北海道における廃水と水産被害¹⁾

(挿図 1~3)

五 十 嵐 彦 仁

The water pollution in Hokkaido and its effects upon fisheries

By Hikomi IGARASHI

北海道で最初に報告された廃水の被害は河川の鮭鱒である。大正元年(1912)に尾札部村の古武井川における硫黄精錬廃水の障害であつて、今(1957)から45年前である。次いで3年後の大正8年には後志、尻別川の濃務工場の廃液が同様に鮭鱒の遡上を妨げて問題となり調査をした。更に大正15年には北見鴻の舞の金山において、金の青化精錬に伴う廃液が河川を流下して全河川の鮭鱒を斃死せしめたために大問題となつて、この調査研究をしている。この金山はその後も2~3回の紛争を起し司直の手にまで掛つている。下つて昭和の初めには製糖工場と製紙工場廃液の問題が起きた。即ち、明治32年(1899)以来続けて来た十勝川鮭鱒孵化場が水源の上流地に出来た製糖工場廃水のために被害を受けたものであつて、廃水が潜流して孵化場の孵化用水水源の無酸素化を来したのである。工場は上流地の凡そ4.5 kmの所に出来たのであるが、工場設立後5~6年で工場下流の井戸水が汚染して溶在酸素が減じ、年と共に汚染の地域が拡大した。凡そ10年を経て孵化場水源にまで達したのである。昭和7~8年の頃には満州事変と共に鉱山の開発が盛となり、特に貧鉱の処理を実施するに及んで、所謂浮遊選鉱の排棄泥土の問題が起きた。又金鉱精錬に伴う青酸塩の障害が相継いで起り、特に泥土排出に伴う浅海の被害は莫大な数字を示すに至つた。

戦後における工業界の復興と共に再び廃水の問題が抬頭し、昭和24~25年の頃からはパルプと製紙工業廃水の問題が盛となつた。これは樺太の製紙工場を失つて引いては製紙原料として最も適した針葉樹が無くなつたことと、本邦の南部に簇生する赤松が製紙用として成功したために、パルプ及び製紙工場が各地に勃興したことに依つている。これら新興の工場は内陸に建設する余地のないために皆海岸を選んだので、海に対する製紙工業廃水の障害と云う新たな研究課題が起きたのである。

○廃水の障害範囲

廃水の及ぼす範囲は大凡3つに分けられる。第一は河川のみ障害を与えるもの、第二

1) 1957年8月28日札幌における日本陸水学会第22回大会における講演。

は河川と浅海とに障害を与えるもの、第三は河川には無害で海に至つて障害の起る廃水である。河川だけに障害を与える廃水は金山の精錬排水が代表的のものであつて、廃棄される泥土中に残留する毒物の青酸塩が流下するためである。しかし青酸塩は分解することも容易であつて、空気中の炭酸に会つても無毒となり、岩石中の珪酸でも分解するので大体は河川中で分解し、海に至つても尚且つ障害を及ぼしていることは稀である。但し、海岸

図 1 北海道に於ける鉱・工業廃水
1933 (昭・8)~1953 (昭・28)

に近い金山の発掘 (山越郡狩狩) によつて単に河川の障害に止らず浅海の魚貝を多量に斃死せしめた例もある。又澱粉工場、酒精工場、製糖工場及び製紙工場廃液などの有機質廃水も河川の障害だけに止まっていることが多い。

河川及び浅海に障害を及ぼしている廃水は坑内排水である。又褐鉄鉱山の鉱床に由来する所謂天然廃水と見られる中にも同種の障害排水があり、特に硫黄山の排水や強酸性温泉は坑内排水と同種の成分を持っていて、その障害は更に激しいのである。

浅海にだけ障害を及ぼす廃水は泥土を含む排水であつて、而も莫大な被害を与えている。特に浮游選鉱の廃棄泥土水、満俺採取の際の泥土水、炭山の洗炭排水、更に発電所堰堤清掃汚泥や泥炭地干拓の排水など多くの事例がある。

