

小野川及び古渡漁場附近における農地排水による魚類の斃死について

熊丸 敦郎・浜田 篤信・津田 勉

この魚類斃死は、昭和50年9月25日早朝に発生した。同日古渡漁協より連絡を受けた当内水試では、さっそくこの斃死について調査を行ない、さらに調査結果に基づき、現場での対策試験を行なった。これらの結果について報告する。

1. 斃死状況

斃死現場は、図-1のとおりで、図-2はその断面を示している。斃死した魚類は網生簀で養殖されていたコイと、張網に入った魚で、その被害量は後者については明確な把握はできないが、前者については約51トンにのぼると言われる。斃死の発生を最初に発見したのは25日午前4時頃で、小野川河口附近から古渡の湾入奥部にかけて水が異常に透明となり、やがてそれが外側に広がって行き、同時に斃死した網生簀漁場も広がっていったという。当水試で調査を行なった10時過ぎでもなお水は透明で水深約3mの所で、透明度板が底まで達しても確認できる程であった。被害を受けた網生簀漁場では安全場所に避難するため沖の方に網生簀ごと移動中であったが、すでに中のコイはほとんどが斃死して底に沈んでおり、生き残ったものもフラフラと力なく泳いでいるという状態であった。

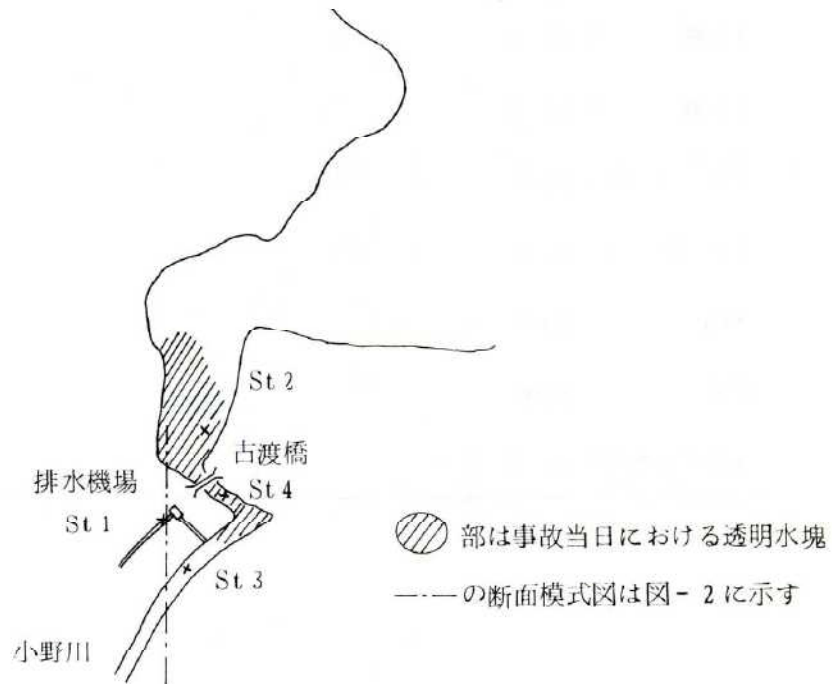


図1 魚類斃死現場

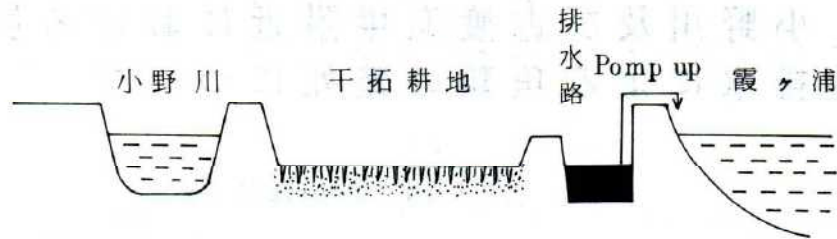


図2 斃死現場の断面模式図

2. 斃死魚の検査

斃死魚および元気がなく生残していた魚は体色が何れも黒ずんでいて、外傷は認められなかった。鰓の色が淡いものが多く、貧血を呈していると思われた。さらに体表、鰓について検鏡した結果、寄生虫がまったく見られなかった。表-2に例を示すように、一般に天然魚、養殖魚を問わず、いくらかの寄生虫が認められるのが普通であるから、このことはむしろ異常であった。以上の斃死状況、斃死魚の観察等から推測すると、毒物死、それも急性毒による斃死の疑いが強かった。

