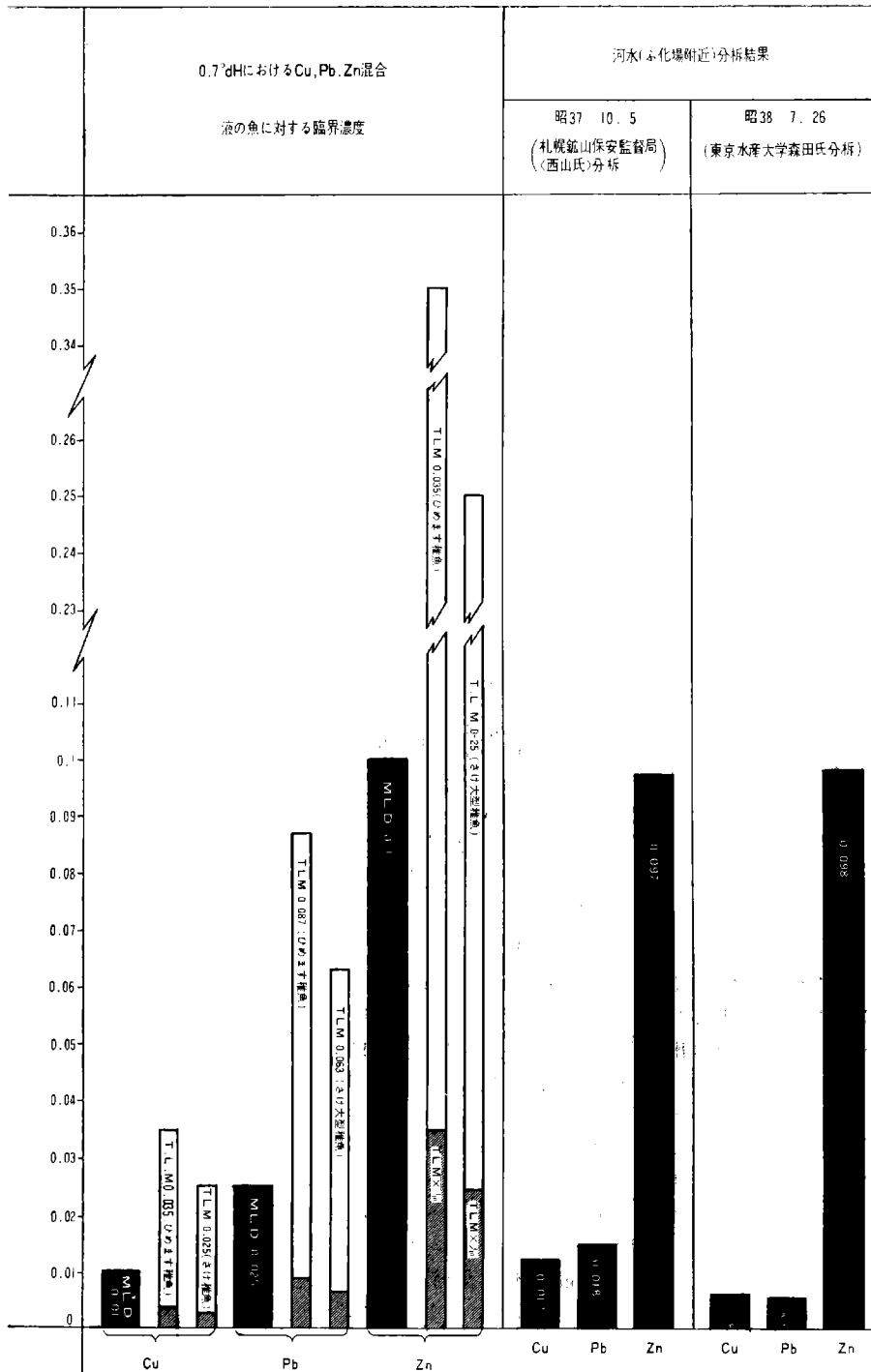
以上6回の分析結果中被害現場であるふ化場附近で比較的大きい値を示したのは第3回(昭37.10.5)及第6回(昭38.7.26)の分析結果である。前者は坑内水の石灰処理設備完成以前の値で、後者は完成後のものである。