○坑内排水中の硫酸塩の障害

一般に黒鉄のようなもの及び鉄脈をなす鉄床には常に硫化鉄 (FeS_2) を含んでいる。稀には炭山にも硫化鉄を含んでいる場合があつて、例えば茅沼炭山 (後志国) のような強い硫酸性排水を出している所もある。この様な鉄山においてその坑道が開かれ坑内の風化が起きると、鉄物は酸化され硫化鉄は次のように変化して硫酸塩となり、酸性廃水となるのである。

生成した硫酸塩のために坑内排水の pH 値が小さくなり、又酸性水に接触すると益々硫化鉄の分解が促進される。そこに出来た遊離の硫酸によつて粘土が犯され硫酸礬土が出来

図 2 古部鉄山の位置
(縮尺は km)

るので、この種の坑内排水中にはアルミニウムも同時に存在している。酸性塩が流下するために注入する河川水の pH 値も低下して魚の生存が出来なくなるのである。又褐鉄山の排水に強い硫酸酸性の水があつて、往々天然排水でありながら魚類の住まない河川がある。1例として図2に示した道南の古部部落の褐鉄鉱山を説明する。ここには鉄山の他に硫黄坑、硫化鉄鉱山が共存している。これらの関係は硫黄鉱床と硫化鉄鉱床が風化・湿潤化作用を受けて硫酸塩を失ひ、このために鉄を残留して所謂硫化鉄の富鉄化が行われて褐鉄鉱床となつたものとされている。

この3鉱山は約 1.5 km の間に縦列し、北は褐鉄、中部は硫黄、南は硫化鉄となっているが、然し硫化鉄鉱床の切羽には富鉄化された褐鉄鉱の層を挟み、同時に硫黄の鉱床も共存する。中部の硫黄鉱床にも硫化鉄鉱床が共存し、北部の褐鉄鉱床の下層には硫化鉄鉱床の存在を予想しているのである。これらの鉱床からは共に強い硫酸塩の排水川を持ち鉱床から噴流している。

硫化鉄を含む金属鉱山から流下する河川の pH 値は多くは 3.0 前後であつて、河川に入つてからは pH 5.0 前後に上る。然し硫黄山や火山の硫黄泉に基く硫黄泉排水は更に強い酸性であつて、多くは pH 1.2~2.0 を示している。道東の川湯温泉及びその排水川、道南の恵山温泉及びその排水川はこの適例であつて、その成分は褐鉄鉱山の排水と同様に硫酸鉄、硫酸礬土及び硫酸を含んでいる。これらの排水が河川に混じて水素イオン濃度が下り pH 値 4.0 以上となれば鉄塩は水酸化鉄となつて凝化する。従つて河底の岩石面は赤色となり、海に至つては更にアルカリ性が進んで鉄塩と礬土が悉く水酸化物となつて凝化し懸游する。表1は硫酸塩の排水と魚の障害を確認のために行つたもので、恵山温泉排水を試料水とする鮭稚魚の障害状況であるが、pH 値 5.0 以下の場合にはいつでも魚は斃死する様である。

水酸化鉄には栄養塩の磷酸を吸着固定して化学的に消耗する力がある。これについては1930年に大沼(亀田郡)に注ぐ小川において、偶然発見してこれを確めた研究であるが、この小川は水源から僅かに 1 km を流下する間に水中の磷酸塩が $\frac{1}{400}$ 位に減少している。

表 1 硫酸塩温泉水の鮭稚魚に対する致死量(数字は ppm, 水温 6~7°C)