表-1 現場の水質

項目	場所	St, 1 排水機場	St, 2 斃死現場	St, 3 排水口上流50m
pH		3.1	5.9	6.1
4.3酸	度me/l	6.63	0	0
8.3酸	度me/l	20.77	0.23	0.17
Fe(全鉄)	ppm	2273.3	26.2	0.61
Fe(溶存)	ppm	1726.3		
SO ₄ ⁻	ppm	6125	362	109
Cl	ppm	178		
4.3アルカリ度	me/l	0	0.29	1.09

3. 現場の水質

事故発生の当日に、図-1に示す3地点で採水し、pH、酸度、Fe、 SO_4^{2-} 、Cl、アルカリ度について検査を行なった。その結果を表-1に示す。これらのことから言えることは、まず、斃死現場：St-2のpHが5.9と極めて低いことである。普通小野川及び霞ヶ浦のこの時期におけるpHは7~8.5程度であることを考えれば何らかの強酸性を示す物質が河川に流入したものと考えられる。ここではその強酸性物質として、表-1で明らかのように SO_4^{2-} がそれと見られ、普通の河川水の10~30倍に当たる362ppmという大きな値を示している。さらに SO_4^{2-} 濃度、全鉄濃度はSt-1：(排水機場)で、St-2よりも高く、St-3：(排水口上流50mの地点)でSt-1、St-2よりも低いことから、古渡漁場を汚染した、強力かつ大量の鉄を含む強酸性水は排水機場から流出したものであると言える。なお排水機場附近の水路では赤褐色の鉄さびが形成されており、コイ、フナ、ライギョ、ドジョウ、モツゴ等の斃死魚が多数みられた。次に斃死時に水が急激に透明となった理由について述べる。一般に浮遊物を含む天然の水に鉄を含む強酸性の水が混入すると化学反応を起こし、中和され水酸化物が形成され、水酸化物が沈澱する。その際水中の懸濁物質を共沈し、その結果水が透明になるといわれている。そこでその再現実験として、濁度98ppmの霞ヶ浦の水に、St-1で採取した強酸性水(pH3.1、8.3酸度：20.77me/l)を各濃度に添加し、24時間後の濁度の低下を見た。その結果を図-3に示す。今回の斃死現場においてこの実験結果をあてはめてみると、St-2で濁度が10であったから、図-3で濁度10にまで低下するには河川水のおよそ20%の排水機場廃水が流入したものと予想できる。さらに表-1で示したようにSt-1では全鉄が2,000ppm以上あり、そのほとんどが強酸性のため水中に落存しているが、これが河川に入って中和されるにしたがってpHが上昇し、水酸化鉄として水中の浮遊物質を共沈し、その結果透明度が急上昇したものと見られる。

4. 斃死原因

さきに述べたように、斃死魚の体表、鰓から寄生虫が全く見られなかったこと、体色が黒ずんでおり、鰓の色、すなわち鰓葉部分における血液の色が全体的に薄く鰓葉末端部分はほとんど白色をしている、いわゆる貧血症状を呈していること、短時間の内に網生管内の大部分の魚が斃死したと等を合わせて考えると、急性毒による斃死と推定される。

次に、水質分析結果のところで述べたように、排水機場の強酸性水が小野川に流出し、河口ないし古渡湾入部に拡散したため斃死現場の水のpHが異常に低い値を示していたこと、農業排水路より上流の小野川ではpHは低くなく、斃死も起きていないことから、排水機場(St-1)に貯溜した鉄を含む強酸性水が排水路を通じて小野川に流出し、漁場に拡散し、これが魚に急性毒として働き斃死せしめたものと見てまちがいない。さらに、pH：3.7、8.3酸度：1.05me/lの酸性水55