注……坑内水の石灰処理設備は昭37年11月末に完成した。

以上2回の分析結果を0.7° d Hに於けるMLD, TLM及び一般に制限量と考えられているTLM $\times \frac{1}{10}$ 等の値と比較したものが第5図である。図で見る様に坑内水の石灰処理を行なはなかつた昭和37年10月の河水分析結果は、MLDを幾分超えて居るが、石灰処理を行つた昭和38年7月の分析結果は多少MLDを下廻つて居る。而して昭和38年7月当時は被害は比較的軽微であつた。但茲に云うMLDは前述の様に測定回数も少なく、実際より多少大きな値が出て居るとも考えられるし、一方河水中の銅、亜鉛の濃度も河水量との関係や石灰処理の如何によつて、或程度の変動は免れないと思はれるから、之等を考え合せると現在程度の石灰処理のやり方ではまだ充分安全だとは称し得ない。現に本年8月中蓄養池内でカラフトマスの可なり多数が斃死している事から見ても現在の河川水の濃度は危険線すれすれの処にあるものと見るのが当然であろう。それ故何かの理由で多少でも濃度が上れば斃死が起り、反対に下れば斃死が起られなくなるものと思はれる。

坑内水石灰処理の效果に就ては唯1回の分析データがある。(第4表の5, 坑内水の項参照)それによれば処理前銅8.6ppm, 亜鉛71.5ppm, 鉛2.1ppmであつたのが処理後は銅1.33ppm, 亜鉛2.6ppm, 鉛1.55ppmになつて居る。即銅は15%, 亜鉛は3.64%, 鉛は74%に減少して居る。其際の石灰の添加量, 添加方法の詳細等は不明であるが、更に添加量を増加するか、或は添加方法を改善すれば、之れ以上に処理効果を向上させることも可能であろうと思ふ。石灰処理の方法に就て更に充分な研究を行い、河水中の銅、亜鉛等の濃度を更に低下させる様努力す可きものと思はれる。

第 5 図 河水分析結果とMLD, TLM, TLM× $\frac{1}{10}$ 等の値との比較



徳志別川鮭鱒被害調査(Ⅱ)

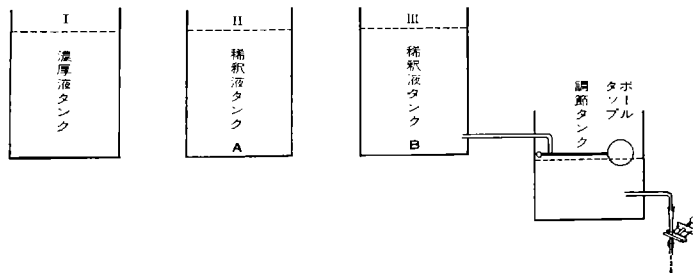
之を要するに坑内水の石灰処理を行つてから徳志別川河川水中の銅、亜鉛等の含有量は或程度減少したが、猶鮭、鱒に対する危険限界(MLD)附近を上下している。坑内水の処理方法に就て更に充分な研究を行い、魚族に対して充分に安全な程度迄銅、亜鉛等な含有量を低下させる可きものとする。

一方TLM, $TLM \times \frac{1}{10}$ 等の値は図で見る様に現場河川水の分析結果とかなりかけ離れている。これらの事から今回の様な被害の判定にはTLMよりMLDの方が参考となる点が多い様に思はれる。

Ⅵ 塩化石灰液の添加による被害防除試験

上述した様に今回の徳志別川に於ける鮭、鱒被害は、全く本庫鉱山の廃水中に存する微量の銅亜鉛等の毒作用に起因するものであつて、たまたま徳志別川の河水が高度の軟水であつたために、普通ならさしたる害のない程度の微量であつたにも拘はらず、顕著な被害が起つたものであることが判明した。よつて被害防除手段の一方法として養魚池水に石灰を添加し、池水の硬度を高めることによつて些くも蓄養中の被害を防止し得るかどうかというに就て試験を行つた。若しこれによつて蓄養中の斃死が防止できれば、曲りなりにも採卵が可能であらうと考えたからである。

試験の方法……新たに小型の試験池を造り(3.0m×5.0m 水深0.4m内外)その一方から河水を導入し他方から排水した。別に塩化石灰を溶解したタンクから一定量宛塩化石灰液を導入水に滴加し、蓄養池水の硬度を2.0°dH



第6図 塩化石灰液滴下装置

内外に高め、この水を使つて蓄養して見た。

塩化石灰液滴下の方法は第6図に示した様な方法で行つた。図中第1のタンクは塩化石灰の濃厚液のタンクである〔例えば塩化石灰3袋(75kg)を水200ℓに溶解する〕第2及第3のタンクは第1のタンクの濃厚液を10倍程度稀釈した液のタンクである。第3のタンクに