濃 度	pH	鉄 塩 (Fe_2O_3)	礬 土 (Al_2O_3)	致 死 時 間 (時・分)	斃 死 状 況
1.000	2.2	64.2	1,621.0	—	—
0.033	4.6	2.13	53.6	18.30~21.00	鰓は白凝固・体表白被
0.025	4.6	1.73	40.5	21.00~25.00	"
0.022	4.7	1.41	35.7	30.00~45.00	"
0.020	4.8	1.28	32.4	44.40~68.40	鰓は白凝固・体表薄白被
0.012	5.1	0.77	19.4	変化なし	変化なし

この原因は河底砂土の水酸化鉄にあることが判り、更に研究の結果は水酸化礬土が鉄よりも強い吸着能力を持つ事が判明した。図3と数字とはその小川と礬土の変化であつて、駒

図 3 駒の川の観測数字は P_2O_5 (ppm)
(縮尺は m.)

○有機質廃水について

河川を汚濁した時には浅海を障害する有機質廃水には古くから澱粉工場の廃水があつて問題となつた。農家の副業であるために工場らしい工場もなく操業が続けている。昭和 27 年の調査によれば凡そ 2,000 の大小工場が各河川筋に出来て馬令薯収獲の 9 月頃から操業を初め 12 月頃の降雪期と共に終止する。丁度この 4 カ月間が鮭・鱒の遡上期であ

駒の川とは調査の前年に大噴火をなした駒ヶ嶽の山麓に泉源を持つ溪流である。従つて鉄と礬土の硫酸塩は河川において直接及び間接の障害を与える廃水と云う事が出来る。硫酸塩の廃水の中では恵山温泉のような強酸性水は河底を赤色化せず、即ち水酸化物とならずに海に至り、ここで始めて水酸化物となつて混濁を来している。道東の川湯温泉もこれと同様の排水である。硫化鉄の風化に基づく坑内廃水の酸性度合は硫黄泉の排水よりも弱いから、多くは河川に混入すれば直ちに水酸化物となる事が多い。また時には鉄が炭酸塩の様な形であるために空中に露出すると共に炭酸を放出して pH 値は高くなり水酸化鉄を分別する様な函館温泉排水や然別湖の底水などがある。

るために障害は非常に大きく、「薯摺り」初めと共に魚の遡上が止まる。澱粉工場の廃水は有機質廃水中では最も防除の容易な排水と考えられるのであるが、ここ30～40年来浄化方策の実施が出来ないのは実にこの様な泡末工場が一時的に各地各処に簇生するためである。最近では組合組織の統合工場が出来て、馬鈴薯の綜合利用が考えられつつあるので、漸次河川の正常化が期待される気運にある。有機質廃水中で特に増大の傾向にあるのは製糖工場廃水と製紙工場廃水である。甜葉を原料に仰ぐ本邦の製糖工業では本道に本拠を置かざるを得ないので、いやが上にも河川の汚濁が増加する。総ての有機質廃水の流下はこれを分解するために、河川の溶在酸素を消費して各種各様の細菌と原生動物の増大を来しているの、従つて魚に与える障害も単一ではない。例えば伏流水源を孵化用水となした十勝孵化場では前述の様に溶在酸素が全く消失したために鮭稚魚と受精卵が悉く斃死した。しかも工場が操業して凡そ1ヵ月目から水源の溶在酸素量が減退し初め、製糖操業終了後の約1ヵ月目から漸次水質の恢復を来しているのである。これは有機質物の浄化行程中に水中の溶在酸素を消費する一方においては、空気中からの酸素供給のない伏流水であることを如実に物語っている。澱粉工場廃水・製糖工場廃水などと共にまた酒精工場廃水も類似の成分組成であるから、これが注入する河川中では溶在酸素を消費し有機質物の分解を来すことは同様である。有機質廃水の中で最も悪質と考えられるのは製紙工場廃水である。特に化学パルプと云われる亜硫酸パルプ廃水はリグニンを含んでいてその分解が容易でない。化学パルプは木材中の凡そ半量の繊維素を利用するだけであつて、残りの50%は廃棄し河川や浅海を汚濁している。多量の清水を使つて悪質の汚濁廃水を放流するために重要河川が次々に汚染されている現状である。