表-2 張網捕獲魚に見られる寄生虫

年月日	魚種	体重(g)	体長(cm)	体表粘液	胸鱗	鰓
5.1.10.29	チチブ	14.4	7.6	-	-	Torichodina r
	〃	3.7	5.4	Torichodina r	-	-
	〃	1.45	4.1	Torichodina +	-	-
	キンブナ	8.1	6.4	Gylodactylus r	-	-
	ウキゴリ	8.6	7.6	Torichodina ++	-	-
	〃	6.5	7.5	Chilodonella r	-	-
	〃	5.15	6.9	Torichodina r	Ergasilus r	-
	タナゴ	6.15	7.0	Ichthyophthylus +	-	{ Torichodina +++ Ichthyophthylus + Gylodactylus r
	〃	6.00	7.1	Torichodina r	-	-
	バラタナゴ	4.40	6.0	-	-	-
5.1.11.30	ゼニタナゴ	4.40	6.2	Torichodina r	-	Torichodina +++
	〃	2.94	7.6	-	-	Torichodina +++
	〃	3.36	5.7	-	-	Torichodina +++
	バラタナゴ	0.43	3.0	-	-	-
	ウキゴリ	6.94	7.6	-	-	-
	〃	3.40	6.2	-	-	Torichodina
	ゲンゴロウブナ	10.77	6.9	-	-	Henneguya 孢子囊 1コ
	コイ	33.90	11.0	-	-	{ Dactylogyrus + Glossatella r

体表粘液はカバーグラスでかき取ったもの

胸鱗, 鰓は各1切り取り直接検鏡

r : 10コ以下, + : 10~50コ, ++ : 50~100コ, +++ : 100~500コ
 [++++ : 500以上

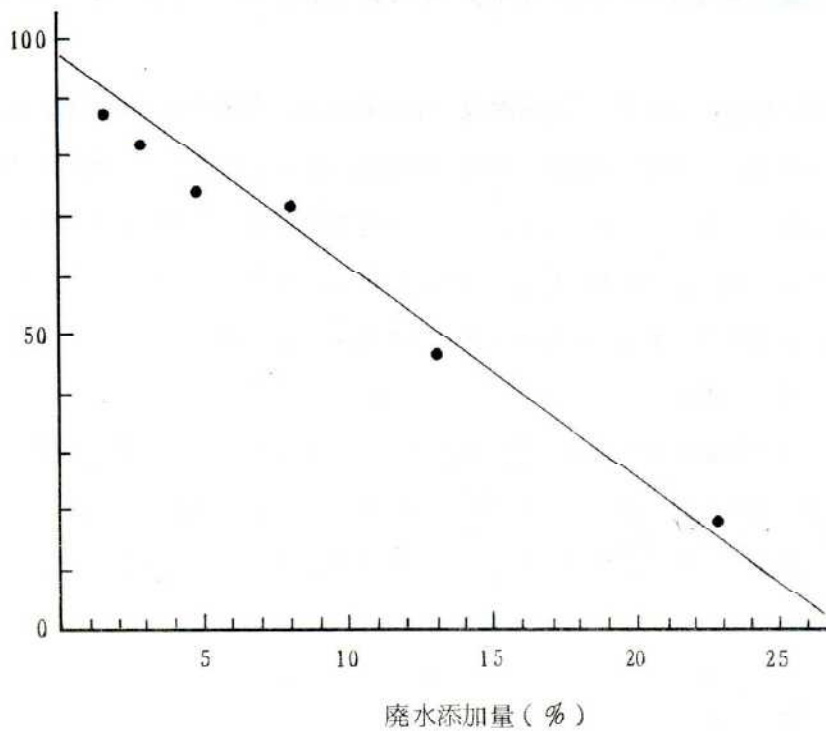


図-3 自然水に廃水を添加した場合の24時間後における濁度

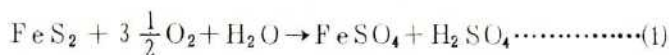
自然水：濁度98ppmの霞ヶ浦の水

廃水：St1で採取した強酸性水(pH 3.1, 8.3 酸度：20.77)

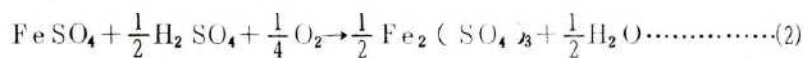
ℓにコイ(B, W≒50g)を入れて再現実験を行なったところ、体色は黒っぽくなり、体表粘液は変性して白濁し、鰓から多量の出血が認められ、その結果鰓の色は薄くなり貧血症状を呈する。その後力なく泳いでいるが、3～5時間後には斃死した。これらの現象と現場での斃死状況が全く一致していることから、酸性水によって斃死したことが裏付けられる。