附属した排水管から塩化石灰液が次の調節タンクに流出するが、その流出口にボールタップを取付け、調節タンクの水位を一定に保たしめ調節タンクに附属した排水管から流出させる。排水管にはゴム管を取付け、ピンチコックで流出量を加減する。第3のタンク中の塩化カルシウム液は随時第2タンクから補給する。斯かる簡単な装置で、容易に一定量の薬液を長時間に亘つて供給することができた。

試験の結果……以上の様な方法で6月28日から7月18日迄21日間(サクラマス使用)及び8月15日から9月6日迄23日間(カラフトマス使用)2回の試験を行つた。その結果を次に第5表及第6表に示す。

以上の結果を見ると桜鱒を使用した第1回の試験は、材料魚の尾数が少なかつたこと、試験の最初に使用した魚は事業用蓄養池から移したもので、既に或る程度の被害を蒙つて居たものであつたため斃死率が大きかつたが、試験の後半では比較的斃死が少なかつた。全体としての斃死率は試験用蓄養池43.7%、事業用蓄養池57.1%で或程度の効果があつたように思はれる。

第2回の樺太鱒を使用した試験では、試験期間の大部分では事業用及び試験用蓄養池共甚だしく大きな被害は見なかつたが、8月21日から同月24日迄の間に事業用蓄養池では可なり多数の(4日間に70尾)斃死魚を出したが、試験用蓄養池では僅かに1尾(魚体損傷によるものと思はれる)の斃死魚を見たのみであつた。全体としての斃死率は試験用蓄養池5%、事業用蓄養池8.4%塩化石灰施用の効果が或程度認められる。

猶以上2回の試験結果から桜鱒は樺太鱒より抵抗力が弱いと考えて差支ないようである。

以上によつて石灰施用は被害防止に或程度の効果がある様に思はれるが結果は稍不判明である。この事はさきに銅、亜鉛、鉛の混合溶液の毒性試験の際、硬度の増大と共に毒性の減退することを試験したが、その減退の程度は亜鉛単独の場合より亜鉛、銅混在の場合の方が遙かに少ない事を述べた。(第4図参照)此事が関係しているかも知れない。即ち亜鉛単独の場合はCaOとして20ppm内外添加すれば(2.0°dH)毒性が顕著に減退するが、銅、亜鉛の混在する場合にはその割合に毒性が減退しない。多少低下する程度である。それ故銅が混在している場合はもつと多量の石灰を加えなければ充分な効果を期待できないかも知れない。之等の点に就ては更に今後の

第 5 表 塩化石灰添加被害防除試験
(桜鱒による試験)

月 日	収容魚	斃死魚	現在数	備 考
6月28日	3	0	3	計死魚は収容前より衰弱同
26	2	1	4	
30	1	2	3	
7月1日	0	0	3	死魚は魚体損傷甚しく水生菌著しく着生
2	0	1	2	
3	0	0	2	
4	0	0	2	
5	0	0	2	
6	0	0	2	
7	0	0	2	
8	0	1	1	
9	0	0	1	
10	0	0	1	
11	0	0	1	
12	0	0	1	
13	0	0	1	
14	0	0	1	
15	0	0	1	
16	0	0	1	
17	5	0	6	
18	5	0	9	
計	16	7	9	斃死率 43.7%

この期間中事業用蓄養池には雌 6 尾，雄 1 尾，計 7 尾を収容して居たがこの間に雌 4 尾が斃死した。(斃死率 57.1%)

第 6 表 塩化石灰使用被害防除試験
(樺太鱒による試験)

月 日	収容魚	斃死魚	現在数	備 考
8月15日	20	0	20	計死魚は魚体側面尾部等に水生菌着生し僅かに腐敗臭あり
16	0	0	20	
17	0	0	20	
18	0	0	20	
19	0	0	20	
20	0	0	20	
21	0	0	20	
22	0	1	19	
23	0	0	19	
24	0	0	19	
25	0	0	19	
26	0	0	19	
27	0	0	19	
28	0	0	19	
29	0	0	19	
30	0	0	19	
31	0	0	19	
9月1日	0	0	19	
2	0	0	19	
3	0	0	19	
4	0	0	19	
5	0	0	19	
6	0	0	19	
計	16	1	19	斃死率 5%