○泥土に就て

泥土を混在する排水は海に至つて大害を与える。特に微粒子となるに従つてその障害は大きく同時に又、脱塩程度の高い所謂酸性土壌性の土粒子となるに従つてその障害は高い。泥土は淡水中では懸游物となつて混濁し流下するが、浅海に至れば凝集し沈降するのである。即ち海水中に溶在する強電解質の凝集力に基く結果であつて、表2の海水と淡水とによる土粒の分別はこれを物語っている。

一般に微細な土壌粒子の分別は水中を沈降する粒子の時間差によつて行つている。即ち

表 2 泥 土 の 海 水 に よ る 凝 集

粒 子 の 大 き (mm)	釜山廃水土 %		河川泥土 %		丘陵粘土 %	
	淡水処理	海水処理	淡水処理	海水処理	淡水処理	海水処理
0.1 ～0.01 (細 砂)	13.45	8.83	76.60	79.93	32.80	27.57
0.01～0.002(砂 泥)	36.27	91.16	14.13	17.50	30.31	72.25
0.002 以下 (粗粘土 膠質分)	50.26	0.00	9.26	2.55	36.87	0.16

小粒子となるに従つて長い沈降時間を要するものであつて、その時間によつて何段かに分けている。試料としたのは浮游選鉱の際の排棄泥土であつて、ボールミルによる磨砕の度合は 200 メッシュ以下の粒子とすることを目標としている。又河川泥土とは港湾の運河泥である。この外に丘陵粒土を試料として夫々淡水を以て分別した 3 つの土粒組成は、同時に海水を土粒の洗滌水とした場合とは大きい差異を来している。即ち海水で処理した場合は何れも最小部が減退して大粒子となつた。これは海水中に溶在する強電解質による凝化作用であつて、特に石灰及び苦土などの 2 価の塩が大きく関与している。

表 3 に示す様に粒子を凝集させる力は金属の化合価によつて異り、1 価よりは 2 価、2 価よりは 3 価となるに従つて著しく大となつている。この度合は

1 価 : 2 価 : 3 価 = 1 : 35 : 1,023 として表したのが SCHULZ, LINDER, PICTON の定律であつて、WHETHAM は $1 : x : x^2$ で表した。

表 3 各種塩類のゾル凝集力(田所より)
(1 l 中に含有する塩のミリモル)

電 解 質	塩 ナトリウム	塩 カリウム	塩 マグネシウム	塩 カルシウム	塩 アルミニウム
硫化砒素 (一)	51.0	49.5	0.717	0.649	0.093
	沃 カリウム	臭 カリウム	塩 ナトリウム	硫 酸 カリウム	重クロム酸 カリウム
硫 化 鉄 (+)	16.0	12.5	9.25	0.205	0.195

つまり 1 価の食塩に比して 3 価の塩の 過塩化鉄や硫酸礬土は実に 1000 倍余の凝集力を持つている。海水中における 2 価塩の含量は、大凡淡水の 300 倍に当つている事は、随つて海水の凝集力の強さを表していると考えられる。表 4 の海水とは一般書に出ているも

表 4 海水, 淡水 1 l 中の成分 (ppm)
海水(福原より) 淡水(田中より)

硫 酸 石 灰	1,260	重 炭 酸 石 灰	17.78
炭 酸 石 灰	120	重 炭 酸 苦 土	3.67
硫 酸 苦 土	1,660	重 炭 酸 曹 達	1.50
塩 化 苦 土	3,810	硫 酸 曹 達	3.54
臭 化 苦 土	80	食 塩	1.90
食 塩	27,210	塩 化 加 里	1.70
硫 酸 加 里	860	重炭酸亜酸化鉄	0.57
合 計	35,000	珪 酸	13.31
		合 計	43.97