それでは何故、農業排水路に強酸性水が貯溜したのであろうか。こういった農地、特に干拓地の酸性化はしばしば起こる問題であり、古くから研究されその機構についても解明されている。

半谷によれば⁽¹⁾、土壌中の硫酸塩は硫酸還元され硫化鉄として固定されやすい。このものは条件が整えば硫酸第一鉄、硫酸第二鉄を経て酸性水が形成される。すなわち



この反応で生成した硫酸第一鉄の一部は



のように酸化され遊離硫酸は減少するが、硫酸第一鉄が総て酸化されたとしても、なお遊離硫酸が残る。

また、茨城県農業試験場によれば、普通硫酸還元菌の働きは、土壌中の有機物含量と関係があり、有機物含量が10%程度の江戸崎、余郷入干拓地ではpHが低下しやすく、5%程度の本新島、延方干拓地では低下が著しくないという。なお、上記の反応条件が整った背景には、昭和50年夏季から秋季にかけての気象条件、すなわち日照→地割れ→降雨が関係していることは当然考えられ、更には硫酸塩の起源が海跡湖である霞ヶ浦そのものにも由来するとみられる。

5. 強酸性廃水の霞ヶ浦への拡散

これら酸性水が及ぼす影響範囲をおおよそ知るために、10月15日霞ヶ浦への酸性水の拡散状況を、pH・硫酸イオン濃度を測定することによって調べた。図-4に観測地点、図-5、図-6にpH・硫酸イオンの分布を示した。これによると、小野川の農業排水口より下流から霞ヶ浦、古渡湾入部にかけて、調査時点でおおよそ2.4km²に影響を及ぼしたことがわかる。

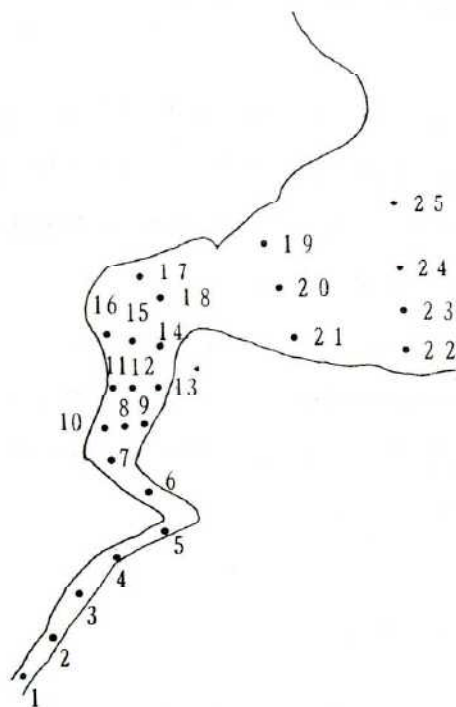


図-4 調査地点(10月15日)