この期間中事業用蓄養池には雌 499 尾，雄 430 尾，計 929 尾を蓄養して居たがこの間に雌 65 尾，雄 13 尾，計 78 尾が斃死した。(斃死率 8.4%) 以上の斃死魚の大部分は 8 月 21 日から 8 月 24 日に至る 4 日間に斃死したものでこの 4 日間に 70 尾が斃死している。

研究に俟たなければならない。

最後に参考として事業用蓄養池に塩化石灰を施用するものとして、どの位の費用を要するかを概算して見よう。

仮りに徳志別事業場程度の蓄養地とすれば大凡 4～5 個 (毎秒 4～5 立方尺) 内外の水量を要する。即 1 日 10,000～12,000m³の水量が必要である。10,000～12,000m³の水に CaO として、20 ppm 加えるとすれば 200～240 kg の CaO が必要であり、これを塩化石灰 (CaCl₂) に換算すると、大凡その倍量であるから 400～480kg/day となる。市販の塩化石灰は純度 75% 内外であるから、533～640kg/day を要する。塩化石灰の価格を 屯 20,000 円とすれば薬品代のみで 1 日 10,660 円～12,800 円を要する計算となる。

Ⅶ 総括並びに結論

- (1) 徳志別川に於ては昭和 36 年以来鮭、鱒遡上親魚の大量斃死事件が発生した。昭和 36 年には推定約 12,000 尾、昭和 38 年には約 20,000 尾、昭和 38 年には 10 月 20 日現在で約 4,000 尾の斃死を見て居る。
- (2) 被害の最も大きな原因は河川の支流オファンタルマナイ川の上流にある本庫鉱山の廃水によるものである。
- (3) これと共に、何らかの機会に沈澱池から流出した選鉱残渣の微粒子も被害に関係がある様に思はれる。この物は昭和 37 年 7 月頃はオファンタルマナイ川の随所に堆積して居たが、其後数回の増水で洗い流され、現在は殆見当らない。

徳志別川鮭鱒被害調査(II)

- (4) 鉱山廃水中には著量の銅、亜鉛、鉛が含有されて居り、之等の金属が共存する場合には夫れ夫れの金属が単独にある場合より、毒性が遙かに強化される。
- (5) 更に悪いことは徳志別川の河水が硬度 0.7°dH 内外で、可なり高度の軟水であることである。軟水の場合には重金属塩類の毒性は更に強化される。
- (6) 0.7°dH の軟水中に銅、亜鉛、鉛が共存する場合、魚族を斃死させる最小量 M.L.D. (最低致死限界) を実験によつて確かめた。その結果 0.7°dH の水中に銅 0.01 ppm, 亜鉛 0.1 ppm, 鉛 0.025 ppm, 存在すれば48時間以内に試験魚の一部を斃死されることが明らかとなつた。
- (7) 一方徳志別川の鮭、鱒斃死現場 (孵化場附近) の分析結果は次の如くであつて

	昭和37年10月(西山氏分析)	昭和38年7月(松田氏分析)
銅	0.012	0.0058 (ppm)
亜鉛	0.097 (ppm)	0.098
鉛	0.0018	0.005

前記 M.L.D. に殆んど近いが、或は多少オーバーして居る。それ故何かの機会に多少濃度が上れば斃死が起り、反対に多少濃度が下れば斃死が起らない。(本年の斃死状況は上記の推定と一致して居り、或る時は斃死し、ある時は斃死しない)。以上によつて鉱山廃水が斃死の主たる原因であると断定した。

- (8) 蓄養池内の斃死を防止するため、池水に塩化石灰を添加する試験を行い、効果は認められたが、今回の試験だけではどの程度の投入をすれば完全であるか確定は出来なかつた。
- (9) 被害防止の手段としては坑内水の石灰による除害施設を完備し、之を励行させる以外に方法はないと考えるが、石灰添加の最適量 (必要にして充分なる最小量) に就ては猶研究を要する。
- (10) M.L.D. (最低致死限界) は此種の被害判定には極めて有効な値と考えられるので敢て提唱する。

文 献

- (1) Peter Doudoroff and Max Katz: Critical Review of Literature on the Toxicity of Industrial Wastes and their Components to Fish, II. The Metals, as Salts., From Sewage and Industrial Wastes Vol. 25, No. 7, p 802
- (2) P. Doudoroff: The Physiology of Fishes Vol. II, p 403~430