の、淡水は田中阿歌磨氏によつた数値である。

海水中の石灰は硫酸塩、炭酸塩となり苦土は同様に硫酸塩及び塩化物、臭化物となつておつて、その量は1 l 中約 6.9 g. である。然るに淡水中の石灰と苦土は何れも重炭酸であつて、その量は1 l 中僅かに 0.02 g. を示し海水の約 $\frac{1}{300}$ となつている。

表5は泥土の凝集に伴うアワビの窒息斃死状態を実験したものであつて、泥土の種類としては浮游選鉱の排棄泥土を試料とした。

表 5 アワビの泥土による斃死(浮游選鉱廃泥土)
径 18cm の硝子筒に海水 3.0~3.8, 泥水 1.0~0.2 l (計 4 l となる)(水温 20~21°C)

	海水の量(l)	淡水の量(l)	泥 土 の %	泥土の堆量 (mm)	致 死 時 間 (時・分)	備考
1	3.8	0.2	0.212	1.7	8.10	
2	3.7	0.3	0.318	2.5	5.15	
3	3.6	0.4	0.424	4.0	4.45	
4	3.5	0.5	0.530	8.3	2.15	
5	3.3	0.7	0.742	9.5	3.10	
6	3.0	1.0	1.063	14.2	1.45	
7	3.6	0.4	—	—	15.00	白紙検

外に丘陵粘土などを試料とした実験、浮游選鉱廃泥土の新しいもの、同じく大氣中に放置した古いものなどを行つた。これらの結果を綜合すれば泥土による障害の大きさは、土粒子の微細となるに従つて高く、weathering が大きい程大きい事が判つた。従つて鉱山・工場廃水の障害は単に有害・有毒の物質の混在にあるか否かではなく、混在する泥土粒の凝化が生物を障害するのである。更に単なる丘陵の粘土など即ち山地の裸地化に基く泥土流出の障害は決して看過出来ない事を示している。本道における泥土の水産障害は浮游選鉱排泥土の外に発電所ダムの泥土放出による浅海の障害などが大きく、選炭廃水の混濁泥土水、二酸化満掩採掘の際の泥土放出などは障害問題の白眉となつている。二酸化満掩は多く土層中に点在しているので、これを採取するに流水放射によつて掘出している。この方法は強いて河川の混濁を促進しているのである。同様に港における浚渫と埋立なども浅海の最大混濁者であつて、今後に残された土木工業と水産障害の重用な課題であろう。道南の静狩原野における湿原干拓の事業は国の行つた浅海汚濁の問題として特筆されるべきものであつた。戦後の農耕地開発の一環として凡そ 1,700 町歩に亘る泥炭地の干拓を行つたのであるが、この時は泥土の外に帯褐黄色の有機質物汚濁水を混じ、同時に高位泥炭屑を流下して、大きい障害を与えたのである。

○化学工業廃水

本道における化学工業は余り発達していない。従つてこの廃水障害は少いのであるが、現在までのこの種の工業は多く瓦斯工業を主軸としている。瓦斯工業は一般の都市の瓦斯

工場廃水と同様に洗滌排水中に多くの有毒障害物を含んでいる。青酸塩、アムモニア、硫化水素、石炭酸類を含み何れも魚類に有毒である。殊に石炭酸の如きはその痕跡を含んでも、魚体に接触すれば食品とはなり得ない悪臭を附与する。本道における石炭の採掘は未だ若齢期にあるので将来の化学工業発達の目標となるのは当然である。従つて複雑な化学工業廃水の河川と海に対する汚染悪化は益々増大するであろう。これに対する研究と防除の方策は将来の重要課題として残されている。

(著者：五十嵐彦仁，北海道余市町，北海道区水産研究所；Hikomi IGARASHI, Hokkaido Regional Fisheries Research Laboratory, Yoichi, Hokkaido)