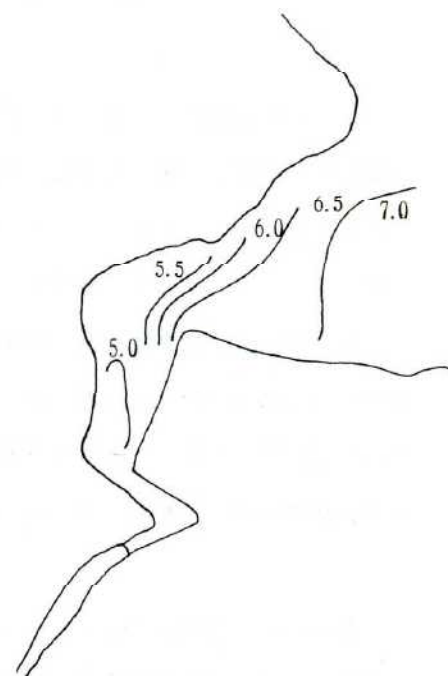


図-5 pHの分布

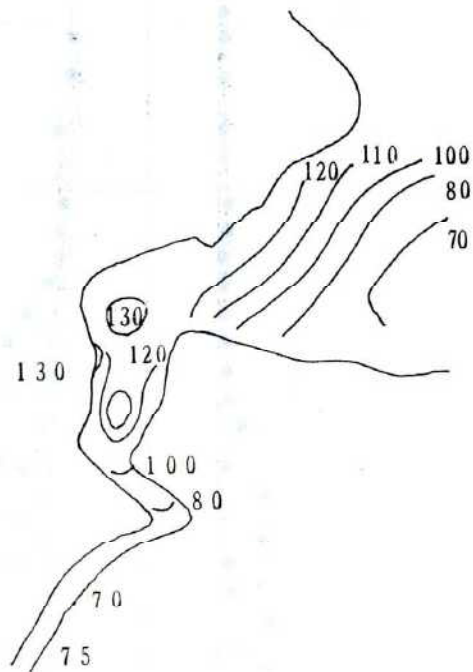


図-6 SO_4^{2-} (ppm) 分布

6. 排水機場及び漁場における pH と酸度の推移

斃死事故が起きた9月25日以来、約4ヶ月にわたって、St-1(排水機場)とSt-2、(古渡橋上流の漁場)におけるpHと8.3酸度を測定し、降雨量と合わせてグラフにしたものが図-7である。排水機場からの廃水は事故発生時(9月25日)にはpH:3.0、8.3酸度、21 me/lであったものが、降雨のたびに酸性土壌を経て滲出した水のためにpHの低下、酸度の上昇が起こるものの、全体的にはpH上昇、酸度低下の傾向、つまり、正常な状態に戻りつつあることを示している。このことは、一年を通じて強酸性水が排出されるわけではなく、強酸性物質が土壌中に蓄積され、先に述べたような気象条件が整った時に、一時的に放出されることを意味しており、今回起きたような斃死事故を未然に防ぐ対策は、pHを定期的に測定するなどして強酸物質の蓄積が予知できれば、一時的な廃水処理を行なうのが当然であり、対策上困難な問題はない筈である。しかし現実には斃死事故が発生したのであるが、当内水試では10月7日に排水路で次のような中和実験を試みた。

7. 廃水の処理について

今回のpHの低下は耕土の中に存在するので、年月を経て条件が整えば再びこのような事故が発生する可能性があるのは勿論のこと、農業被害も当然起こることであり今後の対策が重要である。ここでは耕地自体の問題にはふれないで廃水そのものの中和処理について考えてみる。酸性水の中

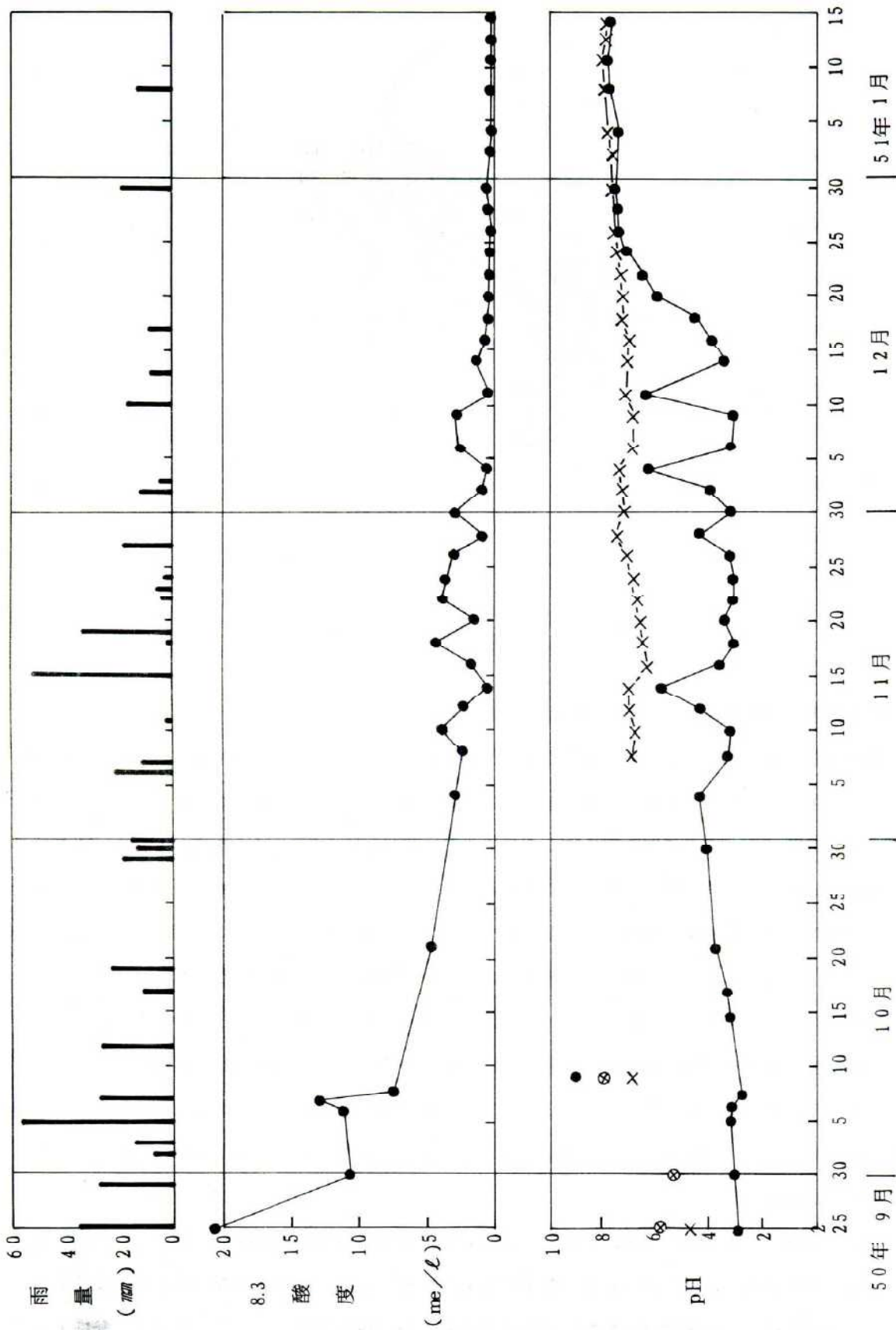


図-7 雨量及び排水機場における酸度とpH 雨量は内水試(玉造町)にて測定

和処理に必要なアルカリの量は表-3のようになる。

表-3 中和処理に必要なアルカリの量

薬品名	化学当量	廃水 1ton 当り必要量(g)
石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$	37.05	酸度(me/ℓ) \times 37.05
炭酸カルシウム CaCO_3	50.05	酸度(me/ℓ) \times 50.05

ただし酸度は 8.3 酸度とする。

実験は排水機場のポンプを停止させ排水路中の酸性水を中和するという計画で、次の実験計画のもとで行なった。

排水路の水量： $1,000\text{ m} \times 10\text{ m} \times 1\text{ m} = 10,000\text{ ton}$

酸 度： $10\text{ me}/\ell$

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 必要量(計算値)： 3.71 ton

実際の撒布量・石灰(有効成分 60%)： 3 ton

結果は撒布前 pH3.4, 8.3 酸度： $12.5\text{ me}/\ell$ であったが、石灰投入1時間後では、pH3.7, 8.3 酸度： $11.6\text{ me}/\ell$ (場所によっては pH 3.85, 8.3 酸度： $11.0\text{ me}/\ell$)。約2時間後には pH3.7, 8.3 酸度： $11.6\text{ me}/\ell$ (場所によっては pH 4.2, 8.3 酸度： $9.7\text{ me}/\ell$)の値を示し、十分な結果が得られなかった。この原因としては、石灰撒布が均一に行なわれず、(袋を破り 20Kg袋をそのまま排水路に投入した。)充分混合していなかったこと、石灰の有効成分が低かったこと、さらには耕地から強酸性水が追加されていたこと等によるものと思われる。しかしながら、翌日の10月8日の測定では、酸度が $7.9\text{ me}/\ell$ に低下していたことを考えれば、効果があったと言えそうである。次に、この実験結果をもとにしてさらに、少なくとも漁場(S t-4)において影響を及ぼさないように排水処理をするには、石灰をどの程度必要としたか、概算を行なってみる。図-7に見るように、排水機場における廃水の pHが4以上、8.3 酸度が $2\text{ me}/\ell$ 以下の場合、排水路に最も近い網生簀漁場(S t-4)において pHが7以上になっている。廃水を pH 7~8で排水することが理想であるが、少なくとも pH 4以上で排水したならば、今回起きた斃死事故のような大きな被害を与えずにすんだであろう。先の廃水処理試験の結果、3 tonの石灰投入により 8.3 酸度が $12.5\text{ me}/\ell$ から翌日 $7.9\text{ me}/\ell$ に低下している事実から、事故発生時の酸度 $20.8\text{ me}/\ell$ から $2\text{ me}/\ell$ まで低下させるに必要な石灰量は、 12.3 ton と見つめられる。その後 pHが上昇していく傾向にあるが、12月半ばまで不安定で、その間 pH4以下の日数が50日あり、平均の pHの値を3として、図-8の

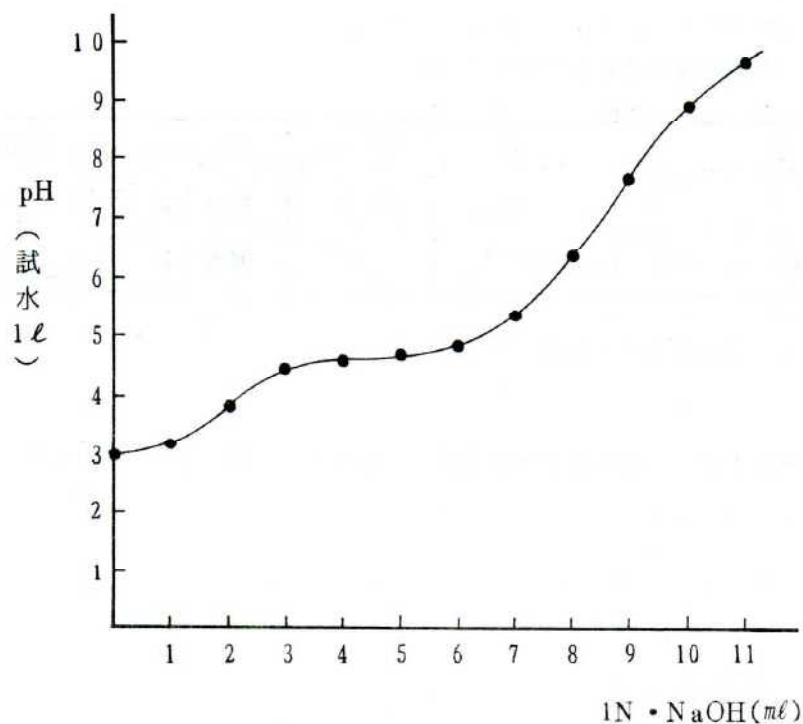


図-8 強酸性廃水のアルカリ滴定曲線

試水は昭和50年11月10日排水機場にて採水

廃水の滴定曲線から、pH3から4に上げるに必要なアルカリは2.4me/ℓ。有効成分60%の石灰を使用して、排水路の水量約10,000 ton、50日間処理したとすると

$$\begin{aligned}
 \text{必要な石灰量} &= 2.4 \text{ me/ℓ} \times 10^7 \div 37.05 \times \frac{100}{60} \times 50 \\
 &= 5.4 \times 10^7 \text{ (mg)} \\
 &= 5.4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

実際には石灰を撒布した翌日にはpHが上昇しているから、5.4 ton以下ですむと思われるが、最初の12.3 tonと合わせると66.3 tonとなり石灰の価格が15,000円/tonであるから、100万円以下の経費で被害を最少限にとどめ得たであろう。さらに、理想的に廃水をpH7で排水するとすれば、先の滴定曲線から、pH3から7に上げるに必要なアルカリ量は、pH3から4に上げるその約3.6倍であるから、石灰量で237.6 ton、金額にして358万円ということになる。勿論これ以外にも経費がかかることは当然であるが、強酸性水によるポンプその他に及ぼす影響を考えれば、処理を考えるのが当然であり、それにも増してこのような酸性水の発生を未然に防止するための耕地への石灰撒布が必要であろう。

文 献

- 1) 半谷 高久(1973) 汚染水質機構—水文学講座No.9—共立出版